

# Evaluación Experimental del Desempeño Energético de un Congelador Comercial usando R1234yf a Diferentes Niveles de Carga Térmica

Experimental Energy Performance Evaluation in a Commercial Freezer using R1234yf at Different Thermal Load Levels

Avaliação Experimental do Desempenho Energético de um Freezer Comercial usando R1234yf em Diferentes Níveis de Carga Térmica

52

Vicente Pérez García<sup>a</sup>  
Darío Méndez Méndez<sup>a</sup>  
Óscar Adrián Guzmán Guerrero<sup>a</sup>

<sup>a</sup> División de ingenierías Campus Irapuato Salamanca  
Universidad de Guanajuato, INASE Research Group  
v.perez@ugto.mx

**Resumen**— El uso de refrigerantes bajo GWP se ha extendido cada vez más a nivel mundial debido a las nuevas políticas ambientales que han surgido en la última década. En este contexto, los refrigerantes comerciales que están desplazando al actual R134a, son aquellos que presentan bajo potencial de calentamiento global (GWP) en comparación con el mencionado anteriormente. En este trabajo se presenta el estudio experimental del desempeño energético de un congelador comercial utilizando el refrigerante R1234yf como sustituto al R134a a tres condiciones de carga térmica: sin carga, media carga y carga completa. Los resultados muestran que, con el uso del R1234yf, la temperatura en el interior del congelador es 2.3% más fría que con el R134a, mientras que el tiempo de estabilización térmica de alcanzado con el R134a es menor al alcanzado por el R1234yf en un 11.1%, 11.7% y 4.4% para cada nivel de carga térmica, respectivamente.

**Palabras clave**— Cambio Climático, Carga Térmica, COP, Estabilización Térmica, R1234yf, R134a.

**Abstract**— The use of low GWP refrigerants has been extended around of world due to new environmental policies in the last decade. In this sense, commercial refrigerants that are replacing R134a have a principal characteristic of a low global warming potential (GWP). This paper presents an experimental study of energy performance on a commercial freezer using R1234yf as a replacement to R134a considering three thermal load conditions: without thermal load, medium load thermal load, and full thermal load. Results showed that the use of R1234yf promotes a reduction in the internal temperature on the freezer which is 2.3% lowest cold R134a, while the steady thermal time gets with R134a is lower than R1234yf in 11.1%, 11.7%, and 4.4% respectively for each thermal load level.

**Keywords**— Climate Change, Thermal Load, COP, Thermal Steady, R1234yf, R134a.

**Resumo** — A utilização de refrigerantes de baixa GWP tornou-se cada vez mais generalizada em todo o mundo devido às novas políticas ambientais que surgiram na última década. Neste contexto, os refrigerantes comerciais que estão a deslocar o actual R134a, são os que têm um baixo potencial de aquecimento global (GWP) em comparação com os acima mencionados. Este artigo apresenta o estudo experimental do desempenho energético de um congelador comercial utilizando o refrigerante R1234yf como substituto do R134a em três condições de carga térmica: sem carga, meia carga e carga completa. Os resultados mostram que, com a utilização de R1234yf, a temperatura dentro do congelador é 2,3% mais fria do que com R134a, enquanto o tempo de estabilização térmica alcançado com R134a é inferior ao alcançado com R1234yf em 11,1%, 11,7% e 4,4% para cada nível de carga térmica, respectivamente.

**Palavras chave**— Mudança climática, Carga térmica, COP, Estabilização Térmica, R1234yf, R134a.

## I. INTRODUCCION

Uno de los problemas ambientales que el mundo enfrenta en la actualidad es el Cambio Climático. Este problema se presenta por diversos factores, siendo uno de ellos, el uso de sustancias con alto potencial de calentamiento global conocidas también como gases de efecto invernadero (GEI).

El sector de refrigeración es uno de los más importantes en el mundo, ya que gracias a él es posible la conservación de alimentos y algunas vacunas, además de que se pueden conseguir condiciones de confort tanto en hoteles, restaurantes, casas habitación, automóviles, entre otros. Sin embargo, el mismo sector es el responsable de emitir el 7.8% de las emisiones mundiales de GEI [1] ya que, entre otras cosas, utiliza fluidos que presentan altos valores de potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés).

Las sustancias que generan el enfriamiento en los sistemas de refrigeración son los refrigerantes, de éstos, los hidrofluorocarbonos (HFCs), son uno de los grupos dominantes en el sector de la refrigeración, en particular, el R134a es uno de los más utilizados en refrigeración doméstica y comercial, pero tiene el inconveniente de poseer un alto GWP, por lo cual es considerado como uno de los refrigerantes regulados [2]. En este tenor, el sector de la refrigeración se encuentra actualmente en transición hacia el uso de refrigerantes inocuos al medio ambiente [3].

El R1234yf es una sustancia utilizada ya como sustituto al R134a en aplicaciones de climatización automotriz [9-11] y sus aplicaciones están incursionando tanto en refrigeración doméstica como en comercial [12,13]. Las propiedades que exhibe este refrigerante son muy similares a las que presenta el R134a tal y como se puede ver en la Tabla 1.

