

LA INGENIERÍA ELÉCTRICA EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

José Firmino Marques¹, Dennys Cortéz²

¹ Ingeniero Eléctrico en Potencia 1999

² Director del Informe Técnico. Ingeniero Eléctrico en Electrónica Escuela Superior Politécnica de Litoral, 1994, Profesor de la ESPOL desde 1994

RESUMEN

En el presente artículo se trata de cubrir en forma resumida los temas involucrados en la instalación de un sistema de refrigeración Industrial dando énfasis en las condiciones de funcionamiento eléctrico de los equipos que intervienen en el sistema y la necesidad de la investigación por parte del Ingeniero Eléctrico responsable del proyecto del tema a tratar, para que de esta manera aporte con soluciones que conlleven a un sistema más eficiente y seguro.

En el primer tema tratará sobre el ciclo básico de refrigeración explicando en cada uno de los procesos los equipos que intervienen para luego pasar a la explicación del funcionamiento de control eléctrico de cada uno de ellos, tomaremos un circuito utilizado comúnmente en el enfriamiento de líquidos pudiendo ser estos sal mueras o agua y se analizará su funcionamiento.

INTRODUCCIÓN

Dentro del mundo de la Industria de la refrigeración existen muchas maneras de diseñar un sistema que cumpla los requisitos requeridos por los usuarios, pero sin embargo, no es menos cierto que de todas estas maneras posibles de resolver el problema un gran porcentaje además de estar enmarcados bajo las restricciones económicas no ha considerado condiciones bajo la óptica de la Ingeniería Eléctrica.

La presencia del Ingeniero Eléctrico en la concepción del diseño es fundamental en la realización de un proyecto de esta naturaleza, su aporte es importante ya que utilizará los medios necesarios para que su operación y seguridad sean las más adecuadas, pero para ello debe tener conocimientos básicos de refrigeración que no necesariamente los pudo haber adquirido en su preparación académica, pero si las bases fundamentales para poder investigar el tema.

CONTENIDO

1. CICLO DE REFRIGERACIÓN

Para una mayor comprensión del ciclo de refrigeración analizaremos la gráfica presión – entalpía mostrada en la figura 1, completando su entendimiento con la figura 2 en la que muestra el diagrama de flujo estándar en un sistema vapor – compresión.

Proceso 1-2. Proceso de Compresión: El gas refrigerante a baja temperatura y a baja presión es aspirado por una máquina térmica que utiliza la energía mecánica para comprimir este gas a una presión y a una temperatura más elevada, la máquina térmica que interviene en este proceso se la denomina compresor, el trabajo que este compresor requiere es igual a la diferencia de entalpías entre el punto uno y el punto dos.

Proceso 2-3. Proceso de Condensación: Los vapores comprimidos a temperaturas elevadas una vez que son enfriados, estos se condensan a la misma presión, este proceso lo realizan los condensadores que utilizando el aire, el agua o ambos, extraen el calor de enfriamiento y el calor latente rechazándolo al ambiente. Podemos observar que el gas refrigerante en el punto 2 se convierte en líquido en el punto 3 a la misma presión y a la misma temperatura de condensación.

Proceso 3-4. Proceso de Expansión: El líquido a alta presión pasa a través de un orificio calibrado experimentando una caída de presión, esto provoca por una parte una evaporación parcial y por

otra el enfriamiento hasta la temperatura de evaporación del líquido restante. La expansión del líquido no sufre un cambio en su entalpía en el curso de la cual la cantidad de calor total contenida en el líquido antes del proceso y dentro de la mezcla líquido – vapor a su paso por el orificio no ha variado. El elemento que realiza este proceso se lo denomina válvula de expansión.

Proceso 4-1. Proceso de Evaporación: La mezcla vapor – líquido se evapora totalmente dentro del evaporador por ebullición a la temperatura correspondiente a la tensión de vapor saturado del fluido utilizado, esta ebullición es debido al intercambio de calor con el medio ambiente de transferencia del evaporador. En este punto es donde la refrigeración es utilizada, es en el evaporador donde se aprovecha el efecto de baja temperatura para enfriar o congelar.

2. EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

Todos los equipos que intervienen en un sistema de refrigeración han sido ya mencionados en el punto 2, estos son:

1. Compresores
2. Condensadores
3. Válvulas de Expansión
4. Evaporadores

Pasaremos a explicar cada uno de ellos.

Compresores

La finalidad de un compresor tal como define su nombre es el de aspirar los vapores producidos por la evaporación del fluido frigorígeno en el evaporador a una presión baja correspondiente a las condiciones de funcionamiento y de descargar a alta presión dichos vapores comprimidos al condensador, a fin de permitir su condensación por enfriamiento.

