

ABSORCIÓN COMO UNA ALTERNATIVA DE AHORRO DE ENERGÍA

M en I Rubén Darío Ochoa V.

RESUMEN

La aplicación de equipos de absorción es una alternativa muy interesante para disminuir el consumo de energía eléctrica, la empresa que ya utilizan vapor en su proceso es una alternativa ideal, ya que utilizarán vapor residual.

En este trabajo se hace una descripción del funcionamiento del sistema de absorción efecto sencillo.

Como aplicación se realiza un análisis del costo de operación de un equipo comercial de compresión contra un equipo de igual manera comercial de absorción.

El resultado es que obtiene un ahorro de: 90% tanto en la demanda como en el consumo y en el costo de un 40%, es posible que sea mayor dependiendo de la cantidad y calidad del vapor residual.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha intensificado la búsqueda de tecnologías que mejoren la eficiencia de los equipos de consumo eléctrico, de igual manera se han buscado tecnologías que disminuyan el consumo de energía eléctrica y que mejoren la eficiencia de utilización de las fuentes energéticas.

Los equipos de absorción son muy antiguos, pero desde hace algunos años se han dejado de utilizar, hoy en día se presenta como una opción interesante que nos permitirá por un lado bajar a las empresas su consumo de energía eléctrica y en algunos casos utilizar vapor residual de un proceso.

Existen en el mercado básicamente tres tipos de equipos de absorción:

Simple efecto (es esta ponencia será el que analizaremos en detalle) que requiere agua caliente o vapor de baja presión, para cálculos hemos supuesto que sea vapor saturado ha baja presión. Sistema de doble efecto en dos modalidades como equipo solo de enfriamiento o con calentador de agua integrado (muy utilizado en hoteles). Estos equipos requieren vapor de alta presión.

En el presente trabajo realizamos un comparativo entre dos equipos comerciales una de absorción contra un equipo tipo tornillo de compresión, ambos equipos requieren torre de enfriamiento, por lo que el comparativo es valido.

CHILLERS DE ABSORCIÓN

El ciclo de refrigeración por absorción es similar al ciclo de vapor-compresión en el cual se emplea un

refrigerante volátil, por lo común amoníaco o agua, en el que alternativamente se vaporiza bajo la presión baja en el evaporador absorbiendo calor latente del material que está siendo enfriado y se condensa a la presión alta que se tiene en el condensador entregando el calor latente al medio condensante.

La principal diferencia entre los ciclos de absorción y de vapor-compresión es la fuerza motivaste que hace circular al refrigerante a través del sistema y que proporciona el diferencial de presión necesario entre los procesos vaporizante y condensante. En el ciclo de absorción el compresor de vapor empleado en el ciclo de compresión del vapor es reemplazado por un absorbedor y un generador, el cual realiza todas las funciones que efectúa el compresor en el ciclo de compresión del vapor. Además, mientras que la energía de entrada requerida en el ciclo de vapor-compresión es suministrada por el trabajo mecánico del compresor, la energía de entrada en el ciclo de absorción es en forma de calor suministrada directamente al generador. Por lo general la fuente de calor suministrada al generador es vapor de baja presión o agua caliente. En la figura se muestra un sistema simple de absorción. Obsérvese que el sistema consiste de cuatro componentes básicos: un evaporador y un absorbedor, los cuales están localizados en el lado de baja presión del sistema y de un generador y condensador, los cuales están localizados en el lado de alta presión del sistema. Se emplean dos fluidos, un refrigerante y un absorbente. El ciclo del flujo para el refrigerante es del condensador al evaporador al absorbedor al

generador y de regreso al condensador, mientras que el fluido absorbedor pasa del absorbedor al generador y se regresa al absorbedor.

La secuencia de operación es como sigue: El refrigerante líquido de alta presión proveniente del condensador pasa a través de un dispositivo de expansión o restrictor el cual reduce la presión del refrigerante hasta la presión baja que se tiene en el evaporador. El refrigerante líquido se vaporiza en el evaporador absorbiendo calor latente del material que está siendo enfriado, el vapor de baja presión es absorbido por medio de un conducto no restringido hacia el absorbedor y se queda mezclado en una solución junto con el absorbedor.

