

Análisis del comportamiento de la capacidad frigorífica en compresores herméticos en Cuba.

K. Arencibia Avila, R. Valledor Tristá*, V. Tricio Gómez**

Universidad de Holguín. Departamento de Ingeniería Mecánica.

Ave. XX Aniversario, 80100. Holguín, Cuba.

Teléfonos: (24) 48 13 02, 48 16 62, 48 26 75

Fax: (24) 48 18 43, (24) 48 16 62

email: kaa@facing.uho.edu.cu

*INPUD Santa Clara

email: rvalle@inpud.co.cu

**Universidad de Burgos. España.

E-mail: vtricio@ubu.es

(Recibido el 8 de Febrero de 2004; aceptado el 21 de Marzo de 2004)

Resumen.

El índice de roturas de los compresores herméticos en Cuba (4 %) se encuentra muy por encima de los estándares internacionales de calidad (0,04 %). El objetivo del trabajo que se presenta fue la determinación de la capacidad frigorífica a tres tipos de compresores herméticos diferentes en condiciones ambientales como las existentes en el país. Las pruebas experimentales se realizaron en laboratorios certificados por las normas ISO 9002 e ISO 14 000.

El análisis muestra que se pierde más del 10 % de la capacidad frigorífica del compresor. De ello se deduce que la simple transferencia de tecnología no puede ser una solución para las necesidades crecientes de equipos de refrigeración en el país. Los equipos y sistemas de este tipo tienen que ser diseñados especialmente para las condiciones cubanas con el objetivo de lograr eficiencias aceptables, equivalentes a la media mundial y acorde a la situación energética que afronta el mundo actualmente.

Palabras claves: Compresores herméticos, refrigeración.

1. Introducción.

Si bien es cierto que existe un criterio generalizado sobre los elementos que inciden negativamente en el funcionamiento de un refrigerador doméstico especialmente en el compresor hermético y la influencia que tienen las altas temperaturas del aire ambiente. En la amplia literatura consultada no se recogen reportes o valoraciones sobre la afectación real que provoca la recirculación del aire caliente en el comportamiento del compresor hermético. Solo se indica que los refrigeradores y compresores deben de emplazarse en lugares ventilados a fin de lograr que el aire frío reemplace al caliente que despiden los condensadores.

Varios autores coinciden en la ubicación de los equipos, y que los rendimientos normales se basan en una temperatura ambiente de 32 °C. No se recomienda que la abertura de la entrada del aire tenga una superficie inferior al 80 % de la superficie frontal del condensador y nunca se dejarán menos de 20 cm entre el mueble y una pared. Debe también lograrse que el mueble esté levantado de forma tal que el aire caliente

circule por debajo. Según estos autores la temperatura del aire en la zona de condensación y la recirculación del aire caliente es la causa del 50 % por lo menos, de motores quemados en los compresores herméticos. Otros afirman la existencia de una relación entre la temperatura de condensación y el aire que atraviesa el condensador, y ello conduce a que la capacidad frigorífica en condiciones de trabajo se distinga de la estándar, que es la que aparece en los catálogos. Teniendo en cuenta los anteriores elementos el objetivo del trabajo es la determinación de la capacidad frigorífica con y sin subenfriamiento del refrigerante a tres tipos de compresores herméticos diferentes en condiciones ambientales como las existentes en Cuba.

Un estudio preliminar de una muestra de 120 refrigeradores para evaluar los valores de temperatura del aire ambiente en la zona de condensación y el compresor permitió conocer que dicha temperatura difiere de las que propone el fabricante para un funcionamiento eficaz.

Las prestaciones de un compresor hermético están muy ligadas a las condiciones de funcionamiento en las

que se le haga trabajar. En el año 1953, la ASHRAE estableció las condiciones de ensayo para su evaluación, la que es utilizada por la mayoría de los fabricantes, aunque posteriormente los países europeos decidieron establecer las suyas, conocida como CECOMAF. La diferencia entre ambas condiciones de ensayo es que en el caso CECOMAF no hay subenfriamiento de líquido. En la figura 1 se muestra el ciclo de refrigeración con ambas condiciones. Estas normativas pretenden fijar los diferentes estados del ciclo frigorífico a la hora de realizar el ensayo que determina la capacidad frigorífica que es capaz de dar el compresor [7, 8].

