



# La temperatura de descarga y carcasa: comportamiento de compresores herméticos en países de clima tropical

## Discharge and casing temperature: behavior of hermetic compressors in countries with a tropical climate

Karel Arencibia-Ávila<sup>I</sup>, Francisco Fernández-Periche<sup>I</sup>, Roberto Pérez-Rodríguez<sup>II,\*</sup>, Enrique Ernesto Zayas-Figueras<sup>IV</sup>

I. Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia

II. Universidad de Holguín, Centro de Estudios CAD/CAM. Holguín, Cuba

III. Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería Mecánica. Barcelona, España

\* Autor de correspondencia: [roberto.perez@uho.edu.cu](mailto:roberto.perez@uho.edu.cu)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](#)



Recibido: 15 de mayo de 2022

Aceptado: 2 de julio de 2022

### Resumen

Conocer la temperatura de la descarga y carcasa de los compresores herméticos de refrigeración doméstica que operan en condiciones de clima tropical, permite garantizar el correcto funcionamiento y vida útil de estos equipos. Este artículo presenta los resultados de las pruebas en calorímetro a fluido secundario del comportamiento de la temperatura de la descarga y carcasa a compresores herméticos de tres fabricantes. Las pruebas se realizaron antes y después de la prueba de vida, a diferentes temperaturas ambientes, voltajes, con y sin subenfriamiento. Los resultados han demostrado que existen diferencias

significativas entre los valores de temperatura de descarga y carcasa de los compresores herméticos, para el rango de temperatura ambiente estudiado. La necesaria búsqueda de una mayor eficiencia en los sistemas de refrigeración, conduce a que la información obtenida podría utilizarse en el estudio de mejoras para el diseño de compresores que se desempeñan en climas tropicales.

**Palabras claves:** compresores herméticos; temperatura de descarga; temperatura de carcasa; clima tropical; refrigeradores domésticos.

### Abstract

Knowing the temperature of the discharge and casing of hermetic domestic refrigeration compressors that operate in tropical climate conditions, allows us to guarantee the correct operation and useful life of these equipment. This article presents the results of tests in secondary fluid calorimeter of the behavior of the temperature of the discharge and casing to hermetic compressors of three manufacturers. The tests were carried out before and after the life test, at different ambient temperatures, voltages, with and without subcooling. The results have shown that there are significant differences

between the discharge and casing temperature values of hermetic compressors, for the ambient temperature range studied. The necessary search for greater efficiency in refrigeration systems leads to the fact that the information obtained could be used in the study of improvements for the design of compressors that perform in tropical climates.

**Key words:** hermetic compressors; discharge temperature; shell temperature; tropical climate; domestic refrigerators.

### Cómo citar este artículo:

Arencibia Ávila K, Fernández Periche F, Pérez Rodríguez R, Zayas Figueras EE. La temperatura de descarga y carcasa: comportamiento de compresores herméticos en países de clima tropical. Ingeniería Mecánica. 2022;25(3):e656. ISSN 1815-5944.

## 1. Introducción

Los compresores herméticos tienen una aplicación directa en los refrigeradores domésticos y constituyen el núcleo del sistema de refrigeración. La venta global de nuevos refrigeradores es alrededor de 150 000 000 de unidades al año. Se estima que estos consumen tanto, como el 6 % de la electricidad global [1], por lo que mejorar su eficiencia para la mitigación del cambio climático en condiciones de clima tropical constituye un aspecto esencial a considerar.

La exigencia de diseñar máquinas más precisas requiere de un profundo conocimiento, tanto de ella misma, como de la comprensión de los efectos que influyen en su comportamiento. La temperatura de descarga y

carcasa del compresor suele ser una temperatura que se pasa por alto cuando se solucionan problemas en el sistema de refrigeración, aun cuando de ello dependa la vida útil del compresor. La misma resulta de vital importancia, pues constituye un indicador de la cantidad de calor absorbido en el evaporador y en la línea de succión, y cualquier calor de compresión generado por el proceso de compresión.

Esta temática es abordada de manera acertada en la literatura [2-5], cuando se refiere que la capacidad frigorífica y el coeficiente de desempeño de un compresor hermético, está fuertemente correlacionada con el comportamiento de la temperatura ambiente. Sin embargo, resultan insuficientes los datos de los impactos y de las actuaciones que los cambios de temperatura ambiente pueden tener en el comportamiento de la temperatura de descarga y carcasa del compresor hermético, que se utilizan en la refrigeración doméstica en climas tropicales. Así mismo, las informaciones que se ofrecen en los catálogos de los fabricantes son limitadas respecto a los valores de estas temperaturas [6, 7].

Los rendimientos normales de los compresores herméticos se basan en una temperatura ambiente máxima del aire de 32 °C. El compresor hermético debe estar ventilado a fin de lograr que el aire frío reemplace al aire caliente que despiden el condensador. En caso contrario, aumentaría la temperatura del local con el resultado de altas presiones y la reducción de la capacidad frigorífica del compresor. La temperatura del aire en la zona de condensación y la recirculación del aire caliente, es la causa de alrededor del 50 % de los motores quemados en los compresores herméticos [8].

Diversos estudios e investigaciones se han desarrollado sobre este tema. Huang et al. [9] proponen un método para controlar el caudal de refrigerante usando la temperatura de descarga como índice de control de la cantidad y calidad del vapor refrigerante aspirado en el compresor. Según este autor, Daikin Industries posee una patente que utiliza la temperatura de descarga para controlar la apertura de las válvulas de expansión principal y de derivación, para obtener un rendimiento óptimo del sistema. Además, destaca que la carcasa del compresor transfiere calor al medio ambiente por convección natural, y que la entalpía de descarga consta de tres partes: la entalpía de succión, la potencia del compresor y la tasa de pérdida de calor en la carcasa, coincidiendo que la tasa de pérdida de calor en la carcasa ayuda a disminuir la temperatura de descarga.