Existen dos tipos principales de compresores, los alternativos o de pistones y los rotativos. Los compresores rotativos se basan su aspiración y compresión en la carrera de sus pistones, estos pistones son accionados por un cigüeñal dando el movimiento alternativo deseado. Cuando el pistón baja, aspira el gas a través de sus válvulas de aspiración, determinando el volumen aspirado por el área del cilindro y la longitud de su desplazamiento hacia abajo. Una vez que el cilindro termina su carrera en la parte inferior, este comienza a comprimir en su carrera hacia arriba, cerrando la válvula de admisión, descargando el gas a una mayor presión.

La mayoría de estos compresores tienen instalados un sistema de control de capacidad, que no es más que, mediante un sistema hidráulico que utiliza la presión de aceite de lubricación, desconecta las válvulas de succión, levantándolas, de tal manera que el pistón no realiza ningún trabajo, o sea, el gas que aspira en la camisa, lo vuelve a expulsar a la misma presión y temperatura en la misma cámara de succión. Este sistema puede ser controlado mediante una válvula manual que corta el paso de la presión de aceite al sistema de control de capacidad o también a través de una electroválvula, para que el control sea automatizado. Con este control lo que se logra es la disminución de capacidad de compresión para mantener una presión estable en la succión, de esta manera se logra controlar los requerimientos del sistema y disminuir el consumo de energía eléctrica, consumo innecesario si el sistema ya se encuentra en el rango de presión de succión de diseño.

Cabe destacar que no todos los fabricantes tienen la misma norma, algunos desconectan el funcionamiento de los pistones permitiendo el paso de la presión de aceite y otros desconectan cerrando el paso de la presión de aceite al control de capacidad. Es deber del Ing. Eléctrico investigar este funcionamiento en el compresor, para diseñar el sistema de control de capacidad adecuado, así mismo se debe tomar en cuenta que, aún que los compresores recíprocos pueden girar en cualquier sentido, no así la bomba de aceite de lubricación que generalmente va acoplada al cigüeñal y por tanto el sentido de giro lo manda la bomba de aceite.

Los compresores rotativos pueden ser centrífugos, de paletas y de tornillo, explicaremos a continuación los de tornillo, siendo estos los más utilizados en la industria de la refrigeración.

En un cárter se alojan dos rotores helicoidales de un mismo diámetro exterior denominados rotor macho y rotor hembra. El macho tiene cuatro lóbulos que engranan dentro de seis canales del rotor

hembra, el rotor macho va acoplado al mando motriz (motor eléctrico) y acciona libremente el rotor hembra. Durante la rotación, normalmente a 3.600 rpm, los dos rotores aprisionan en el cárter un volumen de gas que es transportado en forma continua, desde un extremo al otro extremo del engranaje de los dos tornillos, donde se hallan opuestas las aberturas de aspiración y descarga, proceso que se repite en cada lóbulo.

La variación de capacidad del compresor de tornillo se la realiza por medio de un dispositivo deslizante acoplado en la parte inferior de los tornillos y manejado por un sistema hidráulico que utiliza la propia presión de aceite de lubricación, se emplaza modificando a lo largo de los rotores el punto donde debe empezar la aspiración y terminar la compresión.

La lubricación de este tipo de compresores, a diferencia de los de pistones, el aceite se mezcla con el gas que se comprime ya que dicha capa de aceite entre los dos rodillos es la que produce el sello de la cámara de compresión, por ende debe existir en todo compresor de tornillo un separador de aceite.

Condensadores

La finalidad del condensador en un sistema de refrigeración ya quedó definida anteriormente, por lo que podemos resumir que es un equipo capaz de absorber calor de la descarga de un compresor y rechazarla en la mayoría de los casos al medio ambiente permitiendo bajar la temperatura del gas refrigerante saturado transformándolo en líquido saturado, a la misma presión.

Existe una gran cantidad de tipos de condensadores, disponibles en el mercado, dependiendo del uso y requerimientos de los sistemas de refrigeración, pero podríamos clasificarlos en condensadores por calor sensible y condensadores por calor latente dentro de esta clasificación se encuentran los de evaporación forzada o evaporativos que son los tratados en este artículo.

El condensador evaporativo funciona de la siguiente manera. El gas que viene de los compresores ingresa por una entrada superior el cual es distribuido en un serpentín de tubos más pequeños con la finalidad de aumentar el área de transferencia de calor el que, es realizado mediante una lluvia de agua procedente de atomizadores bombeados por una bomba de agua de un recipiente inferior, a su vez un ventilador produce una contracorriente de aire logrando dos propósitos, enfriando el agua y produciendo una evaporación forzada, de esta manera el calor retirado del gas es enviado al ambiente y el condensado sale por la tubería inferior del serpentín, se utiliza un separador de gotas para evitar desperdicio de agua y también mayores daños en el ventilador.