El refrigerante fluye del evaporador al absorbedor porque la presión del vapor de la solución absorbente-refrigerante que se tiene en el absorbedor es menor que la presión del vapor refrigerante que se tiene en el evaporador. La presión del vapor de la solución absorbente-refrigerante que se tiene en el absorbedor, determina la presión en el lado de baja presión del sistema y en consecuencia, la temperatura vaporizante del refrigerante en el evaporador. A su vez la presión del vapor de la solución absorbente-refrigerante depende de la naturaleza del absorbente, de su temperatura y de su concentración. A menor temperatura del absorbente y a mayor concentración, se tendrá la menor presión en la solución.

A medida que el vapor refrigerante del evaporador es disuelto en la solución absorbente, disminuye el volumen del refrigerante (ocurre la compresión) y es liberado

el calor de la absorción. A fin de mantener la temperatura y la presión del vapor la solución absorbente al nivel requerido el calor liberado en el absorbedor, el cual es igual a la suma del calor latente de condensación del vapor refrigerante y el calor de la dilución del absorbente, deberá ser descargado a los alrededores, por lo general al mismo sumidero de calor o medio condensante utilizado para la descarga de calor del condensador.

A fin de que se efectúe la transferencia de calor del absorbedor al sumidero, la temperatura del absorbente deberá ser mayor que la que se tiene en el sumidero. Puesto que la eficiencia del absorbedor aumenta en medida que se reduce la temperatura de la solución absorbente, se deduce que la eficiencia del absorbedor depende en parte de la temperatura del refrigerante disponible.

Debido a que el vapor refrigerante al disolverse en la solución absorbente aumenta la resistencia (porcentaje de refrigeración) y la presión del vapor de la solución, es necesario reconcentrar continuamente la solución a fin de manejar la presión del vapor de la solución a un nivel suficientemente bajo para proporcionar la presión y temperatura bajas requeridas en el evaporador. La reconcentración se obtiene eliminando de continuo la solución absorbente "fuerte" del absorbedor recirculándola a través del generador, donde "hierve" la mayor parte del vapor refrigerante, por la aplicación de calor y la solución "débil" resultante es regresada al absorbedor para absorber más vapor refrigerante del evaporador.

Ya que el absorbedor está en el lado de baja presión del sistema y el generador en el lado de alta presión, la solución fuerte debe ser bombeada del absorbedor al generador y la solución débil regresarla al absorbedor a través de una válvula reductora de presión o restrictor. Mientras que la presión de la solución absorbente es aumentada de la del lado de baja presión a la presión que se tiene en el lado de alta presión, a medida que está siendo bombeada del absorbedor al generador, no se tendrá compresión del refrigerante en el proceso, ya que la compresión del refrigerante tiene que ser efectuada en el absorbedor. En consecuencia, la potencia requerida por la bomba de la solución es relativamente pequeña.

En el generador, el refrigerante es separado del absorbente mediante calentamiento de la solución y vaporización del refrigerante. El vapor refrigerante de alta presión obtenido pasa entonces al condensador, donde es condensado cediendo su calor latente al medio condensante, después de lo cual está listo para su recirculación en el evaporador.

La solución del absorbente débil que se queda en el generador es regresada al absorbedor por el tubo de retorno tal como antes se describió. La resistencia relativa de la solución débil es controlada por la cantidad de calor suministrada al generador.

Para tener la eficiencia máxima del sistema, el diferencial de presión entre los lados de baja y alta presión del sistema deberá tan pequeña como sea posible, conservando la presión en el lado de baja presión tan alta como sea posible y que además sea consistente con los

requerimientos de refrigeración y la presión en el lado de alta presión, tan baja como sea posible con el medio condensante disponible. Recuérdese que la presión en el lado de baja presión es determinada principalmente por la presión del vapor en la solución absorbente la cual a su vez depende de la temperatura y concentración de la solución. Ya que el control de la temperatura de la solución está limitado por la temperatura del agente refrigerante disponible, el control en el lado de temperatura y presión baja (evaporador) se obtiene usualmente variando la concentración de la solución absorbente.