Ambas condiciones, tanto ASHRAE como CECOMAF, están definidas para un único punto que corresponde en el caso de compresores LBP a 54,4 °C de temperatura de condensación para una temperatura ambiente máxima de 32 °C y el voltaje/ciclaje 115 V/ 60 Hz para lograr una evaluación eficaz de los equipos. Sin embargo en Cuba, muchos compresores funcionan fuera de estos valores.

Los compresores herméticos constituyen un producto altamente sofisticado. Los 65 millones de compresores que se producen anualmente para aplicaciones domésticas se fabrican mayoritariamente en plantas a gran escala. Entre ellas se encuentran: MATSUSHITA (producción mayormente Malaya), ELECTROLUX (Italia, Austria, España, EE. UU, China, Egipto y la India), EMBRACO (Brasil, Italia, China), TECUMSEH (EE. UU, Brasil y la India), DANFOSS (México, Eslovenia, Alemania).

Según los informes del Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente [1], solo en los meses de enero, febrero y marzo de los últimos años se registraron temperaturas ambientes promedio por debajo de los 27 °C, el resto de los meses superó esta cifra con temperaturas máximas entre 35 y 38 °C. Esto implica que el compresor trabaja a una

temperatura superior a la de diseño durante nueve de los doce meses del año. Es decir el 75 % del tiempo.

Por otro lado las condiciones económicas que atraviesa el país limitan los códigos de confort que se utilizan a nivel mundial para las viviendas, por lo que ha sido necesario reducir a espacios mínimos de habitabilidad, y dejar insatisfechas algunas necesidades de bienestar. Dentro de ellos, se deben mencionar los vanos para fenestración (regulados por la norma cubana), que no permiten el 100 % de la ventilación cruzada dentro de los diferentes espacios de las viviendas, lo que provoca zonas viciadas de circulación y por ende, acumulan mayor cantidad de calor dentro del hogar.

Expertos de la empresa de la vivienda en Holguín consideran que en determinadas horas la concentración de calor dentro del hogar es prácticamente similar al exterior, y se debe a que los moradores de las viviendas pasan la mayor parte de las horas cálidas del día en sus trabajos, lo que implica que casi el 40 % del día estén cerradas.

Todo ello permite inferir, que la temperatura del aire va a estar por encima de los valores que las pruebas establecen, y por tanto, los resultados obtenidos en los ensayos no serán fiables para las condiciones del país ya que hay diferencias entre la temperatura original de la prueba y la real del país. Estos valores fueron comprobados en la evaluación de 120 refrigeradores y se obtuvo como resultado que el 89.3 % se explotan fuera del régimen de diseño. Es decir, las condiciones del aire en Cuba, hacen que la temperatura de condensación se eleve por encima de las condiciones para los cuales han sido diseñados y es una de las causas de sobre-consumo energético y de alto índice medio anual de roturas [9].

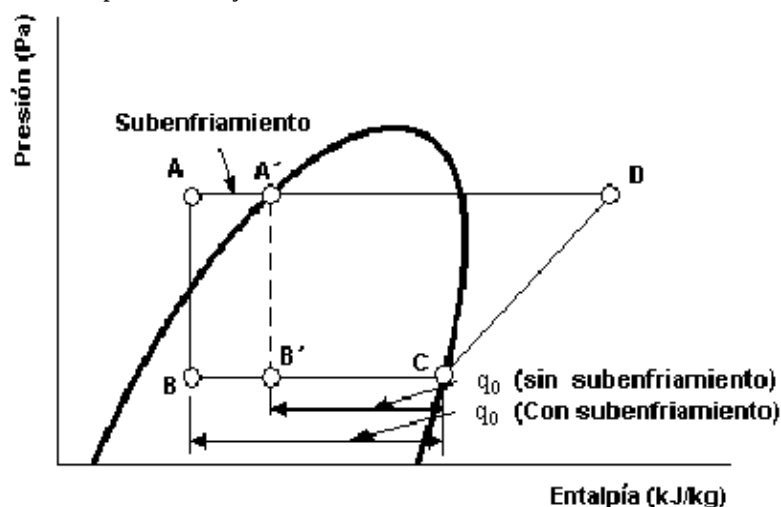


Figura. 1 Efecto del subenfriamiento sobre el efecto de refrigeración.

