

Prediction of the Coefficient of Performance of the Hermetic Compressor

¹Leandro Ayarde Henríquez, ²Karel Arencibia Ávila, ³Franklyn González Segura
¹Departamento de Física – Química – Electrónica. Universidad de Holguín. Cuba, ²Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Holguín. Cuba, ³Departamento de Física – Química – Electrónica. Universidad de Holguín. Cuba.

e-mail: ¹layarde@facing.uho.edu.cu, ²arencibia.karel@facing.uho.edu.cu, ³frank@facing.uho.edu.cu

Abstract

At present days the generation of the energy has become a polemic topic. The IEA established the consumption of domestic refrigerators in 5 % to 29 % of the global consumption of residential sector which depends on the geographic zone. In order to reduce the consumption of refrigerators these appliances must be improved and optimized which demands a very special attention to the hermetic compressor. Unfortunately the calorimeter tests to evaluate the hermetic compressor result too costly, in terms of money and time, that is the reason why the simulation of these tests based on a mathematical model had become a widespread technique among the world leaders of the compressors' production. Although it is important to notice that those mathematical models work on the established conditions for the international standards, and as a matter of fact these international standards do not consider the high temperatures that exist in tropical climate countries. This is why in this paper it is revealed a brandnew mathematical model, this model does include the particular characteristics of tropical climate countries, and it will allow to calculate the cooling capacity of the hermetic compressor, and then it could be evaluated.

Key words: hermetic compressor, energy consumption, tropical climate, mathematical model.

Predicción de la Capacidad Frigorífica del Motocompresor Hermético

Resumen

En la actualidad la generación de energía resulta ser un tema recurrente y polémico. De acuerdo con la IEA en dependencia de la zona geográfica el consumo energético de los refrigeradores domésticos representa entre un 5 % y un 29 % del total residencial. Una de las estrategias recomendadas para disminuir dicho consumo es el perfeccionamiento y la optimización de los refrigeradores domésticos prestando especial atención al motocompresor hermético. Lamentablemente, los ensayos calorimétricos para evaluar a los mismos resultan muy costosos, en términos de tiempo y dinero; razón por la cual la simulación de estas pruebas, basada en modelos matemáticos, se ha convertido en una alternativa ampliamente utilizada por los líderes mundiales en la producción de motocompresores. Sin embargo, los modelos matemáticos existentes operan sobre la base de las condiciones de ensayo dictadas por los estándares internacionales las cuales no contemplan las condiciones reales de países de clima tropical. Es por ello que en este trabajo se revela un modelo matemático que sí contempla las condiciones típicas existentes en países tropicales. El modelo matemático en cuestión permite calcular la capacidad frigorífica del motocompresor hermético, para sobre la base del cálculo, poder evaluarlo.

Palabras clave: motocompresor hermético, consumo energético, clima tropical, modelo matemático.

Introducción

La creciente demanda de refrigeradores domésticos y congeladores hace pertinente que los estudios acerca de la eficacia de estas máquinas, no solo continúen, sino que además se multipliquen [1]. Los datos ofrecidos por la International Energy Agency (IEA) revelan que en dependencia de la zona geográfica el consumo energético de los refrigeradores domésticos representa entre un 5 % y un 29 % del total residencial [2]. Una de las estrategias recomendadas para disminuir dicho consumo es el perfeccionamiento y optimización de los refrigeradores domésticos prestando especial atención al motocompresor hermético [3].

Aunque se debe reconocer que quedan como análisis especiales o recomendaciones los estudios del comportamiento de estas máquinas en ambientes de clima tropical [4].

El funcionamiento de los motocompresores herméticos depende de las condiciones termodinámicas ambientales [5]. Los estudios realizados por Sattar [6] sobre el desempeño de un refrigerador doméstico, utilizando hidrocarburos como refrigerante y HFC - R134a, revelaron que cuanto más elevada sea la temperatura ambiente tanto mayor será el consumo energético del motocompresor hermético, lo cual es una consecuencia directa de la disminución de la capacidad frigorífica y esto resulta ser independientemente del refrigerante utilizado.

