

Diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor

Design of a vapor compression refrigeration system

FERRER-ALMARAZ, Miguel†*, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel y LEDESMA-JAIME, Reynaldo

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Carretera Valle-Huanímaro km 1.2, Valle de Santiago, Gto.

ID 1^{er} Autor: *Miguel, Ferrer-Almaraz* / ORC ID: 0000-0003-4913-4010, Researcher ID Thomson: S-6969-2018, CVU CONACYT ID: 342076

ID 1^{er} Coautor: *Gabriela, Ramos-Lázaro* / ORC ID: 0000-0002-8827-3948, Researcher ID Thomson: S-7730-2018, CVU CONACYT ID: 439753

ID 2^{do} Coautor: *Miguel, Guandulay-Alcazar* / ORC ID: 0000-0002-8831-9547, Researcher ID Thomson: S-6750-2018, CVU CONACYT ID: 443671

ID 3^{er} Coautor: *Reynaldo, Ledesma-Jaime* / ORC ID: 0000-0001-9484-3305, Researcher ID Thomson: S-6786-2018, CVU CONACYT ID: 165239

Recibido: 05 de Enero, 2018; Aceptado 07 de Marzo, 2018

Resumen

El presente proyecto se diseña un sistema de refrigeración por compresión de vapor, considerando la utilización de un refrigerante R134a, mismo que es un hidrofluorocarburo (HFC), que sustituye al R12, usando comercialmente y ya de salida. Lo anterior por razones de impacto ambiental y ahorro energético. Se realiza el cálculo del sistema de refrigeración por compresión a vapor utilizando el software Engineering Equation Solver (EES), que usualmente se emplea para resolución de problemas de no linealidad, sin embargo también para el cálculo de sistemas de refrigeración. Además se considera la temperatura de entrada al evaporador de -15°C. Se encontró la dimensión de tubería de la succión y la descarga, con un valor de 12.29 mm y 30 mm, respectivamente. Además se presenta la metodología para realizar la captura en el software EES, así como la interpretación de los resultados obtenidos, de tal manera que se puede establecer el dimensionamiento de un sistema de refrigeración en forma sencilla, toda vez que se conozcan las condiciones de diseño y su parametrización.

Refrigerante, Software, Diseño, Parametrización

Abstract

The present project is designed a steam compression refrigeration system, considering the use of a refrigerant R134a, which is a hydrofluorocarbon (HFC), which replaces the R12, using commercially and already out. The above for reasons of environmental impact and energy saving. The calculation of the steam compression refrigeration system is performed using the Engineering Equation Solver (EES) software, which is usually used to solve non-linearity problems, but also for the calculation of cooling systems. In addition, the evaporator inlet temperature of -15 ° C is considered. The size of the suction and discharge piping was found, with a value of 12.29 mm and 30 mm, respectively. In addition, the methodology for capturing the EES software is presented, as well as the interpretation of the results obtained, in such a way that the sizing of a cooling system can be established in a simple manner, provided that the design conditions are known and its parameterization.

Refrigerant, Software, Design, Parameterization

Citación: FERRER-ALMARAZ, Miguel, RAMOS-LÁZARO, Gabriela, GUANDULAY-ALCAZAR, Miguel y LEDESMA-JAIME, Reynaldo. Diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor. Revista de Ingeniería Tecnológica. 2018 2-5: 12-16

* Correspondencia del Autor (correo electrónico: maferrer@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El uso comercial de sistemas de refrigeración eficientes que amorticen costos y disminuyan consumos de energía es deseable. En el presente estudio se desarrollará el diseño de un sistema de refrigeración por compresión de vapor, así como el cálculo de la tubería. Se utilizará el refrigerante R134a, mismo que cuenta con características que lo hacen poco tóxico y eficiente. Para el cálculo del sistema de refrigeración se recurre al software Engineering Equation Solver (EES), el cual cuenta con una base de datos amplia de propiedades termodinámicas, sobre todo para refrigerantes, que en este caso serán de gran utilidad. La manera que se expondrá el trabajo siguiente será a través de un marco teórico sobre el funcionamiento general para un sistema de refrigeración. En la parte del desarrollo se establecerán las condiciones de diseño del sistema de refrigeración. También se revisará la metodología y los criterios para suministrar los parámetros en el software EES, a continuación se generarán los resultados del estudio así como su análisis.