2. Análisis termodinámico.

El coeficiente de desempeño o relación de la eficiencia (COP) en los compresores herméticos para fluidos refrigerantes según varios autores, resulta ser la manera más objetiva de evaluar los sistemas de refrigeración que comprende la relación entre la capacidad frigorífica Q_0 y la potencia eléctrica P_e (W) [5, 6]. En función de los valores de potencia que se empleen (teórico, efectivo) se pueden obtener los valores del COP correspondientes. Los valores del COP existentes, relacionados directamente con los regímenes de diseño y trabajo son:

$$\begin{aligned} Q_0 \text{ (kW)} &= f_1(t_0, t_k, t_s, t_{sc}, \text{refrigerante}) \\ P_e \text{ (kW)} &= f_2(t_0, t_k, t_s, t_{sc}, \text{refrigerante}) \\ \text{COP} &= f_3(t_0, t_k, t_s, t_{sc}, \text{refrigerante}) \end{aligned}$$

Entre las variaciones del régimen de trabajo que afectan el COP están los incrementos de temperatura de condensación t_k . Varios autores [2, 3, 4] plantean que esto ocurre debido fundamentalmente a las siguientes causas:

- Disminución de la capacidad frigorífica específica
- Aumento del trabajo teórico del compresor
- Pérdidas mecánicas y eléctricas

Las disminuciones del COP, debido a los aumentos de la temperatura de condensación, t_k , quedan expresadas por las reducciones de la capacidad frigorífica específica (Q_0) que provoca un aumento de la entalpía en la entrada del evaporador. En fin, para obtener valores de Q_0 y el COP del compresor, es necesario que los parámetros de ensayo estén en correspondencia con las condiciones de explotación existente en el país. El COP es la relación que existe entre la capacidad de refrigeración (Q_0) y el suministro neto de potencia al compresor en las mismas unidades.

$$COP = \frac{Q_0}{W} \quad (2.1)$$

Donde,

Q_0 : capacidad frigorífica o de refrigeración, (W) (J/s)

W : potencia consumida por el compresor, (W) (J/s)

Del análisis de la ecuación 2.1 resulta que a medida que es menor la capacidad frigorífica provocada por el aumento de la temperatura ambiente, el coeficiente de

rendimiento o relación de la eficiencia de la energía disminuirá. Hasta aquí se concluye que es necesario la realización de pruebas experimentales a las diferentes temperaturas ambientes registradas en el país, que permitan cuantificar los valores de capacidad frigorífica, con el objetivo de hacer una selección y evaluación del compresor hermético más adecuado a las condiciones en que se explotan estos equipos en Cuba; ya que a partir del análisis del ciclo ideal no se puede determinar objetivamente debido a que los procesos no son totalmente reversibles como establece el mismo.

3. Ensayo calorimétrico.

Con el ensayo calorimétrico se obtienen los parámetros que caracterizan los compresores herméticos como la capacidad frigorífica, la potencia eléctrica consumida, la corriente, el COP, la temperatura de descarga, carcasa y bobinado del compresor con un grado de precisión suficiente que permita decidir su aplicación en las condiciones reales de explotación. Normalmente el fabricante lo brinda en condiciones estandarizadas. Ello significa obtener información sobre las variaciones de la capacidad frigorífica que imponen las condiciones reales de explotación.

Determinar los valores antes mencionados, resulta práctico para el análisis de los compresores en los sistemas de refrigeración, lo que permite garantizar que a cualquier temperatura ambiente y voltaje existente se cuente con la capacidad frigorífica y eficiencia necesarias. Esto brinda un alto porcentaje de factor de seguridad y fiabilidad ante la situación de las condiciones de ventilación, apertura de la puerta del refrigerador, máxima carga calórica, fenómenos cotidianos e inevitables durante el funcionamiento de un refrigerador doméstico. En fin, permite evaluar la factibilidad del equipo para decidir las zonas de trabajo más apropiadas y es una de las vías más eficaces para el perfeccionamiento de la evaluación y selección. Por todo ello, se considera que ésta es una de las pruebas fundamentales para evaluar los compresores herméticos que importa el país.