Wang, et al [10] a su vez, proponen un método que combina la compresión isoentrópica e isotérmica bajo la condición de refrigeración eficaz del compresor, que puede reducir la potencia del compresor y la temperatura de descarga. Los autores concluyen que la combinación de compresión isentrópica e isotérmica puede reducir la potencia de compresión del sistema hasta aproximadamente un 16 %, dependiendo de las condiciones de operación y la elección del fluido.

Li [11] por su parte, desarrolla un modelo físico semi-empírico detallado que permite predecir el caudal másico, la potencia del eje y la temperatura de descarga para un compresor alternativo y *scroll*, extrapolando los resultados a otros refrigerantes y temperaturas ambientes. Sus resultados fueron comparados con datos experimentales, lo que demuestra la buena capacidad de extrapolación.

Torchio, et al [12] realizaron un estudio experimental de un congelador de alimentos típicos de pequeña capacidad para determinar la refrigeración. Se midieron parámetros termodinámicos y eléctricos, realizando un estudio experimental sobre dos parámetros, la carga refrigerante y la temperatura ambiente, destacando la existencia de sobrecalentamiento en diferentes componentes, entre ellos la carcasa del compresor hermético.

Fry [13] describe el uso de un diseño hermético alternativo mejorado, aplicado a una carcasa de alta presión, descubriendo que el mecanismo alternativo puede aportar ventajas al concepto de carcasa de alta presión. Sintetiza también, que el aumento de la temperatura de la carcasa está generalmente asociado con el aumento de la carga del compresor, aunque se interpreta que estos estudios resultan aún insuficientes. Varios autores sostienen que los sistemas de compresión de vapor en climas tropicales tienden a operar a relaciones de presión más altas, lo que lleva a mayores temperaturas de descarga, mayores irreversibilidades durante la compresión, menores diferencias de entalpías específicas en el evaporador y posiblemente una reducción en la vida útil del compresor debido a la descomposición del aceite. Esto necesariamente, tiene que ver con la relación existente entre la temperatura ambiente, de condensación, descarga y carcasa del compresor.

Bassiouny [14] presenta un modelo analítico y computacional del efecto del espacio que rodea al condensador de un refrigerador doméstico sobre el calor rechazado. El objetivo principal de este estudio fue investigar el efecto de la brecha circundante, alrededor del condensador en su rechazo de calor, bajo cierta condición de flujo de refrigerante. Los resultados mostraron que tener un espacio circundante suficiente (mayor a 200 mm), conduce a una disminución de la temperatura del aire que fluye verticalmente alrededor de la bobina del condensador. Sin embargo, esta condición es poco probable que se cumpla por los usuarios una vez que estén en operación estos equipos (en condiciones reales). Como bien plantea el autor, esto aumenta significativamente la cantidad de calor rechazado y, por tanto, aumenta la temperatura del aire alrededor del condensador.

Masjuki, et al [15] señalaron que la eficiencia de los compresores disminuye a medida que la temperatura ambiente aumenta y el consumo de electricidad del refrigerador es sensible a la temperatura ambiente. Los autores concluyeron que el consumo de energía aumenta alrededor de 40 Wh, para un aumento de 1 °C de la temperatura ambiente. Rahman, et al [16] realizaron una encuesta para investigar el rendimiento de la temperatura y las condiciones de uso de los refrigeradores domésticos en el entorno real de la cocina. Se examinaron y analizaron varios aspectos, como la fuente de calor, la temperatura ambiente y la frecuencia de apertura de puertas por día, que afectan la temperatura dentro de los refrigeradores y congeladores, para

determinar el comportamiento de uso entre los consumidores. Los resultados muestran que la combinación de las condiciones de uso [ajuste de temperatura, frecuencia de apertura de puertas y fuente de calor] parece tener un gran impacto en la temperatura del refrigerador.

Greenblatt, et al [17] utilizaron datos sobre el uso de energía medidos en el terreno de 1 467 refrigeradores y 185 congeladores, en siete estudios realizados entre 1992 y 2010 para calcular los factores de ajuste del uso. Se obtuvieron funciones de predicción a través de múltiples regresiones de los factores de ajuste de uso en relación con variables domésticas y climáticas. Estas proyecciones de uso de energía constituyeron la base para calcular el ahorro de energía durante el ciclo de vida de los refrigeradores y congeladores más eficientes, así como el ahorro nacional de energía y de costos.

Geppert, et al [18] evaluaron a través de estudios empíricos, el consumo de energía de los refrigeradores con varios factores operativos, como reflejo de las condiciones de la vida real. Se probaron cuatro refrigeradores diferentes en condiciones controladas de laboratorio, con tres variables [posición de ajuste del termostato, temperatura ambiente y calor adicional almacenando comida caliente] y en tres niveles diferentes. Las investigaciones revelaron que el consumo de energía de los refrigeradores es altamente sensible a las condiciones operativas reales y demostraron, además, que la temperatura ambiente es el factor que más influye en el consumo de energía de un refrigerador.

Almeida, et al [19] estudiaron varias metodologías de ensayo de prueba de vida, centrándose en el desgaste los componentes mecánicos. Plantean que los estudios de fiabilidad y durabilidad de los compresores que utilizan refrigerantes naturales, son muy incipientes y carecen de estandarización. Plantean, además, que el estudio de la fiabilidad de compresores herméticos se torna un campo muy importante de investigación en los momentos actuales.