Se puede mejorar la eficiencia del sistema introduciendo un intercambiador de calor entre la solución fuerte que va al generador y la solución débil de alta temperatura que regresa del generador hacia el absorbedor. Ya que la temperatura de la solución fuerte que va hacia el generador es aumentada mientras que la temperatura de la solución débil que va al absorbedor se disminuye, el intercambiador de calor proporcionará una reducción tanto en el calor suministrado al generador como el enfriamiento requerido por el absorbedor.

Además, como en el ciclo de vapor-compresión, se tiene formación de gas en el refrigerante líquido, con las consecuentes pérdidas del efecto refrigerante, esto sucede a medida que el refrigerante líquido que viene del condensador sufre una caída de presión a su paso a través del dispositivo de expansión en su paso al evaporador. Por lo tanto, se aumentará el efecto refrigerante y se mejorará la eficiencia del sistema con el subenfriamiento del refrigerante

líquido que va del condensador al evaporador, instalando un intercambiador de calor con el vapor refrigerante de temperatura baja que va del evaporador al absorbedor.

SISTEMAS AGUA BROMURO DE LITIO

El sistema agua bromuro de litio se usan extensamente en aire acondicionado y en otras aplicaciones de temperatura alta, pero con agua como refrigerante, estos nos son apropiados en aplicaciones donde la temperatura del evaporador sea menor a 0°C.

El bromuro de litio cuando no está en solución es una sal higroscópica y su salmuera tiene gran afinidad con el vapor de agua. Sin embargo, una desventaja de la combinación agua-bromuro de litio es que el absorbente no es completamente soluble en agua bajo todas las posibles condiciones que ocurren en el sistema y deben tomarse precauciones especiales en el diseño y operación de estos sistemas para evitarlas.

Una de las principales ventajas del sistema, es que el absorbente no es volátil de tal manera que no se tiene mezcla del absorbente con el refrigerante (agua) al salir del generador, por lo tanto no es necesario tener ni analizador ni rectificador.

Debido a que el agua es el refrigerante, las presiones de operación son muy bajas, pudiendo ser menores a la atmosférica. Por ejemplo, suponiendo una temperatura en el evaporador de 4°C. Y una temperatura condensante de 35°C, las presiones en el evaporador y en el

condensador son de 0.248 pulgadas de mercurio y 1.93 pulgadas de mercurio abs. respectivamente. Con esta pequeña diferencia de presión entre los lados de alta y baja presión ordinariamente no se necesita tener válvula reductora de presión entre los lados de alta y baja presión, debido a que las pérdidas de presión a través de las tuberías de conexión y en las toberas atomizadoras por lo general proporcionan el diferencial de presión necesario.

Ya se ha mencionado que la habilidad de un absorbente para absorber vapor refrigerante depende de la concentración de la solución absorbente se proporcionará el medio conveniente de variar la capacidad del sistema en respuesta a la variación de las cargas de refrigeración. Algunos de los métodos que se emplean para controlar la concentración de la solución incluyen el control del vapor o del agua caliente que se suministra al generador, el control del flujo del agua del condensador y el control directo de la solución reconcentrada del generador.

Es necesaria en el sistema una unidad de purga, para efectuar el purgado de los gases del sistema y mantener la presión en el evaporador al nivel requerido.

SISTEMAS AMONÍACO-AGUA

Los sistemas amoníaco-agua son muy usados en refrigeradores domésticos y en sistemas comerciales e industriales donde la temperatura en el evaporador se mantiene cerca o debajo de 0 °C. La combinación amoníaco-agua es excepcionalmente buena, satisface

algunos de los criterios más importantes pero tienen algunas fallas. El absorbente agua tiene una gran afinidad por el vapor amoníaco y los dos son mutuamente solubles en un rango muy amplio de condiciones de operación. Ambos fluidos son altamente estables y son compatibles con casi todos los materiales que se encuentran en los sistemas de refrigeración. Una excepción notable es con el cobre y sus aleaciones, los cuales no son compatibles con el amoníaco. El refrigerante amoníaco tiene un calor latente de valor alto, pero es ligeramente tóxico, lo cual limita su uso en aplicaciones de aire acondicionado y las presiones de operación son relativamente altas.