Eléctricamente podemos observar que existe dos motores a considerarse, la bomba de agua y el ventilador y como podemos darnos cuenta es imperativo que si uno de los dos motores se paraliza debe existir una señal eléctrica de control que desconecte el (los) compresor(s) ya que si no existe buena condensación, la presión de descarga del sistema aumenta, poniendo en peligro toda la instalación.

Válvulas de Expansión

Las válvulas de expansión son realmente sistemas que restringen el paso del refrigerante, a través de un pequeño orificio o ranura que produce el estrangulamiento, dentro de este tipo existen las automáticas y las manuales. Las manuales son operadas por el hombre y una vez que se las regula, el área del orificio por donde pasa el refrigerante es siempre la misma, independiente de las condiciones de operación del sistema, en cambio las automáticas mantienen constante la variable para la cual fueron construidas variando la apertura abriendo o cerrando el orificio. Existen dos tipos de válvulas de expansión de esta clase, las de presión constante y las de temperatura constante, esta última también denominada termostática.

Las de presión constante censan la presión interna del evaporador y tratan de mantenerla constante, de tal manera que si la presión disminuye el área del orificio aumenta permitiendo mayor flujo y viceversa. Las termostáticas en cambio censan la temperatura de salida del gas del evaporador y actúa sobre la apertura del orificio de acuerdo al valor regulado. La acción sobre el vástago de apertura lo realizan a través de un diafragma, que en el caso de la termostática este diafragma es accionado por un líquido confinado en un bulbo que varía su presión interna de acuerdo a la temperatura censada.

Evaporadores

El último elemento del ciclo de vapor – compresión es el evaporador, cuya finalidad es servir de cambiador térmico para captar o absorber el calor de los cuerpos hacia el líquido refrigerante produciendo su ebullición, utilizando para el efecto un medio de transmisión de calor que puede ser

un metal, metal+aire o metal+líquido.

Como la transmisión térmica va en relación directa con la superficie de evaporación, todo evaporador está compuesto por una serie de serpentines, que conducen el líquido refrigerante, cuando se trata de aire estos serpentines tienen además alrededor de los tubos aletas, con la finalidad de aumentar la superficie de transferencia.

Existen también evaporadores por contacto que en vez de tubos, utilizan placas o planchas metálicas, de esta manera el cuerpo a refrigerarse está en contacto con estas placas, este sistema se lo utiliza principalmente en congeladores, máquinas de hielo y enfriadores de agua.

3. SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL DE UN COMPRESOR DE PISTONES

Siendo los compresores alternativos los más comúnmente utilizados, explicaremos el sistema eléctrico de los mismos.

El sistema de protección consta de los siguientes elementos:

Presostáto de alta presión de descarga: Elemento que protege el compresor en caso de falla del condensador, este elemento una vez que opera no se rearma automáticamente, debe el operador accionarlo una vez que se resolvió el problema.

Termostáto de alta temperatura de descarga: Protege al compresor de una alta temperatura que generalmente va asociada con una alta presión.

Presostáto de baja presión: Evita que el compresor trabaje a presiones muy bajas, fuera del rango de trabajo para el que fue diseñado.

Presostáto diferencial de aceite: Opera en las fallas de lubricación, es un sistema que censa dos presiones, la del carter y la descarga de la bomba, si la diferencia es inferior a la regulada, esta desconecta el motor eléctrico del compresor en un tiempo determinado.

Relé térmico: Proteje el motor eléctrico contra sobrecargas.

Otros: Señales externas de parada del motor eléctrico por fallas del circuito ajenas al compresor, pudiendo ser estas por nivel de líquido alto, falla eléctrica en el condensador, etc.

Emergencia: Todo sistema eléctrico de un compresor debe tener opción de parada de emergencia accionada por un operador al percatarse de algún problema o simplemente para asegurarse de que el compresor no va a arrancar

Los elementos de operación son los siguientes:

Presostato(s) de control de capacidad: Tienen la finalidad de activar el sistema hidráulico de accionamiento de las válvulas de aspiración, trabajan en función de la presión de succión y la cantidad depende del número de pistones que este tenga.

Al arrancar el compresor debe accionar el sistema de enfriamiento de cabezotes, que por lo general es a través de un flujo de agua.

Señal eléctrica que permita el arranque automático en el momento que se accione el sistema de evaporación al cual está conectado, o manual comandado por el operador.

Es conveniente que antes de arrancar el motor eléctrico del compresor, se produzca una igualación de presión entre la succión y la descarga, para esto se debe accionar una electroválvula que comunica estas dos presiones, previo y durante el arranque.