Anjana, et al [4] realizaron una investigación para estudiar el rendimiento de una unidad de refrigeración doméstica en condiciones climáticas simuladas, que representan diferentes zonas climáticas de Sri Lanka, con respecto a su temperatura de bulbo seco. Los resultados indicaron un aumento del 5,6 % del consumo de energía, por cada aumento de 1 °C de la temperatura ambiente. El consumo de energía anual muestra una variación del 54,2 % dentro de los lugares evaluados.

A partir de que la refrigeración doméstica inadecuada [factor en incidentes de intoxicación alimentaria], James, et al [5] realizaron una revisión del rendimiento de la temperatura en los refrigeradores y sitúan en contexto, a los refrigeradores como importante y último eslabón de la cadena de frío en la conservación de los alimentos. Concluyen que de los datos publicados, muchos refrigeradores en todo el mundo funcionan a temperaturas más altas que las recomendadas. A pesar de las mejoras en el uso de la energía, el rendimiento de la temperatura y el uso de los refrigeradores no han cambiado significativamente en los últimos 40 años.

Harrington, et al [2] investigan la respuesta energética a los cambios en la temperatura ambiente (15 a 32 °C), de una amplia gama de aparatos de refrigeración que se midieron en un laboratorio de pruebas y en los hogares, resultando que en general los análisis mostraron que cada tipo de producto tiene similar respuesta a los cambios en la temperatura ambiente.

Myszka, et al [7] presentaron una evaluación de diversos métodos de predicción de la temperatura de la línea de descarga, que no se basan en parámetros específicos de los compresores. Comparado a los modelos de entropía y politropía, un enfoque de equilibrio de energía mostró una mejor correlación con las mediciones experimentales. Las evaluaciones se realizaron en compresores Scroll, utilizando refrigerante R 22. En la búsqueda de mejoras en los rendimientos y consumos energéticos, la mayoría de tan notables investigaciones se encuentran dirigidas hacia la optimización en el diseño y operación del sistema, fundamentalmente de acuerdo a los protocolos existentes de pruebas estandarizadas, aunque no siempre contemplan resultados de comportamiento de la temperatura de descarga y carcasa, para valores de temperatura ambiente como los que se registran en climas tropicales.

La mayoría de estas investigaciones se centran fundamentalmente en utilizar las temperaturas para la mejora o perfeccionamiento de estos procesos. Sin embargo, son escasos los estudios que se dedican a estudiar cómo disminuir la temperatura de carcasa y descarga y su comportamiento en condiciones de clima tropical, aun cuando casi la totalidad de los autores consultados refieren que la temperatura ambiente es el factor de más influencia en el consumo de energía de un refrigerador. Por tanto, conocer el comportamiento real de la temperatura de descarga y carcasa del compresor funcionando en climas tropicales, puede ser un instrumento útil para el análisis, el diseño y el impulso de nuevas generaciones de compresores herméticos alternativos de refrigeración doméstica para este tipo de clima.

## 2. Métodos y Materiales

En esta investigación se estudia el efecto de la temperatura ambiente sobre el comportamiento de la temperatura de descarga y carcasa del compresor hermético, utilizando las temperaturas que se registran en climas tropicales durante la mayoría de los meses del año. Se realizan pruebas calorimétricas en laboratorio acreditado a compresores de tres fabricantes, a tres muestras por cada tipo de compresor y con el refrigerante recomendado por el fabricante. Las pruebas se realizaron antes y después de la prueba de vida o marcha acelerada, a diferentes temperaturas ambientes (32, 35 y 38 °C), voltajes (93, 115, 127 V), con y sin

subenfriamiento, según la norma ISO 917. A partir del diseño experimental factorial completo con tres réplicas, se analizaron los diferentes regímenes. Los resultados del comportamiento de la temperatura de descarga y carcasa que se presentan, corresponden al promedio aritmético de los valores obtenidos. Las características de estos compresores se muestran a continuación en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características de los compresores en condiciones ASHRAE según catálogos de los fabricantes.

Fuente: autores

Tipo de compresores	Capacidad frigorífica(W)	Eficiencia (W/W)
Tipo I	95,40	0,84
Tipo II	94,70	1,17
Tipo III	100,7	0,83

## 2.1. Tratamiento estadístico para la evaluación de los resultados

Con la aplicación del diseño de experimento se determinaron los factores que causan variación y se cuantifica el efecto que cada uno de ellos tiene sobre la variable que se estudia. Su principal objetivo, es la forma en que se combinan los factores que afectan conjuntamente a la variable. Se consideraron las variables: temperatura de descarga y carcasa del compresor.

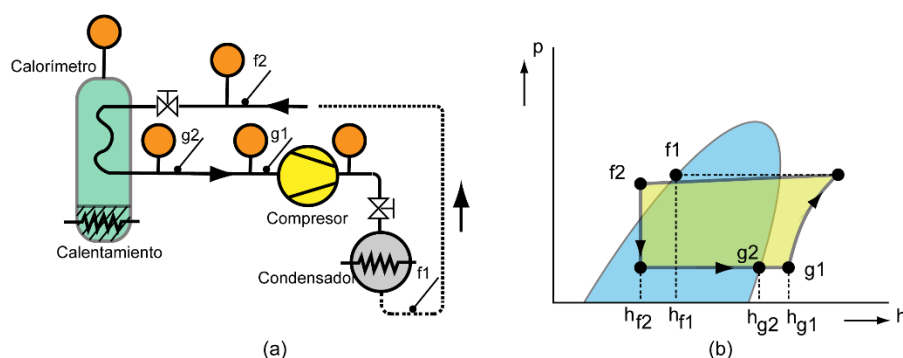
## 2.2. Diseño factorial con dos factores