El método de ensayo utilizado fue el Método A: Calorímetro a fluido secundario el mismo se presenta de forma general en la figura 2. Está compuesto por un serpentín de evaporación directa o por un conjunto de serpentines montados en paralelo, que sirven de evaporador principal. Este evaporador está suspendido en la parte superior de un recipiente termoaislado y resistente a la presión.

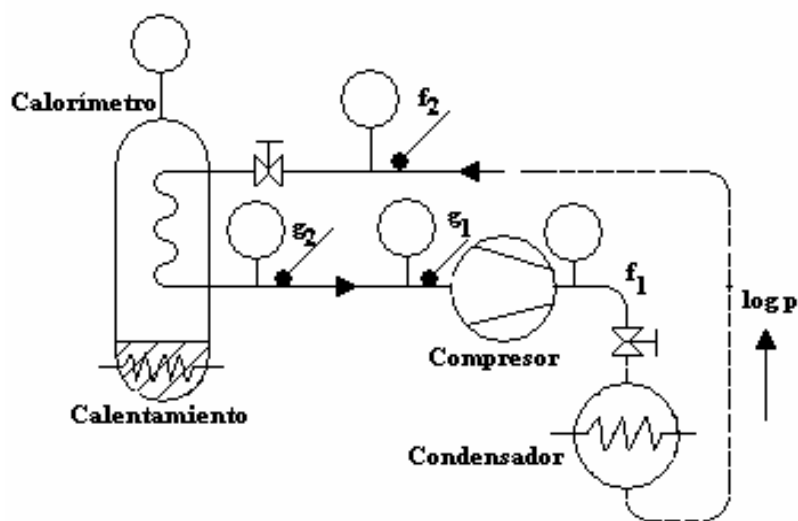


Figura 2. Partes principales del calorímetro a fluido secundario.

3.1 Trabajo experimental.

Se realiza la prueba calorimétrica para evaluar el comportamiento de la capacidad frigorífica a compresores de tres fabricantes diferentes. Los compresores seleccionados se utilizan preferentemente en los refrigeradores y neveras domésticas, por tanto, su aplicación es de bajo torque de arranque (LST) y de baja presión de aspiración (LBP).

Los valores de temperatura ambiente para la evaluación de compresores varían en los rangos de:

CUBA1 → 32 – 35
CUBA2 → 36 – 39

El ensayo calorimétrico se realiza también con los parámetros establecidos en ASHRAE y CECOMAF. Estos resultados servirán para las comparaciones necesarias y se realizan antes y después de la prueba de vida o marcha acelerada. Para el desarrollo de la prueba se contó con el laboratorio de pruebas del departamento de tecnología de la fábrica de Compresores Danfoss S.A. C.V.

4. Resultados y análisis del ensayo calorimétrico.

Para el análisis de los resultados del ensayo calorimétrico se estableció como referencia el valor resultante de los parámetros de la prueba para las condiciones de diseño. Es decir, una temperatura ambiente de 32 °C y un voltaje ciclaje de 115 V/ 60 Hz.

En la evaluación en el banco de pruebas calorimétrica a temperaturas ambientes superiores de 35 y 38 °C (condiciones reales de explotación), que fueron determinadas en evaluaciones de campo y a partir de los datos suministrados por el Instituto de Meteorología, se obtuvieron reducciones apreciables de la capacidad frigorífica en los tres tipos de compresores estudiados.

La figura 3 representa el porcentaje de pérdida de capacidad frigorífica en la evaluación de Cuba 1 (35 °C) y Cuba 2 (38 °C) con subenfriamiento respecto al valor obtenido después de la prueba de marcha acelerada a una temperatura de 32 °C. Se obtiene una pérdida máxima de capacidad frigorífica en Cuba 2, para el tipo II, que alcanza 17.65 %. Es decir, que sólo el hecho de que la temperatura ambiente haya variado 6 °C por encima del valor del ensayo que establece ASHRAE, ha sido suficiente para que se pierda 17.65 % de la capacidad frigorífica declarada por el fabricante.