Con todos estos requerimientos se procede a realizar el diseño de control del compresor y para simplificar el mismo en el caso muy particular de compresores alternativos de la marca Mycom, se utiliza un pequeño micro procesador provisto por la misma firma denominado Mypro K-1, equipo que contempla las siguientes operaciones:

1. Protección por alta presión
2. Protección por falla de lubricación
3. Accionamiento de la válvulas de control de capacidad
4. Parada y arranque por baja presión

Utilizando este elemento se realiza el diseño de control eléctrico para estas condiciones, diseño que está representado en la figura 3.

4. SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL DE UN CONDENSADOR EVAPORATIVO

El sistema eléctrico de un condensador evaporativo es muy sencillo ya que este solo contempla un sistema de bombeo de agua y un sistema de ventilación que en algunos casos pueden ser de varios ventiladores.

Lo que hay que tomar en cuenta en este sistema es que los dos motores deben siempre estar prendidos mientras el compresor también lo esté y si por alguna razón alguno de ellos fallara esto debe ser razón suficiente para parar el compresor. En la figura 4 se presenta un diseño eléctrico de control típico para un condensador de una sola bomba y un solo ventilador.

5. SISTEMA ELÉCTRICO DE UN EVAPORADOR PARA ENFRIAMIENTO DE LÍQUIDOS

Para el enfriamiento de un líquido el evaporador está constituido por un serpentín de tubos sumergido en dicho líquido, las condiciones de funcionamiento de este evaporador se basan en dos protecciones fundamentales, la primera es un control de la presión de succión para no permitir que el líquido refrigerante en el interior del evaporador baje a condiciones de solidificación del líquido que está enfriando y la segunda condición es no permitir que el nivel de líquido refrigerante dentro del tanque de separación sobrepase el valor crítico ya que esto pondría en peligro al compresor porque en su aspiración arrastraría líquido y lo puede dañar.

Si bien es cierto que el primer parámetro indicado aquí puede ser controlado por el compresor, no está por demás considerar una regulación adicional.

Las condiciones de operación de este evaporador son muy sencillas, simplemente permitir el ingreso de líquido refrigerante hasta el nivel de operación.

Para controlar la presión de succión se utilizó una válvula HA4A de la marca Hansen, esta válvula para esta aplicación va acompañada de dos elementos, el uno denominado EKS61 fabricado por la firma Danfoss y una bobina CVQ de la misma firma, el funcionamiento de este conjunto es como a continuación se describe:

El elemento EKS61 es un transductor electrónico que contiene un sensor de temperatura tipo pt de 1000Ω el cual envía una señal que es comparada con el valor regulado y el resultado se traduce en voltaje, el que alimenta a la bobina CVQ accionando el pistón de cierre y o apertura de la válvula HA4A, de esta manera, si la temperatura está muy baja la bobina CVQ crea un campo magnético proporcional a la diferencia de temperatura, censada y regulada, bajando el pistón de cierre, produciendo una regulación de presión en el lado del serpentín.

En el diseño eléctrico también se debe contemplar la posibilidad de una eventual solidificación y por lo tanto debe existir la alternativa de descongelar el serpentín introduciendo un gas a alta presión y de esta manera la temperatura interna aumenta aumentando la temperatura, descongelando el evaporador, la única condición es que nunca se podrá accionar el ingreso de líquido refrigerante al mismo tiempo que el gas a alta presión. Podemos observar en la figura 5 el diseño utilizado.

De esta manera podemos observar que un sistema de refrigeración en lo referente a los controles eléctricos no involucra complejidad, más bien si los conceptos son claros y se establecen los requerimientos tanto de operación como de protección de los distintos elementos que conforman el circuito de refrigeración, la ejecución de las instalaciones para este sistema es bastante sencilla. Claro está que existen sistemas más complejos, como por ejemplo los sistemas recirculados que involucran una estación de bombeo y controles de nivel mínimos y máximos de operación y niveles críticos que necesariamente deben apagar los compresores que están conectados a este sistema de bombeo de líquido refrigerante, así mismo cuando se trata de controles de compresores de tornillo, estos normalmente se los realiza a través de microprocesadores diseñados por los mismos fabricantes de los compresores, pero en definitiva la lógica de conexiones e instalaciones son las mismas en principio que las que acabamos de analizar.

CONCLUSIONES

Podemos concluir entonces que una instalación eléctrica involucra el conocimiento del tema que se está tratando y precisa de una investigación por parte del ingeniero eléctrico para poder aportar con sus conocimientos a las soluciones más viables y prácticas, para que de esta manera el sistema reúna todo lo indispensable, siendo eficaz para el propósito para el que fue concebido.

REFERENCIAS

1. J. Firmino Marques, “ La Ingeniería Eléctrica en un Sistema de Refrigeración Industrial “ (Informe Técnico, Facultad de Ingeniería en Electricidad, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1999)
2. P.J. Rapin, Instalaciones Frigoríficas, Tomo 2, Marcombo, Barcelona, 1986

