



ecopac®

Considerando el R744t

i. El dióxido de carbono

El anhídrido carbónico es un refrigerante importante en la industria alimenticia, especialmente para el transporte de helados y otros bienes congelados. Suele ser empleado en su fase sólida, es decir, como hielo seco, encontrándose a temperaturas inferiores a los setenta grados centígrados bajo el punto de congelación del agua. Esto lo vuelve un refrigerante espectacular y bastante económico. Sin embargo, en la refrigeración de compresión y expansión el hielo seco poco tiene que ver.

El refrigerante R744 (o anhídrido carbónico como fluido) sí guarda importante relación con este tipo de refrigeración y ha sido usado incluso previamente a la invención del freón doce. Hoy en día el refrigerante R744 vive un excepcional renacer debido a las materias del calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono. Dadas sus características físicas, el CO_2 es un excelente candidato para la refrigeración y climatización. Pese a estas ventajas, que el uso de este compuesto requiere de presiones que a ratos se elevan sobre las mil ochocientas libras, por lo que los sistemas con anhídrido carbónico requieren de componentes resistentes que, si bien han sido desarrollados, son generalmente de mayor costo.

El anhídrido de carbono posee la ventaja de no ser tóxico ni inflamable. Es, en efecto, el mismo gas que, junto con vapor, exhalamos al respirar. Es también el compuesto utilizado para gasificar las gaseosas. Pese a su inocuidad, en un sistema con CO_2 conviene tener algún método de detección de fugas debido a las altas presiones y a que, de todas formas, es un gas asfixiante que desplaza el aire respirable. Al ser un elemento con un rol biológico, el cuerpo humano detecta rápidamente concentraciones elevadas de CO_2 y reacciona aumentando la presión y el ritmo cardiaco lo que puede provocar desmayos, ansiedad y desesperación. Lo anterior puede ser peligroso ya que el cuerpo interpreta estas altas concentraciones del gas, como enclaustramiento y falta de aire respirable.

ii. Refrigeración con R744

Existen dos maneras de aplicar el R744 en los sistemas de frío. Por un lado, el refrigerante puede estar en un sistema de refrigeración tradicional, donde pasa al estado gaseoso en el evaporador y al estado líquido en el condensador. A esto se le llama un sistema subcrítico y, específicamente, en el caso de uso de CO_2 , R744s. Subcrítico se le llama al sistema porque las presiones y temperaturas se encuentran siempre bajo el punto crítico del refrigerante. En términos estrictos, es esta la forma en que la mayoría de los sistemas de enfriamientos tradicionales funciona.

Para el R744 el rango de presiones y temperaturas entre el punto triple y el punto crítico es limitado. La temperatura crítica del anhídrido de carbono es cercana a los treinta y un grados Celsius. Esto implica que un sistema subcrítico no se puede utilizar para todas las amplias necesidades del mercado. Es por lo anterior que se emplea una segunda manera de aplicar el R744 en los sistemas de refrigeración: los sistemas transcíticos con dióxido de carbono (R744t). Estos se distinguen por sobrepasar el punto crítico al menos en algún momento del ciclo de frío.

El punto crítico recibe aquella denominación pues sobre esas condiciones de temperatura y presión el refrigerante adopta una fase distinta a las tres tradicionales (sólido, líquido o gas). Este se transforma en un fluido supercrítico que posee propiedades tanto de gas como de líquido, tales como difusión y disolvencia. La condición de fluido supercrítico es una fase natural de las sustancias. A pesar de no sernos familiares, ocurren en la naturaleza frecuentemente. La atmósfera de Venus es un fluido supercrítico y en nuestro planeta, los gases que emanan de los volcanes submarinos pueden volverse fluidos supercríticos a causa de las altísimas presiones.

Debido a la cualidad especial del dióxido de carbono en su estado supercrítico, este debe ser tratado de manera diferente a un gas convencional. Es por ello que el ciclo de refrigeración transcítico usualmente necesita de componentes particulares para su funcionamiento. A esto se le suma el hecho de que se trabaja con altas presiones, lo que requiere un entubado o *piping ad hoc*.

iii. Componentes especiales y Sistemas Transcríticos

Normalmente, como el compresor de un sistema transcrítico lleva al refrigerante sobre el punto crítico, este debe ser capaz de soportar altas presiones y de hacer el trabajo. En un sistema de este tipo es fundamental que los compresores sean capaces de manejar el refrigerante. Lo anterior es hoy en día posible gracias a la existencia de una amplia gama de motores capaces de funcionar en estos sistemas, tales como los de pistón radial.

Una vez comprimido, el fluido transcrítico no se condensa sino que, debido a su naturaleza, se mantiene en un estado intermedio entre gas y líquido, sin ocurrir un cambio de fase normal de gas a líquido. Por ello, en un sistema transcrítico con R744, se utiliza un enfriador de gas (*gas cooler*) que permite disminuir la entalpía del refrigerante. El enfriador de gas difiere substancialmente del condensador, puesto que su trabajo es enfriar el fluido supercrítico y no el condensar gas.

A diferencia de lo que ocurre en el cambio de fase tradicional, en el enfriador de gas de los sistemas transcríticos la presión y la temperatura no establecen una relación unívoca; no es posible recurrir a una tabla para deducir la una de la otra. Esto tiene importantes consecuencias en el sistema pues se requiere la capacidad de manejar ambas variables de manera independiente, lo que significa generalmente el uso de control electrónico avanzado u otros dispositivos como embrague de presión dinámico. Por lo mismo, el subenfriamiento o *subcooling* no tiene el mismo carácter que en un sistema tradicional. Por último, existen también sistemas transcríticos en que el fluido pasa por el *gas cooler* que lo lleva bajo punto crítico, y más adelante por un condensador convencional.