Probablemente la principal desventaja del sistema amoníaco-agua es el hecho de que el absorbente (agua) es razonablemente volátil, de modo que el vapor refrigerante (amoníaco) al salir del generador por lo general contiene cantidades apreciables de vapor de agua, las cuales al pasar a través del condensador hacia el evaporador, se aumentará la temperatura del evaporador y reducirá el efecto refrigerante por tenerse refrigerante no vaporizado fuera del evaporador.

Por esta razón, la eficiencia del sistema amoníaco-agua puede mejorarse usando un analizador y un rectificador cuya función es la de eliminar el vapor de agua a la salida del generador antes que llegue al condensador. Se utiliza una columna de destilación la cual está sujeta en la parte superior del generador. Como los vapores de amoníaco y agua viniendo del generador, suben pasando a través del analizador, éstos son enfriados y el vapor del

agua que tiene la temperatura de saturación mayor, se condensan y drenan regresándose al generador, mientras que el vapor de amoníaco continúa subiendo y sale por la parte superior del analizador. Después el vapor de amoníaco pasa por el rectificador o condensador de reflujo, donde el resto del vapor de agua y una cantidad pequeña de vapor de amoníaco, se condensan y drenan, regresándose a través del analizador en la forma de solución de reflujo débil, siendo esto último necesario para que el analizador funcione adecuadamente. El enfriamiento en el condensador de reflujo por lo general se efectúa con una parte de la agua del condensador y está limitado a fin de controlar la cantidad de líquido de reflujo que pasa al analizador.

SISTEMA DOMESTICO DE ABSORCIÓN

Si al sistema de absorción se le agrega un tercer fluido, un gas inerte, tal como hidrógeno, se tendrá un balance entre las presiones de baja y alta presión. Se podrá así formar un ciclo de absorción que funcione sin la bomba de la solución y sin ninguna otra parte en movimiento. Los sistemas que utilizan amoníaco y agua tienen una aplicación muy grande en refrigeradores domésticos, sobre todo para el caso de casa móviles y vehículos de recreación, en cuyo caso el calor es suministrado al generador por combustión directa de algún combustible, o por resistencia eléctrica.

El ciclo opera de acuerdo al principio definido por la ley de Dalton, el cual establece que la presión total en cualquier mezcla de gases y vapores es igual a la suma de las presiones

parciales ejercidas por cada uno de los gases o vapores de la mezcla. Con este tipo de sistemas, la presión total ejercida por los gases y vapores en el sistema es virtualmente la misma en todas las partes del sistema. Sin embargo, por la presencia del hidrógeno y la presión parcial que éste ejerce en el lado de baja-presión del sistema (evaporador y absorbedor), la presión parcial ejercida por el vapor de amoníaco en esas partes será menor que la ejercida por el vapor de amoníaco en el generador y condensador, donde no está presente el gas de hidrógeno. Como resultado de esto, el amoníaco puede evaporarse en el evaporador a presión y temperatura constante y al mismo tiempo condensarse a la presión y temperatura alta en el condensador. La circulación de la solución absorbente se efectúa a través de un tubo de filtración o de burbujas, la cual reemplaza a la bomba de líquido absorbente que se usa en los sistemas grandes.