Aparejado a esto se debe destacar el hecho de que en las normas internacionales se establecen, para los ensayos calorimétricos valores de temperatura, presión y humedad relativa, tales que, no se corresponden con las existentes en países de clima tropical, para el caso de motocompresores herméticos de bajo torque de arranque (LST) y baja presión de aspiración (LBP) la temperatura ambiente máxima para realizar las pruebas es 32 °C [7]. Varios países del mundo se encuentran dentro de la zona definida por los trópicos en donde se registran los valores picos de temperatura ambiente más altos del planeta, llegando a superar los 40 °C en algunas zonas geográficas [8].

En la actualidad realizar dichas pruebas en laboratorios certificados por las normas internacionales de calidad resulta muy costoso en términos económico y de tiempo. Una alternativa para superar esta dificultad radica en la simulación de las mismas mediante modelos matemáticos, la cual, dada las múltiples ventajas que posee, está siendo ampliamente empleada por los líderes mundiales en la producción de motocompresores herméticos [9].

En la literatura internacional aparece referenciada una amplia gama de modelos matemáticos. Hermes y Melo desarrollaron y validaron un modelo semi-empírico mediante la aplicación de un enfoque transitorio a un refrigerador de dos compartimentos para evaluar las pérdidas de energía [10]. Borges desarrolló un enfoque

cuasi - estacionario para una simulación dinámica de un refrigerador, el modelo describe cómo la influencia de la apertura de las puertas, las cargas térmicas internas y la descongelación, afectan al consumo de energía [11].

Gonçalves presenta un modelo matemático para la determinación de las pérdidas termodinámicas de sistemas de refrigeración de compresión de vapor mostrando que el consumo total de energía se incrementa con el aumento de la temperatura ambiente [12].

Lamentablemente, ninguno de estos modelos matemáticos está referido a determinar la capacidad frigorífica del motocompresor hermético operando en condiciones de temperatura ambiental elevada, no previstas en las normas, típicas de países de clima tropical. De ahí la pertinencia de un modelo matemático que al considerar las condiciones del clima tropical permita, sobre la base del cálculo de la capacidad frigorífica, realizar una más acertada evaluación de los motocompresores herméticos que se van a explotar en regiones geográficas tropicalizadas.

Parte Teórica

El modelo matemático que se propone va a permitir calcular la capacidad frigorífica que desarrolla el motocompresor hermético operando en condiciones de clima tropical. Para deducir la expresión matemática a través de la cual se realizará el cálculo de la capacidad se tomaron las siguientes ecuaciones dadas por [5]:

$$C = m \cdot (h_2 - h_1) \quad (1)$$

$$C' = m' \cdot (h'_2 - h_1) \quad (2)$$

$$m = \frac{v}{v_e} \quad (3)$$

$$m' = \frac{v}{v'_e} \quad (4)$$

Donde:

C : capacidad frigorífica del motocompresor hermético para una temperatura ambiente de 32 °C, medida en laboratorio (declarada por el fabricante).

C' : capacidad frigorífica del motocompresor hermético para una temperatura ambiente superior a 32 °C, calculada a través del modelo matemático.

m : masa de refrigerante que llega al punto dos del diagrama presión contra entalpía para una temperatura ambiente de 32 °C, ver figura 1, medida en laboratorio.

m' : masa de refrigerante que llega al punto dos del diagrama presión contra entalpía para una temperatura ambiente superior a 32 °C, medida en laboratorio.

h_1 : entalpía del punto uno del diagrama presión contra entalpía, medida en laboratorio.

h_2 : entalpía del punto dos del diagrama presión contra entalpía para una temperatura ambiente igual a 32 °C, medida en laboratorio.

h'_2 : entalpía del punto dos del diagrama presión contra entalpía para una temperatura ambiente superior a 32 °C, calculada a través del modelo matemático.

V : volumen total de refrigerante que llega al punto dos del diagrama presión contra entalpía, medido en laboratorio.

V_e : volumen específico de refrigerante asociado a m , medido en laboratorio.

V'_e : volumen específico de refrigerante asociado a m' , medido en laboratorio.