Los factores se designan por factor A y factor B, respectivamente. En cada caso los dos factores son: (a) compresor con sus tres niveles (Tipo I, Tipo II y Tipo III) y temperatura ambiente con sus tres niveles (32, 35 y 38 °C), para estos diseños se controló la temperatura de evaporación a  $-23$  °C y un voltaje/ciclaje a 115V/ 60 Hz; (b) compresor con sus tres niveles (Tipo I, Tipo II y Tipo III) y Voltaje/ciclaje con sus tres niveles (93/60, 115/60 y 127/60), para estos diseños se controló la temperatura de evaporación a  $-23$  °C, temperatura ambiente a 35 y 38 °C. Como una observación debe señalarse que en el diseño antes y después de la prueba de vida a 32 °C las variables estudiadas según los factores, se comportaron de forma similar por lo que se decidió realizar los diseños a 35 °C y 38 °C solamente después de la prueba de vida.

## 2.3. Diseño factorial con tres factores

Los factores se designan por Factor A, Factor B y Factor C respectivamente. En cada caso los tres factores son: (a) compresor con sus tres niveles (Tipo I, Tipo II y Tipo III), prueba con sus dos niveles (antes y después) y condiciones con sus dos niveles (con y sin subenfriamiento). Para estos diseños se controló la temperatura de evaporación a  $-23$  °C, temperatura ambiente a 32 °C, voltaje/ciclaje a 115V/ 60 Hz; (b) compresor con sus tres niveles (Tipo I, Tipo II y Tipo III), temperatura ambiente con sus tres niveles (32, 35 y 38 °C) y condiciones con sus dos niveles (con y sin subenfriamiento), para estos diseños se controló la temperatura de evaporación a  $-23$  °C y voltaje/ciclaje a 115V/ 60 Hz; y (c) compresor con sus tres niveles (Tipo I, Tipo II y Tipo III), Voltaje/ciclaje con sus tres niveles (93/60, 115/60 y 127/60) y condiciones con sus dos niveles (con y sin subenfriamiento), para estos diseños se controló la temperatura de evaporación a  $-23$  °C, y temperatura ambiente a 35 y 38 °C.

El método de ensayo se realizó sobre el mismo banco de experimentos (calorímetro a fluido secundario) y utilizando la misma válvula y condensador, cuyo esquema se presenta de forma general en la figura 1 (a), en la que los círculos indican posiciones del equipo donde se realizan mediciones directas de los parámetros termodinámicos de presión y temperatura. 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 termo aislado y resistente a la presión. El calorímetro adecuadamente aislado garantiza que las pérdidas térmicas no sobrepasen el 5 % de la potencia del compresor (ISO, 917). Los puntos f1, f2, g1 y g2 indicados en esta figura, se corresponden con los estados termodinámicos del refrigerante que se muestran en el diagrama teórico entálpico de la figura 1 (b).



**Fig. 1.** (a) Esquema general del equipo experimental calorímetro, (b) Diagrama teórico entálpico. Fuente: basado en [20]

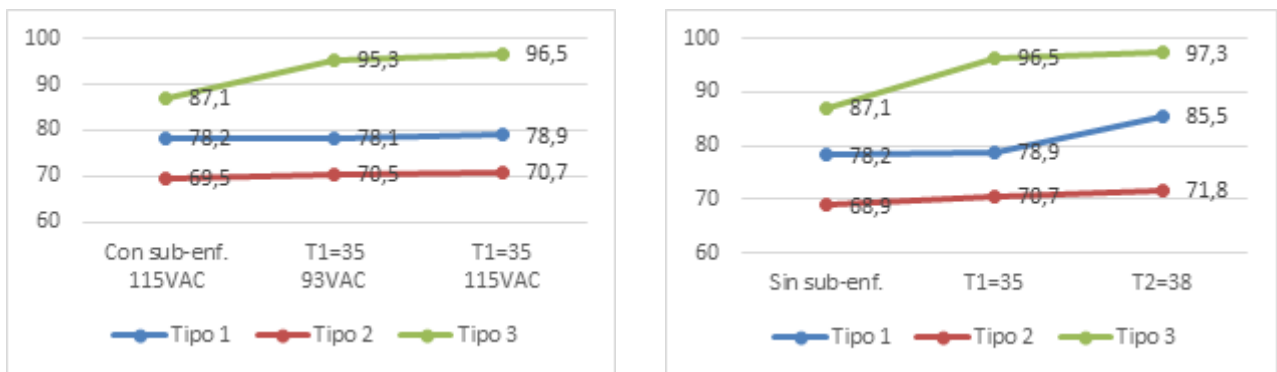
En la figura 1b, desde el estado g2 (salida del evaporador) hasta el estado g1 (entrada al compresor), se da un recalentamiento de vapor, con variación en la lectura de temperaturas. Los símbolos representan: hf1, entalpía másica del líquido refrigerante a la temperatura de saturación prescrita, correspondiente a la presión de descarga del compresor especificada en las condiciones de referencia prescritas para los ensayos; hf2, entalpía másica del líquido refrigerante a la entrada de la válvula de expansión; hg1, entalpía másica del fluido refrigerante a la entrada del compresor en las condiciones de referencia prescritas para los ensayos; hg2, entalpía másica del fluido refrigerante vaporizado a la salida del calorímetro. Con esta prueba se obtienen los parámetros que caracterizan los compresores herméticos con un grado de precisión suficiente, que permite decidir su aplicación y es una de las vías más eficaces para el perfeccionamiento. Ello significa, obtener información sobre las variaciones de la temperatura de la descarga y carcasa que imponen las condiciones reales de funcionamiento.

### 3. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados del comportamiento de la temperatura de la descarga y posteriormente los de la temperatura de la carcasa.