En el anexo B el calor suministrado al generador hace hervir al vapor de amoníaco y la acción del tubo de filtración es tal que los restos del líquido del tubo de filtración es tal que los restos del líquido absorbente son llevados juntos con el vapor de amoníaco por el tubo de filtración hasta el separador. Del separador, el líquido absorbente drena por gravedad a través de la trampa U del líquido hacia el absorbedor enfriador por aire, mientras que el vapor de amoníaco pasa directamente al condensador enfriado por aire, donde éste es condensado. Entonces el amoníaco líquido drena por gravedad desde el condensador, a través de una trampa U para líquido, hacia el evaporador, donde éste es

vaporizado por la absorción del calor latente del espacio refrigerante. El vapor de amoníaco, junto con algo de gas hidrógeno, pasan del evaporador hasta el absorbedor donde el vapor de amoníaco se pone en solución con el absorbente, mientras que el gas hidrógeno, el cual no tiene afinidad por el absorbente, pasa a través del absorbedor y regresa al evaporador. El propósito de la doble trampa U del líquido es el de contener al gas hidrógeno en el evaporador y en el absorbedor y evitar así su paso hacia el generador, separador y condensador.

SISTEMAS DE ABSORCIÓN vs. SISTEMA DE VAPOR-COMPRESIÓN

El equipo de absorción en sí mismo es mucho más simple y barato que el equipo de vapor-compresión de tonelaje comparable. Sin embargo, debido a que el sistema de absorción tiene muy pocas piezas en movimiento, su funcionamiento es con menos ruido y con menos movimiento que los sistemas de vapor-compresión. Sin embargo, el coeficiente termodinámico de funcionamiento es mucho menor en los sistemas de absorción, siendo comparativamente de 1 contra 4 del sistema vapor-compresión operando bajo las mismas condiciones. Sin embargo dado que la energía se suministra directamente en la forma de calor, resulta menos caro y más eficiente que cuando éste debe de pasar por varias fases de transformación.

En general, los sistemas de absorción por lo general no son económicos cuando debe de instalarse una

caldera para utilizarse para generar refrigeración. Sin embargo cuando la capacidad de la caldera se tiene disponible todo el tiempo, como cuando se usa vapor para calefacción en invierno, o cuando el calor desechado se le usa para varios procesos industriales, entonces deberá considerar el sistema de absorción.

APLICACIONES

Energía Eléctrica y Energía Calorífica

La aplicación más sencilla es el aprovechar el calor residual de la combustión de la turbina en calentar agua. Esto permite utilizar al máximo el potencial calorífico del combustible. El combustible puede ser gas natural, gas LP, Diesel.

El consumidor que puede obtener ventajas de estos sistemas son industrias que requieran calor en su proceso, hoteles que requieren calentar agua, clubes con alberca, hospitales, cualquier consumidor que requiera calor.

En este caso; el combustible que están consumiendo se desvían de la caldera a la micro turbina y el calor saliente se canaliza a un intercambiador que sustituirán en un 100% o en un porcentaje menor según el proyecto. Por lo que se decrementará el consumo de energía eléctrica tanto el consumo como la demanda.

De acuerdo a estudios realizados este decremento en la facturación de energía eléctrica permitirá amortizar la inversión de 4 años, que dependerá del precio de la energía eléctrica.

Proyecto de aplicaciones I
COMPARATIVO DE UN EQUIPO DE COMPRESIÓN CONTRA UN EQUIPO DE ABSORCIÓN.

Equipo de Absorción: 16JB-010
 Equipo de absorción de 108 T.R.
 Bromuro de Litio 110 Galones
 Agua como refrigerante 40 Gal.
 Vapor 15 psig. 240°F 1915 Lb/hr-Ton.
 Bomba de Solución: 3 HP RLA 12 A
 Bomba de Refrigerante 3 HP RLA 12 A
 Dimensiones
 Largo: 5,1 m
 Ancho 1,12 m
 Alto 2,23 m

Equipo de compresión: 30HXA106
 Equipo con 2 compresores tornillo
 Refrigerante Suva 134 a
 Compresor A1 460/3/60 I= 79,2 A
 Compresor B1 460/3/60 I= 44,3 A
 Dimensiones
 Largo: 2,59 m
 Ancho 0,85 m
 Alto 1,70 m

Aplicación : Funciona 24 horas al día con un factor IPLV de 50%
 El costo promedio de energía eléctrica es \$0,80 y el costo de gas natural es de \$\$3,50 dólares por millar de BTU's