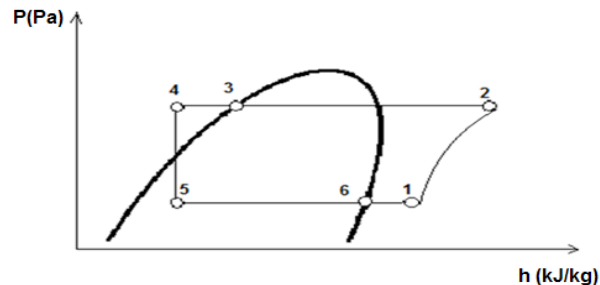


Figura 1. Diagrama presión contra entalpía para el ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Combinando las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) se obtiene la expresión matemática para el cálculo de la capacidad frigorífica que va a desarrollar el motocompresor hermético operando en condiciones de clima tropical, es decir en ambientes donde la temperatura es superior a 32 °C:

$$C' = \frac{V_e}{V'_e} \cdot \frac{h'_2 - h_1}{h_2 - h_1} \quad (5)$$

Para calcular la nueva temperatura de condensación, cuando la temperatura del ambiente cambia a algún valor superior a 32 °C, se consideró la expresión siguiente la cual es una transformación de una ecuación dada por [5]:

$$t'_{cond} = \frac{t'_{amb} - \left(e^{\frac{t_{sal} - t'_{amb}}{\Delta t_{MLDT}}} \right) \cdot t_{sal}}{1 - e^{\frac{t_{sal} - t'_{amb}}{\Delta t_{MLDT}}}} \quad (6)$$

Donde:

t'_{cond} : temperatura de condensación para una temperatura ambiente superior a 32 °C.

t'_{amb} : temperatura ambiente superior a 32 °C.

t_{sal} : temperatura del refrigerante a la salida del condensador.

Δt_{MLDT} : diferencia logarítmica media de temperaturas.

Las simplificaciones realizadas por el modelo matemático son las siguientes:

El volumen total, V , es constante.

El valor de la entalpía en el punto uno, h_1 , permanece constante.

La temperatura del refrigerante a la salida del condensador, t_{sal} , es constante.

La diferencia logarítmica media de temperaturas, Δt_{MLDT} , permanece constante.

Resultados

Se calculó la capacidad frigorífica de los motocompresores herméticos tipo I, II y III mediante el modelo matemático en cuestión para 35 °C y 38 °C de temperatura ambiente, ver figura 2.

En la tabla 1 se muestra la capacidad frigorífica declarada por el fabricante para los motocompresores herméticos en cuestión operando estos bajo una temperatura ambiente máxima de 32 °C.

Tabla1

Características de los motocompresores herméticos tipo I, II y III.

Tipo de motocompresor	Capacidad frigorífica (W)
Tipo I	95,4
Tipo II	94,7
Tipo III	100,7