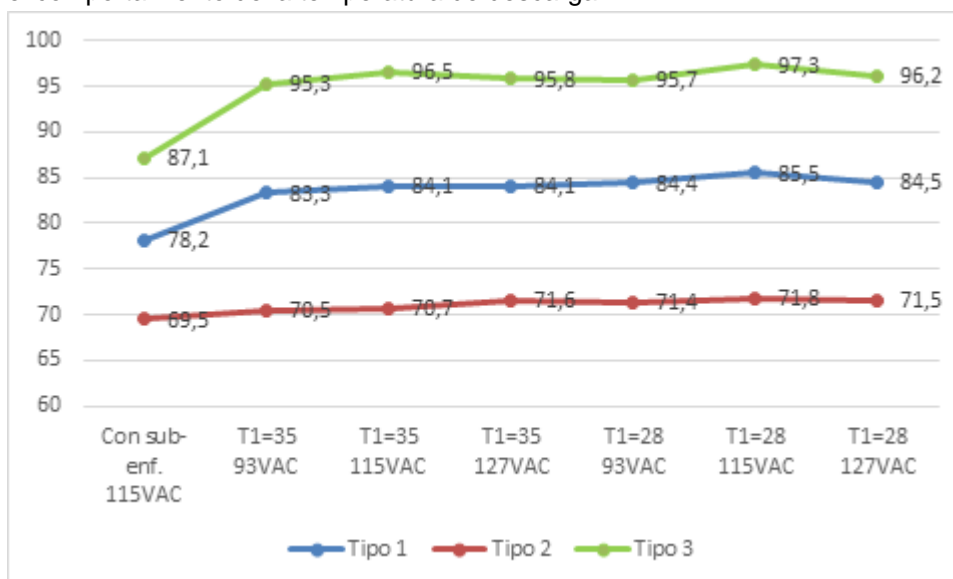
#### 3.1. Resultado del comportamiento de la temperatura de la descarga

Como se puede apreciar en la figura 2, los incrementos de temperatura ambiente traen consigo un aumento de la temperatura de descarga y se muestran diferencias significativas en los tres tipos de compresores herméticos.

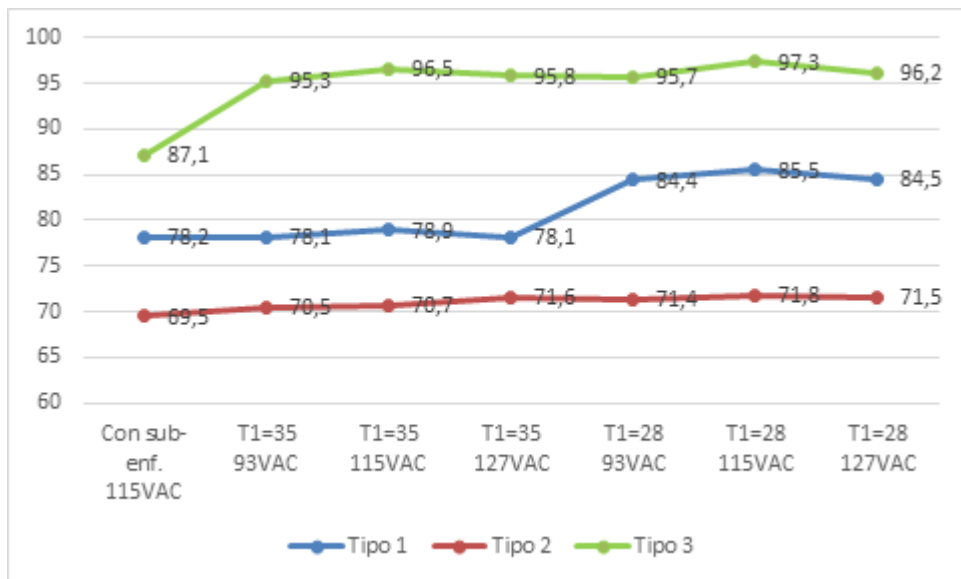


**Fig. 2.** Temperatura (°C) de descarga con subenfriamiento y sin subenfriamiento a 35 y 38 °C, 115 V / 60Hz. Fuente: autores

El valor máximo permisible recomendado y reportados en los informativos técnicos de los fabricantes y en la literatura de la temperatura de descarga es de 90 °C. De las pruebas, resulta que el mejor comportamiento lo posee el compresor Tipo II que mantiene una temperatura de descarga para todas las condiciones de evaluación entre 68,9 y 71,8 °C. Sin embargo, el compresor Tipo II alcanza un valor de 85,5 °C. Es decir, a solo 4,5 °C de la temperatura permisible, mientras que el compresor Tipo III tiene 7,3 °C por encima de dicha temperatura. Las variaciones de voltaje se muestran en las figuras 3 y 4 dentro del rango que se evalúa, no provocan variaciones apreciables en el comportamiento de la temperatura de descarga.