Equipo de Compresión:

90 kW x 24 horas x 0.5 (factor) x 30 días x 0,8 pesos por kWh
 Resultado \$25,920 32,400 kWh-mes

Equipo de Absorción:
 Requiere 1915 Lb/hr
 Vapor saturado 15 psig, 240°F.
 Consideramos que la aplicación es en una planta donde ya se utiliza vapor de proceso por lo que solo consideraremos el costo de la energía requerida para producir fríos, que es la energía que consume el equipo de absorción.
 Entalpía del vapor saturado 1160 BTU/Lb
 Entalpía a la salida del agua caliente del intercambiador 800 BTU/Lb
 Energía consumida 360 BTU/lb dado que se requieren 1915 lb/Hr
 Energía calorífica total 689 KBTU/Hr.
 Aplicando las mismas condiciones y una eficiencia de quema del gas natural del 70%
 Se requieren 354 millones de BTU de gas natural \$1,239 Dólares \$13,000
 Consumo de energía de las bombas:
 2x 4 kW 24 horas factor .5 x 30 días
 \$0,8 por kW-h = \$2,304

Costo Total Absorción \$15,304

TABLA DE RESULTADOS

	Demanda	Consumo	\$ Electricidad	\$Gas Natural
Sistema Compresión	90 kW	32 400 kW-Hr	\$25 920	0
Sistema de Absorción	8 kW	2 880	\$2 304	\$13 000
Ahorro	81 kW	29 520	\$23 616	-\$13,000
	90%	91%		

Ahorro total \$10,616 que significa un 40%

Es importante que se deberá considerar el costo de los los equipos que en el caso de equipos de absorción son como 1.5 mas caros que los de compresión, pero se deberá considerar en una evaluación el costo de la instalación eléctrica ya que se requiere toda una instalación para alimentar a los equipos de compresión.

CONCLUSIONES

El sistema de absorción para aquellas industrias que utilizan vapor en su proceso es la respuesta adecuada, logrando grandes ahorros en consumo de energía eléctrica.

En el ejemplo que se analizó se puede observar que la aplicación de un equipo de absorción puede significar un ahorro de energía eléctrica en demanda del 90 % y de consumo del 91% y ahorro del costo de combustible hasta de un 90% si existe suficiente vapor residual en calidad y cantidad.

Con el costo y la falta de energía eléctrica esta tecnología se vuelven atractivas, el inconveniente es que la industria mexicana se vuelve más dependiente del gas natural.

El considerar un sistema de absorción como fuente de refrigeración es una alternativa posible ya que existen en el mercado equipos comerciales de diferentes capacidades.

BIBLIOGRAFÍA:

- Manual CARRIER
- Forma 16JB-1PD CARRIER
- FIDE Revista Informativa del Ahorro de Energía Eléctrica Año 5 Num. 20 Jul-Sep 1996
- Thermodynamics and Heat Power, Irving Granet & Maurice Bluestein, 6 th ed. Prentice-Hall Inc.2000.

AUTOR:

Rubén D. Ochoa Vivanco
Tecnología Empresarial S.A.
Ingeniero egresado de RPI (Rensselaer Polytechnic Institute), con él título de Master of Engineering 1980, obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista en la FI-UNAM en 1978, autor de múltiples artículos. Trabajo en el Instituto de Investigaciones Eléctricas de 1981 a 1989, de 1989 a 1990 con ASEA Brown-Boveri. De 1990 a la fecha se ha dedicado a desarrollar técnicas equipos que mejoren la eficiencia energética y permita un mejor aprovechamiento de las fuentes primarias de energía. En los últimos años se ha dedicado ha buscar esquemas que permitan mejorar la eficiencia energética de equipos de Aire Acondicionado y Refrigeración. Ahora Cogeneración.
Es profesor de cátedra del ITESM-CCM, es perito evaluador de la norma NOM-008-ENER-2001, es asesor de la sección estudiantil de ASHRAE
capitulo México