Marco teórico

La refrigeración consiste en llevar la temperatura baja (energía), hacia una región de mayor temperatura. Los refrigeradores comerciales usan en su mayoría un ciclo de compresión con vapor del refrigerante. En este ciclo, el refrigerante primero se evapora para luego comprimirse y por último condensarse. El refrigerante saldrá del evaporador como vapor saturado en forma ideal, sin embargo en la práctica esto no es posible, de tal manera que se hace un arreglo para que el vapor salga sobrecalentado, esto hace que todo el refrigerante se evapore, entrando al compresor de esta manera. Ver figura 1.

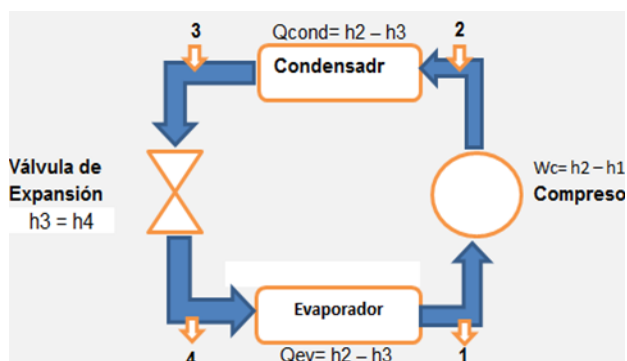


Figura 1 Ciclo de refrigeración

En la misma figura se puede observar que en este punto del evaporador se cumple la ecuación:

$$Q_{ev} = h_2 - h_3 \quad (1)$$

Significando que el calor del evaporador se calcula por la diferencia entre las entalpías del condensador.

Una vez en el compresor el fluido se comprime como un proceso isentrópico, es decir reversible y adiabático, esto en forma ideal. La temperatura aumenta en la compresión, de tal manera que la práctica se debe enfriar, mientras sea práctico y económico hacerlo. En este punto se puede ver de la figura 1:

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (2)$$

Estableciendo que el trabajo de entrada, W_c es igual a la diferencia de entalpías.

En seguida el refrigerante entra al condensador como vapor sobrecalentado y al perder calor sale como líquido saturado, el calor generado, Q_{cond} , será de acuerdo a la figura 1:

$$Q_{cond} = h_2 - h_3 \quad (3)$$

Como la diferencia de las entalpías. Por último el fluido pasa a la válvula de expansión, donde llega como líquido saturado. Al ser estrangulado y perder presión, también disminuye su temperatura. Aquí las entalpías se igualan, figura 1.

$$h_3 = h_4 \quad (4)$$

El desempeño de un refrigerador se mide por el coeficiente de desempeño (COP), también Coeficient of performance, esto se calcula de la manera siguiente:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_c - Q_e} \quad (5)$$

Donde:

Q_e , es la Cantidad de calor suministrada en el evaporador.

Q_c , es la Cantidad de calor suministrada en el compresor.

Para el cálculo de las tuberías, se requiere utilizar el número de Reynolds, R_e , este último tiene que ver con el flujo turbulento o laminar, ya que si este es menor que 2000 se considera laminar el flujo, para calcular el número de Reynolds se utiliza la ecuación:

$$R_e = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (6)$$

Aquí:

V es la velocidad media del fluido, m/s

D es el diámetro interior del tubo, m

ρ es la densidad del fluido, kg/m^3

μ es la viscosidad dinámica del fluido, $\text{kg/m}^*\text{s}$

También la velocidad media del fluido se calcula por la ecuación:

$$V = \frac{4M}{\pi D^2 \rho} \quad (7)$$

Donde;

M es el flujo másico del refrigerante, kg/s

La caída de presión, Δp , en la tubería está calculada por la ecuación:

$$\Delta p = \rho g h_L \quad (8)$$

h_L es la pérdida de energía debido a la fricción y se calcula con la ecuación de Darcy:

$$h_L = \frac{fLV^2}{2Dg} \quad (9)$$

En la ecuación 10, aparece el factor, f , es el factor de fricción, obteniéndose para flujo laminar por la ecuación:

$$f = \frac{64}{R_e} \quad (10)$$

La eficiencia del compresor se calcula como la eficiencia isentrópica, N_c . Definiéndose esta última como la razón del trabajo de entrada requerido (W_c), para elevar la presión de un gas a un valor especificado de manera isentrópica y el trabajo de entrada real (W_a), la ecuación será:

$$N_c = \frac{W_c}{W_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (11)$$

La entalpía h_1 corresponden a la succión en el compresor, h_2 es la entalpía en la descarga del compresor, h_{2s} es la entalpía isentrópica a la descarga, figura 2.