**Fig. 3.** Temperatura (°C) de descarga con subenfriamiento a 93, 115 y 127 V. Fuente: autores



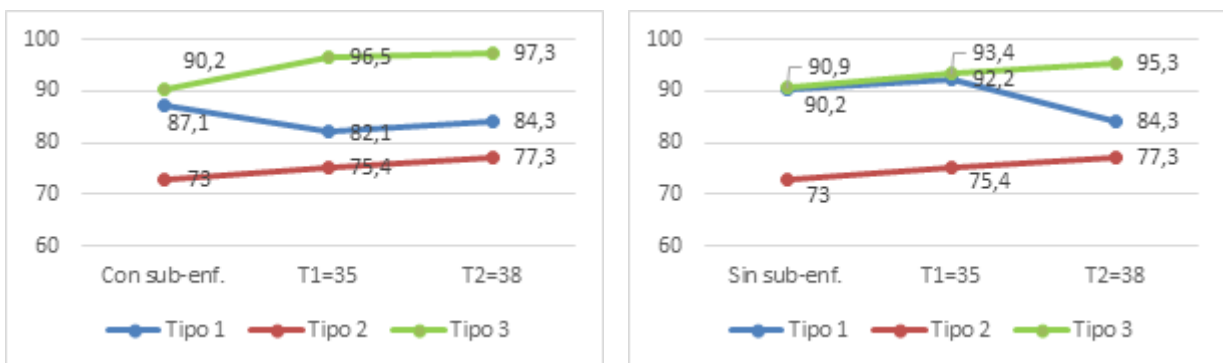
**Fig. 4.** Temperatura (°C) de descarga sin subenfriamiento a 93, 115 y 127 V. Fuente: autores

Las consecuencias que trae consigo un incremento de la temperatura de descarga superior a la permisible, es la aproximación o no, de la compresión a un proceso isotrópico y el incremento de la temperatura de condensación, que provoca la reducción sensible en la eficiencia del compresor hermético. El comportamiento, y en este caso, el incremento de la temperatura de descarga, trae aparejado variaciones que pueden llegar a ser apreciables en la temperatura del bobinado del compresor. Los resultados de este parámetro están en correspondencia con dicho análisis y serán evaluados con posterioridad.

Del diseño del experimento se obtiene que en la temperatura de descarga del compresor para 115 V/60 Hz, en el diseño del experimento con dos factores, después de la prueba de vida incide el factor compresor, al igual que en el diseño con tres factores. Para una temperatura ambiente de 35 °C en el diseño con dos factores, incide el factor compresor, al igual que en el diseño con tres factores. Como resultado de los diseños se aprecia que la temperatura de descarga del compresor se comporta igual en ambas condiciones y en las propuestas, excepto para 35 °C en el compresor Tipo I, donde el mejor comportamiento es en la condición a 35 °C en el compresor Tipo II. La temperatura de descarga del compresor es bastante similar en ambas condiciones, excepto en el compresor Tipo I para un voltaje de 93 y 115 V, y en ambas condiciones es mejor el compresor Tipo II para un voltaje de 93 V.

### 3.2. Resultado del comportamiento de la temperatura de la carcasa

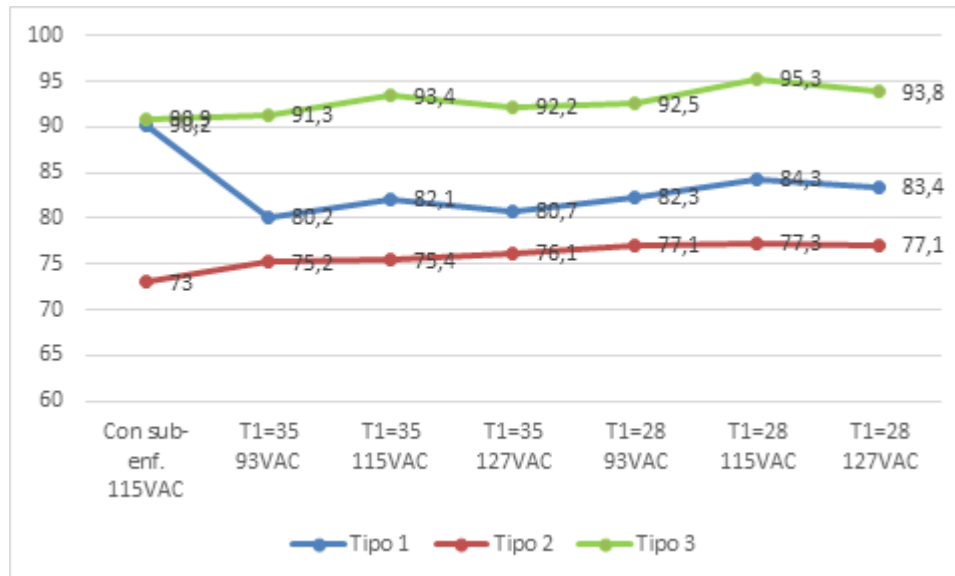
Como se puede apreciar en la figura 5, existen diferencias significativas entre los tres tipos de compresores en cuanto al valor obtenido de temperatura de la carcasa para las condiciones 35 y 38 °C. Los compresores Tipo II y Tipo III, aumentan su temperatura con respecto a las de referencia. De este modo, el compresor tipo II alcanza un valor máximo de 77,3 °C, superior en 4 °C al de referencia. Mientras que el compresor Tipo III, aumenta su temperatura de 90,9 °C a 95,3 °C. No obstante, el compresor Tipo I para las condiciones de 35 y 38 °C con subenfriamiento, tiene menor temperatura en la carcasa, que para la de referencia (32 °C). Aunque para la condición 35 °C sin subenfriamiento, aumenta ligeramente su temperatura y disminuye para la condición a 38 °C.