Luego, el refrigerante debe expandirse. Debe tomarse en cuenta que no existe distinción entre la fase de gas y líquido. En vista de lo anterior, se han desarrollado diversas soluciones para la expansión, ya sean válvulas motorizadas, las llamadas válvulas electrónicas y otras. Debe considerarse que, así como el punto crítico del CO₂ es bajo, el punto triple es comparativamente alto (cincuenta y seis grados Celsius bajo cero), lo que aumenta el peligro de generar hielo seco en expansiones descontroladas.

La evaporación en los sistemas transcíticos es relativamente similar a la de un sistema tradicional debido a que se produce igualmente bajo el punto crítico, llevando el refrigerante al estado gaseoso. Sin embargo, se debe tener en mente que dada, la naturaleza de la válvula de expansión, esta no necesariamente regula el recalentamiento del refrigerante de la forma convencional.

iv. Eficiencia energética, medioambiente y CO₂ Transcítico

Los sistemas transcíticos recientemente están siendo *redescubiertos*. La optimización del funcionamiento de estos, frente a la tecnología actual, es un terreno aún por recorrer, aunque hoy en día ya hay una serie de aplicaciones en las que el R744t tiene desempeños competitivos. En efecto, aunque para la mayoría de las aplicaciones un sistema transcítico con R744 no tiene tan buen desempeño comparado con refrigerantes como el freón, hay productos como bombas de calor que han probado amplia factibilidad comercial.

Los resultados de los sistemas de R744 transcítico mejoran en forma importante, comparativamente, en sistemas donde el calor retirado produce un aumento de temperatura sustantivo a donde se esté liberando (la salida del enfriador de gas). Un buen ejemplo son las ya mencionadas bombas de calor para calentar agua, donde el sistema transcítico tiene un buen desempeño comparado con un sistema de freón.

Por su parte, para el buen funcionamiento de un sistema de estas características, el control óptimo de las presiones es fundamental. De lo contrario se producen pérdidas de energía e ineficiencias que hacen que el sistema termine por consumir más corriente de lo normal. Esto es clave en el lado supercrítico del ciclo.

Energéticamente, las condiciones subóptimas del sistema pueden afectar más fuertemente a un sistema transcítico que uno convencional. En efecto, cuando el *gas cooler* se encuentra en condiciones demasiado cercanas a las del punto crítico, tiende a haber consecuencias perjudiciales. El malfuncionamiento de la expansión puede afectar seriamente la operación del sistema por lo que el control de dichos componentes es clave.

En términos ecológicos, el anhídrido de carbono es un gas limpio sin efectos en la capa de ozono. Además su potencial de calentamiento global es mínimo y si el CO₂ ha sido obtenido del mismo aire, es nulo. El CO₂ es un gas no tóxico pero peligroso por las cuestiones ya mencionadas. No es un gas inflamable y es muy económico, siendo su único problema el equipamiento para operar con R744 en general, y R744t en particular, que suele ser costoso.

v. Conclusiones

En términos generales, la tecnología del R744t está aún en proceso de desarrollo. Existen hasta el momento una serie de esfuerzos que apuntan a implementar este refrigerante, lo que claramente indica se le comienza a considerar como una alternativa seria. Actualmente, los dos grandes desafíos son la reducción del costo de inversión a la hora de optar por un sistema de CO₂ transcrito, y la eficiencia del sistema en términos de optimización y desempeño.

En la actualidad, una de las maneras más prolíficas de utilizar la tecnología ha sido en bombas de calor para el calentamiento de aguas, donde el CO₂ ha probado ser competitivo. Hoy en día, de todas formas, es totalmente válida y necesaria la adopción de tecnologías limpias y el esfuerzo por su implementación. Cabe señalar que, si bien este tipo de tecnologías pueden aparecer como complejas, cada vez más el mercado está dispuesto a optar por soluciones limpias a pesar de su mayor costo.

vi. Referencias

1. Transcritical Leakage Flow in CO₂ Expander, Mitsuhiro Fukuta, Professor, Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka
2. CO₂ Compressors (transcritical), Bock
3. CO₂ Cooling Systems Unit Coolers/Evaporators & Gas Coolers, Hasan Acül, FriTerm R&D Department
4. Transcritical CO₂ Refrigeration Cycle with Ejector Expansion Device, Daqing Li, Eckhard Groll
5. Combined Industrial Cooling and Heating with Transcritical CO₂ Heat Pumps Utilising the Work of Expansion, Torben M. Hansen, Danish Technological Institute
6. Exergy analysis of transcritical Carbon Dioxide Refrigeration Cycle with an Expander, Jun Lan Yang
7. Experimental and Analytical Validation of New Approaches to Improve Transcritical CO₂ Environmental Control Units, P. S. Hrnjak, S. W. Elbel, University of Illinois
8. Status and Potential of CO₂ as a Refrigerant in Stationary Applications, Dr.-Ing. Jürgen Süss, Danfoss A/S
9. CO₂ as a Refrigerant for Systems in Transcritical Operation: Principles & Tecnology Status, P. Nekså, Sintef Energy Research
10. Wikipedia, the OnLine Encyclopædia