Para el compresor tipo I, la pérdida es de 12.11 % y para el tipo III de 7.51 %. Para ofrecer un criterio general del fenómeno se calcula el promedio de estas pérdidas como dato de referencia y se obtiene 12.42 % (suponiendo que se adquieran de forma proporcional los tres tipos de compresores). La diferencia entre tipos, se atribuye a los detalles que distinguen la calidad de su construcción, tales como reducción de espacio muerto, disposición y sistema de válvulas, perfecto ajuste, solidez de construcción y eficaz sistema de lubricación. Ahora bien, a pesar de las diferencias de pérdidas de capacidad por tipos de compresores es evidente que en todos los casos dichas pérdidas son superiores cuando se varía la temperatura ambiente.

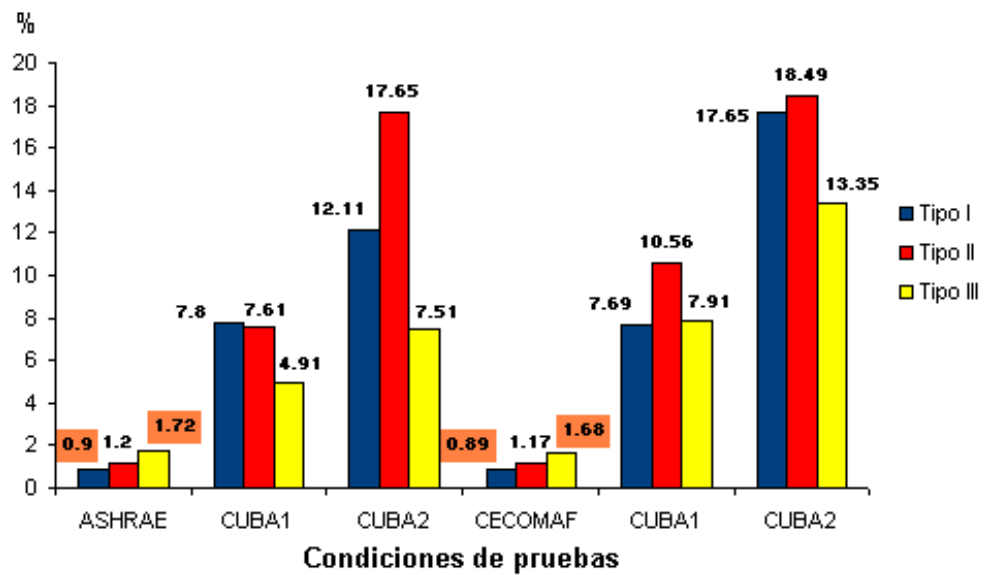


Figura 3. Comportamiento de la capacidad frigorífica¹ en condiciones ASHRAE, CECOMAF y PROPUESTAS con 115 V / 60 Hz.

Para el caso de la condición CECOMAF, debe significarse que la pérdida de capacidad frigorífica, se ve más acentuada y alcanza su valor máximo en 18.49 % en Cuba 2, y un promedio para los tres tipos de 16.49 %. El incremento en la pérdida de capacidad frigorífica obedece a que en la condición de prueba CECOMAF el líquido no se subenfrió lo que provoca que la entalpía del mismo a la entrada del evaporador aumente. La existencia de la pérdida en la capacidad de los compresores al evaluarlos para las condiciones Cuba, los invalidan para su uso según la capacidad declarada por el fabricante. Es decir, habría que considerar ésta disminución de capacidad a la hora de adquirir los compresores y no serían los mismos que ofertan los fabricantes para sus condiciones de evaluación. Sin embargo, puede añadirse, que si se tiene en cuenta el aspecto energético, es decir, el costo que ello implica por concepto de explotación futura, queda claro que en las actuales condiciones el país importa compresores sub-dimensionados en cuanto a capacidad frigorífica, lo que origina una de las causas del acortamiento de su vida útil.