**Fig. 5.** Temperatura (°C) de la carcasa con y sin subenfriamiento, a 32, 35 y 38 °C, a 115 V / 60Hz. Fuente: autores

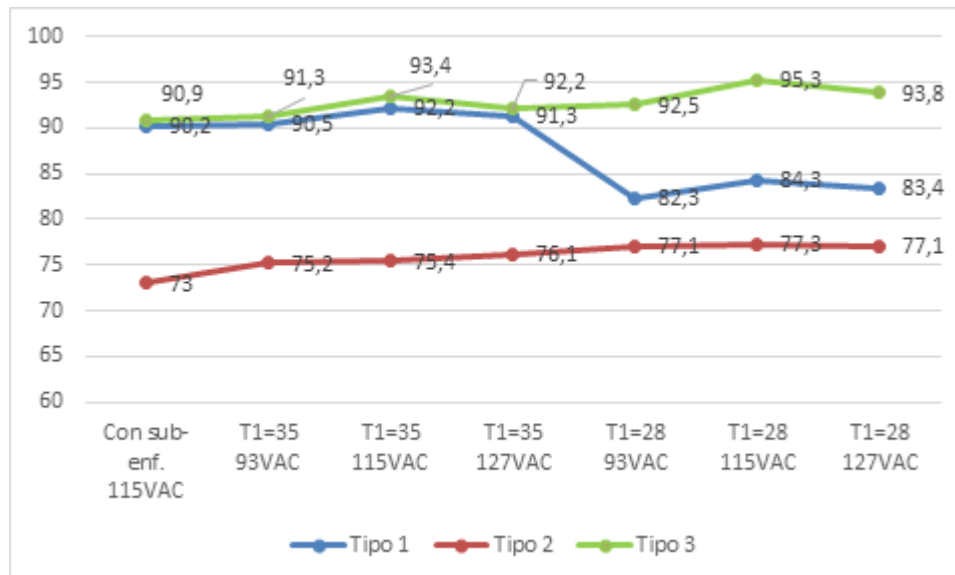
Debe señalarse que en los resultados obtenidos influye fundamentalmente la cantidad de calor, debido la variación de la intensidad de la corriente, las pérdidas en forma de calor producto de la fricción entre los elementos mecánicos en movimiento (calidad en la lubricación), y la temperatura del medioambiente. Para un análisis profundo de este parámetro, queda explícito que sería necesario contar con la información necesaria

acerca de las características constructivas, eléctricas y mecánicas. Es decir, no se cuenta con los tipos y clases de alambre, ni con las cuestiones relacionadas con los elementos tribológicos del compresor hermético. Ellos pueden diferir básicamente en lo referente al aspecto metalográfico de los materiales empleados en su construcción, al diseño del sistema de lubricación y al tipo de lubricante. Todos estos elementos, hacen que el aporte de calor que se transfiere al medio desde la carcasa sea diferente entre los tres tipos de compresores. En las figuras 6 y 7 se muestran los resultados a diferentes voltajes.



**Fig. 6.** Temperatura (°C) de la carcasa con subenfriamiento a 93, 115 y 127 V. Fuente: autores

Del análisis del experimento se obtiene que para 115 V en el desafío, con dos factores en ambas condiciones para una significación del 10 % en ASHRAE, incide el factor compresor y el factor prueba. En ambas condiciones el compresor con menor temperatura en la carcasa, es el Tipo II. Antes y después de la prueba de marcha acelerada, la temperatura en la carcasa se mantiene similar en los compresores Tipo I y Tipo II, pero para el Tipo III es inferior, después de la prueba de marcha acelerada y mayor que en los otros antes de la prueba, tanto en la condición ASHRAE como la CECOMAF.



**Fig. 7.** Temperatura (°C) de la carcasa sin subenfriamiento a 93, 115, 127 V. Fuente: autores

Para una temperatura de 35 °C, el factor compresor incide en la temperatura de la carcasa, pero solamente en la condición con subenfriamiento. En el diseño con tres factores sucede lo mismo igual al factor condiciones. El compresor Tipo II presenta menor temperatura de la carcasa en el diseño con dos y tres factores. En el primero se comporta menor para voltaje/ciclaje de 93/60 y 127/60, en todos los compresores en ambas condiciones; mientras que el segundo, al igual que en el diseño con tres factores, pero solamente con subenfriamiento. Para una temperatura ambiente de 38 °C en el diseño con dos factores, incide el factor compresor en ambas condiciones, al igual que en el diseño con tres factores. También incide el factor voltaje/ciclaje, pero a un 10 % de significación. En ambos diseños el compresor Tipo II presenta menor temperatura en la carcasa. En el diseño

con dos factores se comporta algo menor para un voltaje/ciclaje de 93 y 127 en ambas condiciones y en el diseño con tres factores para 93 V.

## Conclusiones

Los resultados experimentales muestran que los incrementos de temperatura ambiente traen consigo un aumento de la temperatura de descarga y carcasa, y con ello diferencias significativas en los tres tipos de compresores. Se demostró que las variaciones del voltaje dentro del rango evaluado no provocan variaciones apreciables.

Los parámetros evaluados aportan información sobre cómo funcionan los compresores herméticos en diferentes condiciones ambientales y resultan de interés, pues permiten realizar valoraciones razonables de qué cambios, desde el punto de vista mecánico, eléctrico y de estructura, deben realizarse en el compresor hermético para que pueda funcionar de manera óptima.

El análisis de los resultados de la prueba calorimétrica en su conjunto permitió inferir que en los compresores herméticos objetos de estudio, para las temperaturas de 35 y 38 °C, existe una pérdida importante de energía en forma de calor que habría que comparar con la disipación térmica (convección y radiación) que puede disipar el compresor hacia su entorno. Las elevadas temperaturas ambientales que se registran en países de clima tropical en la mayoría de los meses del año, unido a la tendencia actual de continuar incrementándose, conduce a que los compresores herméticos funcionarán con un incremento de la temperatura de descarga y carcasa por encima de los valores de referencia, comprometiendo de esta manera, el rendimiento y la vida útil del compresor.

## Agradecimientos

Los autores agracen a la Universidad Antonio Nariño de Colombia, al Centro de Estudios CAD/CAM de la Universidad de Holguín en Cuba, y al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica de Catalunya en Barcelona, España, por el apoyo brindado en esta investigación.