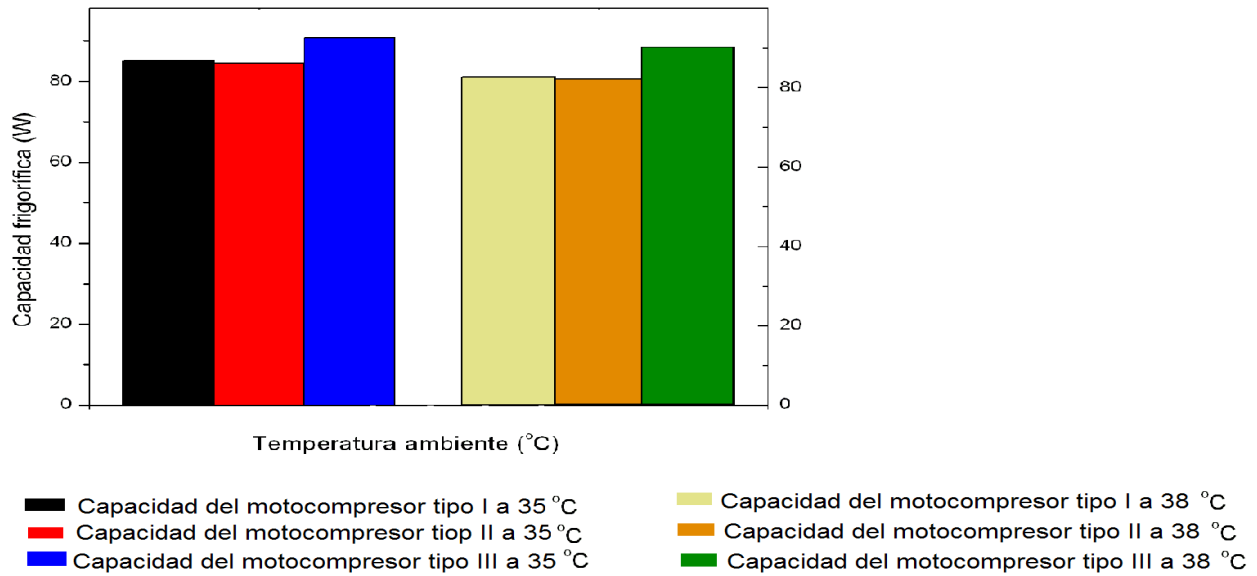


Figura 2. Valores de capacidad frigorífica predichos por el modelo matemático.

Validación de los Resultados

Se realizaron ensayos calorimétricos para determinar experimentalmente la capacidad frigorífica de los motocompresores herméticos tipo I, II y III a 35 °C y 38 °C

de temperatura ambiente. Los ensayos se realizaron en un laboratorio certificado por la ISO 9002 e ISO 14000, luego los equipos de control y producción cumplen con las normas internacionales de calidad. En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos de manera experimental.

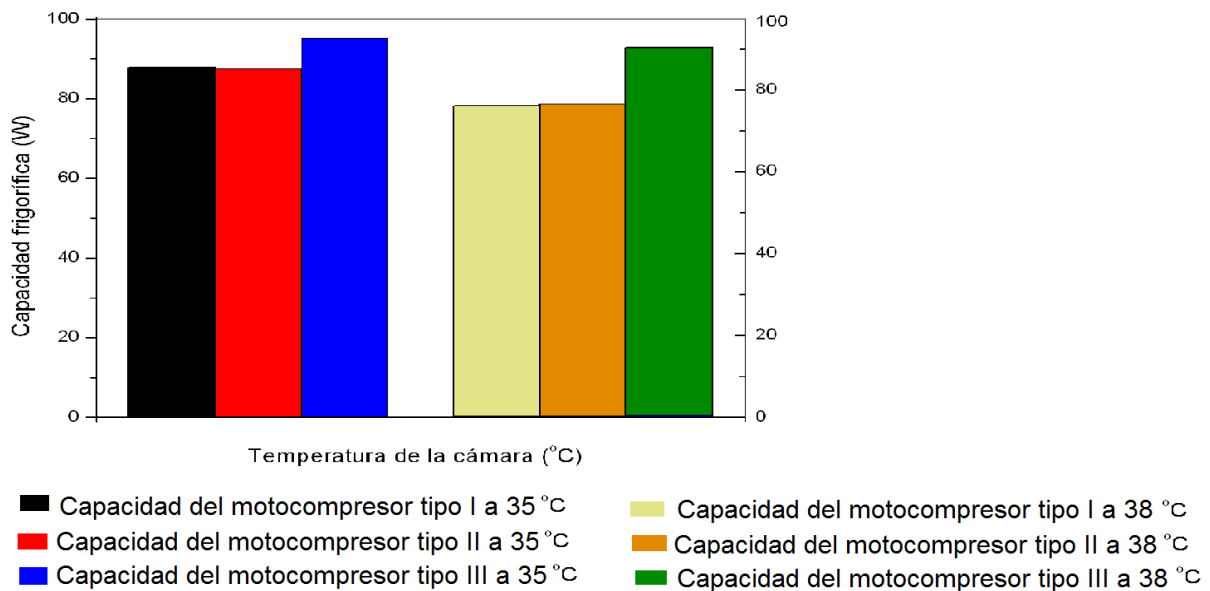


Figura 3. Valores de capacidad frigorífica obtenidos de manera experimental.