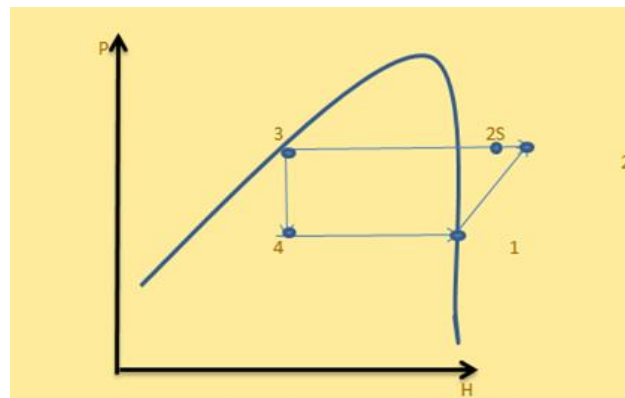


Figura 2 Diagrama de entalpías de un sistema de refrigeración

Desarrollo

Las condiciones de diseño del sistema de refrigeración son:

- 1) Temperatura del evaporador, -15°C .
- 2) Refrigerante, R134a, para uso comercial en instalaciones nuevas, clasificado entre los refrigerantes de seguridad por tener baja toxicidad, estabilidad térmica y química, no explosivo, no daña la capa de ozono. Sustituye al R12
- 3) Entrada en el compresor de vapor saturado, calidad del vapor con $X=1$.
- 4) Temperatura en el condensador 20°C .
- 5) Velocidad media en la succión, 11.5 m/s
- 6) Velocidad media en la descarga, 20 m/s
- 7) Tubería de cobre comercial

A continuación se alimenta al software EES con los datos anteriores, comenzando con los datos del evaporador, refrigerante, calidad del vapor en la entrada del compresor, propiedades en el estado 1: presión, entalpía, entropía. También balance de energía en el compresor, balance de energía en el condensador, balance de energía en el evaporador, propiedades en los estados 2, 3 y 4.

La forma de alimentación de los datos sería de la siguiente manera:

- $h_3=h_4$
- $P_1=P_4$
- $T_4=\text{temperature}(\text{R134a}, h=h_4, P=P_4)$
- $s_1=\text{Entropy}(\text{R134a}, T=T_1, x=1)$

- {s1=0.9414}
- P=pressure(R134a,T=T1,x=1)

3. Todo lo anterior se observa en la figura

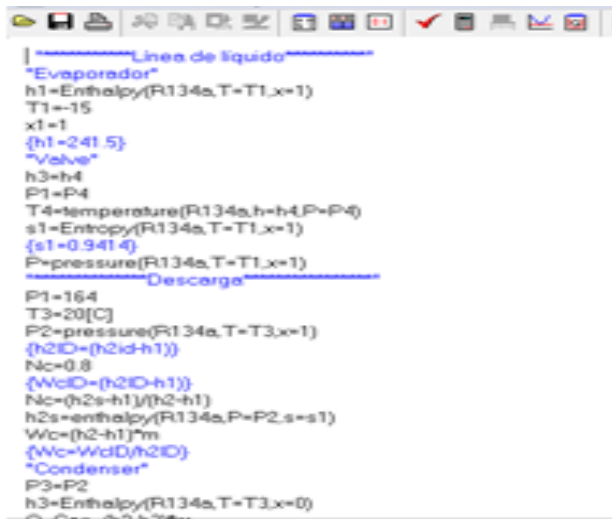


Figura 3 Alimentación de datos al software EES para un sistema de refrigeración

Metodología a desarrollar

- a) Establecer las condiciones de diseño
- b) Alimentar al software EES con los valores de entrada: Presión, entalpía, entropía
- c) Análisis de los datos en el software EES
- d) Conclusiones

Resultados

Al realizar la corrida del programa EES se obtuvieron los resultado siguientes, figura 4.

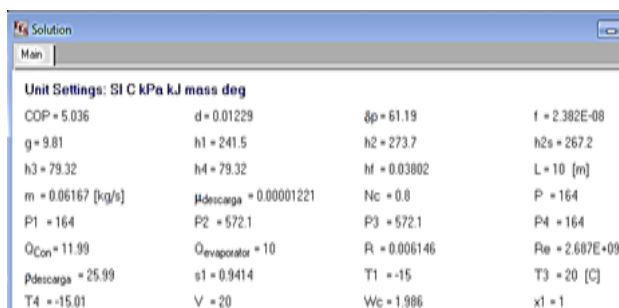


Figura 4 Corrida de resultados del software EES

Donde se encuentran entalpías, entropías, eficiencia del compresor así como un diámetro para la succión de 12.29 mm (0.5 in).