El hecho de haber una disminución de la capacidad frigorífica debido a las condiciones en que se explota, e

incluso después del ensayo de marcha acelerada o prueba de vida, es sinónimo de que al funcionar en un sistema de demanda de la capacidad frigorífica declarada por el fabricante, el equipo, al intentar dar la capacidad necesaria para las condiciones de explotación reales, durará menos. Por otra parte, debe estimarse el gasto en la explotación que va más allá de lo que pueda costarle al dueño, en cuanto al exceso de consumo eléctrico que tendrá. Pero además puede convertirse en un problema para la generación de energía y su costo para el país. En fin, queda claro que a partir de los resultados de la investigación es fundamental adquirir el compresor por el criterio de capacidad frigorífica. Debe tenerse en cuenta que la misma debe estar en correspondencia con las condiciones en que se explotará en el país.

Ello implica una mayor vida útil y, por ende, mayor satisfacción del usuario. No deja de ser importante aclarar la cuestión referida a la selección del compresor, al aparato técnico que está asociado a la sustitución del mismo en una aplicación determinada (refrigerador, congeladores, etc.), sino también a los gastos adicionales por concepto de soldadura, tuberías, agentes limpiadores, mano de obra, refrigerante, filtro, etc.

5. Conclusiones.

1. Las condiciones reales de explotación de los compresores herméticos en Cuba superan la temperatura ambiente previstas en la normas.
2. El ensayo calorimétrico evidenció que bajo las condiciones de temperatura ambiente existentes en el país, la capacidad frigorífica disminuye como mínimo en un 10 %, valor que se encuentra por encima de los admitidos internacionalmente.
3. La selección del compresor hermético para Cuba debe de realizarse a partir de un estudio minucioso de la aplicación final donde será instalado.
4. La existencia de la pérdida de capacidad frigorífica en los compresores herméticos al evaluarlos para las condiciones de Cuba, lo invalidan para su uso según la capacidad declarada por el fabricante.

6. Bibliografía

1. Resumen climático por estaciones. La Habana, Academia de Ciencias. Instituto de Meteorología. Departamento de Climatología, 2000. 378 p.
2. Dossat, R. J. Principles of Refrigeration. SI Version. New York: John Wiley & Sons, 1981.
3. Dutta (A.K.) Yanagisawa (T.), Fukuta (M.). A Study on Compression Characteristic of Wet Vapour Refrigerant. (English). Proceedings 1996 International Compressor Engineering Conference, Purdue University, US, 1996.07.23-26, Vol. 1, pág. 235-240.
4. EMBRACO. Empresa Brasileña de Compresores. S. A. Compresores 115 V / 60 Hz para R134a. Información Técnica. Brasil, 2002, agosto.
5. Maestre Albert, Joaquín. Nuevo curso de ingeniería del frío. España: Colegio oficial de ingenieros agrónomos de Murcia: Editora A. Madrid Vicente, 1993. 468 p. (76)
6. MATAIX, Claudio. Termodinámica técnica y máquinas térmicas. Madrid: Editorial ICAI, 1978. 734 p.
7. UNE 86-202-84 (ISO 917). Ensayos de compresores para fluidos refrigerantes. España, Diciembre 2000.
8. UNE 86-300-83 (2). Símbolos, unidades y definiciones en el campo del frío. Parte 2: definiciones para motocompresores frigoríficos de una etapa herméticos y herméticos accesibles. Potencia nominal y datos correspondientes a esta potencia. Febrero, 2000. España.
9. Valledor Trista, Ramiro. Análisis ecológico y energético del mercado nacional de refrigeradores. Laboratorio de Ensayos INPUD. Villa Clara, 2002.

Behaviour of the refrigeration capacity in hermetic compressors.

Abstract.

The break rate of hermetic compressors in Cuba (4%) is well over the international standards of quality (0.04 %). The purpose of this work was to determine the refrigeration capacity to three kinds of hermetic compressors in environmental conditions like the ones existing in the country. The experimental test were carried out in laboratories certified by ISO 9002 and ISO 14 000.

The analysis shows that more than 10 % of the refrigeration capacity of the compressors is lost. We can say that a simple transference of technology cannot be a solution to the increasing needs of refrigeration equipment. The systems and equipment of this kind have to be specially designed to meet our conditions, with the aim of achieving acceptable efficiencies, similar to those of the world average, and according to the energy situation that the world is facing nowadays.

Key Words: Hermetic compressors, refrigeration.