Discusión de Resultados

La comparación entre los valores de capacidad frigorífica de los motocompresores herméticos tipo I, II y III, predichos por el modelo matemático en cuestión y los obtenidos experimentalmente con la realización de ensayos calorimétricos para temperaturas ambientes superiores a 32 °C, revelaron la existencia de desviaciones relativas que se encuentran entre un 2,03 % y un 4,80 %.

Dada la naturaleza compleja de los fenómenos físicos que tienen lugar, no solo en el motocompresor hermético, sino en el refrigerador doméstico en su conjunto, el cual es en realidad una unidad indivisible [5], resulta alentador haber obtenido desviaciones relativas inferiores al 5 %.

El modelo matemático predice que con el aumento de la temperatura ambiente se debe producir una disminución de la capacidad frigorífica, ver figura 2, lo cual es corroborado por los ensayos calorimétricos realizados en laboratorios, ver figura 3. En opinión de los autores este hecho resulta ser uno de los mayores aciertos del modelo matemático revelado.

Conclusiones

1. Se reveló un nuevo modelo matemático el cual permite calcular la capacidad frigorífica del motocompresor hermético, operando esta máquina en condiciones de países de clima tropical.

2. El modelo matemático en cuestión predice valores de capacidad frigorífica para los motocompresores herméticos tipo I, II y III, operando estos en condiciones de clima tropical, que se desvían en menos de un 5 % respecto a los valores obtenidos experimentalmente en los ensayos calorimétricos.

3. De manera experimental se encontró que al aumentar la temperatura ambiente, de la zona donde opera el motocompresor hermético, se produce una consecuente disminución de la capacidad frigorífica, lo cual es predicho por el modelo matemático con una desviación relativa media de 3,41 %, entre los valores arrojados por el experimento y los predichos por el modelo.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Fábrica de Compresores Danfoss S.A de C.V, México, por el apoyo prestado para la realización de las pruebas experimentales de este trabajo y a investigaciones propias de la firma.

Referencias Bibliográficas

- [1] Berger E. y otros: 1D heat Exchanger Simulation to Capture the Cycling Transients of Domestic Refrigeration Appliances Working with R600a, International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Estados Unidos de América, 2012.
- [2] Ellis M.: "Gadgets and Gigawatts – Policies for Energy Efficient Electronics", Stedi Media, París, 2009.
- [3] Radermacher R. y Kim K.: "Domestic refrigerators: recent developments". International Journal of Refrigeration. Vol. 19, No. 1 (1996) 61– 69.
- [4] Arencibia K. y Tricio V.: Evaluación de compresores utilizados en la refrigeración doméstica, avances en ciencias y técnicas del frío, CYTEF-2009, España, 2009.
- [5] Stoecker W. F.: "Refrigeración y acondicionamiento de aire", ISPJAE, La Habana, 2004.
- [6] Sattar M. A., Saidur R., Masjuk H. H.: "Butane, isobutane and their mixtures as an alterantives to R-134a in domestic refrigerator". International Journal of Mechanical and Materials Engineering. Vol 2, No. 2 (2007) 154 – 160.
- [7] Arencibia A. K.: Sistema de pruebas de control para la comprobación de la fiabilidad de los motocompresores herméticos en condiciones de países tropicales, Holguín, 2004. (Tesis de Doctorado, Refrigeración).
- [8] Academia de Ciencias, Instituto de Meteorología, Departamento de Climatología, La Habana, Cuba, 2012.
- [9] Elmegaar B.: Software for the simulation, 15th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Alemania, 2002.
- [10] Hermes L.y Melo C.: "A first-principles simulation model for start-up and cycling transients of household refrigerators". International Journal of Refrigeration, Vol. 31, No. 8 (2008) 1341–1357.
- [11] Borges N., Hermes L.,Goncalves M., Melo C.: "Transient simulation of household refrigerators, a semi-empirical quasi-steady approach". Applied Energy, Vol. 88, No. 4 (2011) 748–754.
- [12] Gonçalves M., Melo C. y Hermes L.: "A semi-empirical model for steady-state simulation of household refrigerators". Applied Thermal Engineering, Vol. 29, No. 1 (2009) 1622–1630.

Recibido el 25 de Enero de 2016
En forma revisada el 23 de Enero de 2017