A continuación se alimenta el software para encontrar el diámetro de descarga, resultando, figura 5.

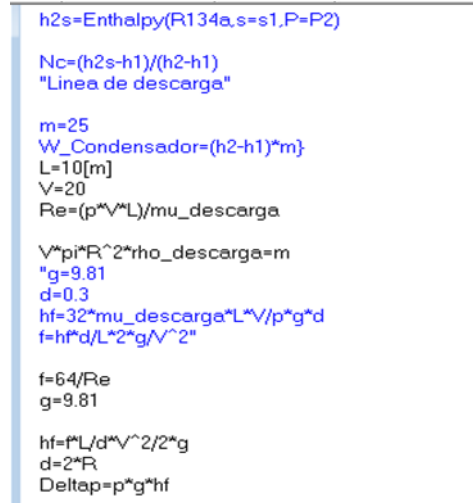


Figura 5 Corrida de resultados del software EES para el cálculo del diámetro de descarga de la tubería.

El diámetro de descarga obtenido es 30 mm (1¼ in)

Respecto a los resultados de la succión se observan en la figura 6,

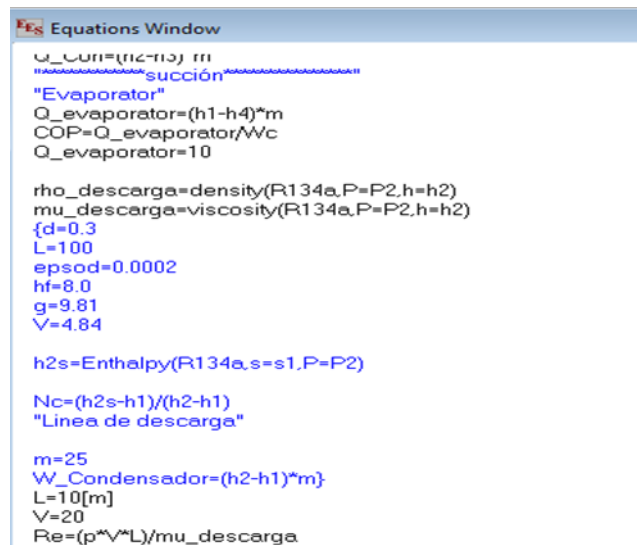


Figura 6 Cálculos en la succión del sistema de refrigeración

Agradecimiento

Se agradece a la Universidad de Guanajuato, División de ingenierías, DICIS, por las facilidades otorgadas para el uso del software EES.

Conclusiones

El coeficiente de rendimiento, COP, resultando poco arriba del valor de 5, es decir por cada unidad eléctrica consumida se retiran 5 unidades térmicas, este valor es debido al calor absorbido por el evaporador de 10 kJ/kg, figura 6.

De este último punto pasa a comprimirse el fluido a una presión de 572.1 kPa, aumentando la temperatura a 20°C, inicialmente estaba en -15°C, condensándose el fluido y pasando a la válvula de expansión, reiniciando el ciclo nuevamente. De tal manera que queda establecido el diseño y dimensionamiento del sistema de refrigeración por compresión a vapor utilizando la parametrización de las condiciones de diseño y por supuesto el software EES, mismas que pueden ser una herramienta didáctica en el estudio de la refrigeración.

Referencias

Castro Gutierrez, J., & Hernández Zapata, S. (2010). La refrigeración en la enseñanza de la física. *Latin-American Journal of Physics Education*, 1870-9095.

Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Chichester: John Wiley & Son, Inc.

Salazar-Pereyra, M., Lugo-Leyte, R., & Méndez-Levielle, F. (2010). Análisis de ciclos de refrigeración con una, dos y tres etapas de compresión utilizando HF-R134a y una etapa de CO₂. *SOMIM*, 169.

Wang, K., Eisele, M., Hwang, Y., & Radermacher, R. (2010). Review of secondary loop refrigerations systems. *International Journals of Refrigeration*, 212-234.

Wark, K., & Richards, D. (2002). *Thermodynamic*. New York: McGraw-Hill.