## Referencias

- Negrão COR, Hermes CJL. Energy and cost savings in household refrigerating appliances: a simulation-based design approach. *Apply Energy*. 2011;88:3051–3060. DOI 10.1016/j.apenergy.2011.03.013
- Harrington L., Aye L, Fuller B. Impact of room temperature on energy consumption of household refrigerators: Lessons from analysis of field and laboratory data. *Applied Energy*. 2018;211:346-357. DOI 10.1016/j.apenergy.2017.11.060
- Rahman S, Sidik NM, Hassan MHJ, Rom TM, Jauhari I. Temperature performance and usage conditions of domestic refrigerator-freezers in Malaysia. *HKIE Transactions*. 2005;12(2):30-35, DOI 10.1080/1023697X.2005.10668000
- Anjana HMK, Nimarshana PHV, Attalage RA. Steady state performance variation of domestic refrigerators under different ambient conditions of Sri Lanka. In: Moratuwa Engineering Research Conference (MERCCon); Sri Lanka: *IEE Xplore*; 2015. DOI 10.1109/MERCCon.2015.7112341. (7-8.04.2015) [Citado: 10 de enero de 2022] Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7112341>
- James C., Onarinde BA, James SJ. The use and performance of household refrigerators: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2017;16(1):160-179. DOI 10.1111/1541-4337.12242
- Arencibia AK. Evaluación experimental de compresores herméticos en condiciones de clima tropical. Eficiencia y capacidad frigorífica. *Información Tecnológica*. 2014;25(2):103-110. DOI 10.4067/S0718-07642014000200012
- Myszka D, Guan C, Murray A, Hodapp T. A semi-empirical prediction model for the discharge line temperature of hermetic compressors. In: 22<sup>nd</sup> International Compressor Engineering Conference; Purdue: e-Pubs; 2014. (14-17.07.2014). [Citado: 10 de enero de 2022] Disponible en: <https://docs.lib.purdue.edu/iccec/2290>
- Henríquez LA, Arencibia-Ávila K, González-Segura F. Interpoladores de Lagrange y la evaluación del motocompresor hermético. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*. 2015;38(2):178-182.
- Huang L, Tao L, Wang C. Theoretical and experimental research on using quasi saturation isentropic compression discharge temperature to control refrigerant mass flow rate. *Heat Mass Transfer*. 2019;55:489–500. DOI 10.1007/s00231-018-2437-9
- Wang X, Hwang Y, Radermacher R. Investigation of potential benefits of compressor cooling. *Applied Thermal Engineering*. 2008;28(14–15):1791-1797. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2007.11.010
- Wenhua L. Simplified steady-state modeling for hermetic compressors with focus on extrapolation. *International Journal of Refrigeration*. 2012;35(6):1722-1733. DOI 10.1016/j.ijrefrig.2012.03.008
- Torchio MF, Anglesio P. Refrigerant charge and ambient temperature effects on the refrigeration cycle of a small capacity food freezer. In: *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. West Lafayette, Indiana, USA: Purdue University; 2004. [Citado: 10 de enero de 2022] Disponible en: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/697>
- Fry ED, The advantages of a high pressure housing in a hermetic compressor. In *International Compressor Engineering Conference* Purdue: West Lafayette, Indiana, USA: Purdue University; 1992. [Citado: 10 de enero de 2022] Disponible en: <https://docs.lib.purdue.edu/iccec/855>
- Bassiouny R. Evaluating the effect of the space surrounding the condenser of a household refrigerator. *International Journal of Refrigeration*. 2009;32(7):1645-1656. DOI 10.1016/j.ijrefrig.2009.03.011.
- Masjuki H, Saidur R, Choudhury IA. The applicability of ISO household refrigerator-freezer energy test specifications in Malaysia. *Energy*. 2001;26(7):723-737. DOI 10.1016/S0360-5442(01)00028-7
- Rahman S, Mohd-Sidik N, Hassan MHJ. Temperature performance and usage conditions of domestic refrigerator-freezers in Malaysia. *HKIE Transactions*. 2005;12(2):30-35. DOI 10.1080/1023697X.2005.10668000
- Greenblatt J, Hopkins A, Letschert V. Energy use of US residential refrigerators and freezers: function derivation based on household and climate characteristics. *Energy Efficiency*. 2013;6:135–162. DOI 10.1007/s12053-012-9158-6
- Geppert J, Stamminger R. Analysis of effecting factors on domestic refrigerators' energy consumption in use. *Energy*



- Conversion and Management. 2013;76:794-800. DOI 10.1016/j.enconman.2013.08.027
19. Gomes Almeida IM, Formiga Barbosa CR, Oliveira-Fontes FA. Methods of wear tests for hermetic reciprocating compressors: an overview. HOLOS. 2016;4:86-104. DOI 10.15628/holos.2016.2078
20. Arencibia K, Tricio V. Evaluación experimental de compresores herméticos en condiciones de clima tropical. Eficiencia y capacidad frigorífica. Información Tecnológica. 2014;2(2):103-110. DOI 10.4067/S0718-07642014000200012

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

### Contribución de los autores

**Karel Arencibia Ávila.** <https://orcid.org/0000-0001-8150-9105>

Participó en la conceptualización de la investigación, curación de datos, investigación, metodología, revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final..

**Francisco Fernández Periche.** <https://orcid.org/0000-0001-7547-716X>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, curación de datos, , revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final..

**Roberto Pérez Rodríguez.** <https://orcid.org/0000-0001-5741-5168>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, curación de datos, revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

**Enrique Ernesto Zayas Figueras.** <https://orcid.org/0000-0002-8241-130X>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, supervisión, curación de datos, revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final..