**Tabla 1** – Propiedades de los refrigerantes R134a y R1234yf

Propiedad	R134a	R1234yf
Nombre químico	1,1,1,2-tetrafluoreetano	2,3,3,3-tetrafluoropropano
Fórmula química	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>
Clasificación de seguridad ANSI /ASHRAE	A1	A2L
ODP	0	0
GWP	1300	4
Temperatura crítica, °C	102	95
Presión crítica, bar	40.1	33.8
Punto de ebullición normal, °C	-26.3	-29.4
Calor latente*, kJ/kg	190.7	156.6
Densidad de líquido*, kg/m <sup>3</sup>	1261	1144
Densidad de vapor*, kg/m <sup>3</sup>	20.2	24.3
Conductividad térmica de líquido*, mW/m-K	87.6	68.2
Conductividad térmica de vapor*, mW/m-K	12.4	12.5
Viscosidad de líquido*, μPa/s	235	182
Viscosidad de vapor*, μPa/s	11.1	10.7

Siendo el R1234yf como una alternativa de sustitución al R134a, los trabajos de investigación a este fluido son diversos. En el trabajo experimental realizado por J. Navarro-Esbrí [14], se menciona que el R1234yf alcanza valores en la capacidad de refrigeración 9% menores a las que se obtienen con el R134a, además de que el COP para el R1234yf está por debajo del

que se obtiene con el R134a, sin embargo, esta diferencia se reduce cuando las temperaturas de condensación varían entre 313K y 333K. Samuel F.[15] realizaron un estudio sobre un sistema de refrigeración que utiliza R1234yf y R1234ze(E) como sustitutos al R134a en donde reportaron que el R1234yf muestra un desempeño comparable al alcanzado con R134a en máquinas expendedoras de bebidas ya que en su análisis encontraron que se presentan las mejores eficiencias en sistemas de refrigeración donde la carga de refrigerante es pequeña. Zvoimir [16] realizó un modelo matemático para el análisis termodinámico y de transferencia de calor para el R1234yf y el R1234ze(E) como reemplazos al R134a en sistemas de refrigeración, dicho modelo fue validado experimentalmente obteniendo como resultado que el R1234yf alcanza un COP inferior al R134a entre un 7-10%, aún así, el R1234yf resulta ser un adecuado sustituto al R134a en sistemas de refrigeración debido a que entre sus bondades se encuentra su bajo GWP y su compatibilidad con el aceite que emplean los sistemas de refrigeración con R134a. Belman-Flores [17] reportaron que, para un análisis experimental con R1234yf como sustituto al R134a en un refrigerador comercial, la carga óptima de refrigerante se redujo en un 7.8%, lo que representa un incremento en el consumo de energía de un 4%, sin embargo, el R1234yf es ambientalmente la mejor opción debido a que por un análisis TEWI, el R1234yf presentó un incremento del 1.07% en relación al R134a.

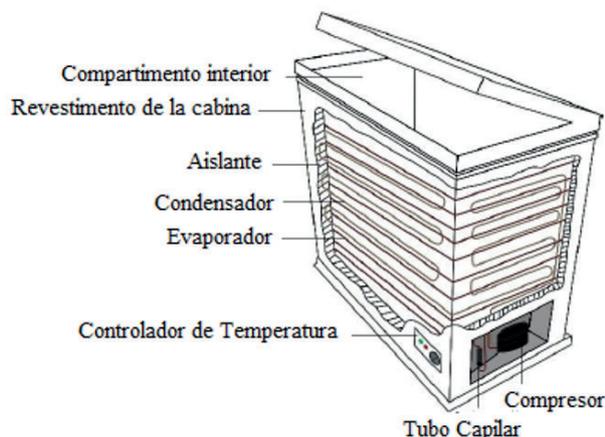
Ante el panorama actual donde se requieren investigaciones sobre sustancias que reemplacen al actual R134a, en este trabajo se evalúa el desempeño energético de un congelador comercial que emplea R134a contra el obtenido por el R1234yf considerando tres niveles diferentes de carga térmica:

- (1) Sin Carga térmica,
- (2) Media Carga térmica
- (3) Carga Térmica

La evaluación se realiza de manera experimental tomando los promedios de tres pruebas realizadas en cada nivel de carga térmica. En los siguientes apartados se describe el procedimiento realizado para las pruebas y las variables e infraestructura utilizada para llevar a cabo los procedimientos experimentales.

## II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

El sistema es un congelador horizontal comercial de 0.2m<sup>3</sup> (7ft<sup>3</sup>) el cual se muestra en la Fig. 1. Una de las características principales del sistema es que cuenta con un control de temperatura para el interior de la cabina. La temperatura puede ser controlada en 9 niveles, siendo el nivel 9 aquel donde el compresor nunca se detiene y opera durante todo el tiempo que esté energizado el sistema.



**Fig.1.** Congelador horizontal

Fuente: Autores

El sistema tiene las características mostradas en la Tabla 2 y opera mediante un ciclo de refrigeración básico.

**Tabla 2.** Características eléctricas nominales del congelador horizontal.

Característica	Valor nominal
Tensión de alimentación	127 V
Consumo de potencia	77 W
Consumo de corriente	1.1 A
Frecuencia	60 Hz
Refrigerante/Cantidad de masa	R134a/120 g

Fuente: autores

Para el desarrollo del trabajo, se ha caracterizado el desempeño del sistema para cada uno de los niveles de temperatura alcanzados en el interior de la cabina. Los valores experimentales de temperatura son los que se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Niveles de temperatura experimentales

Nivel	Temperatura (°C)
1	7.5
2	6.0
3	3.0
4	-17.5
5	-23.0
6	-26.0
7	-28.0
8	-30.0
9	-35.0

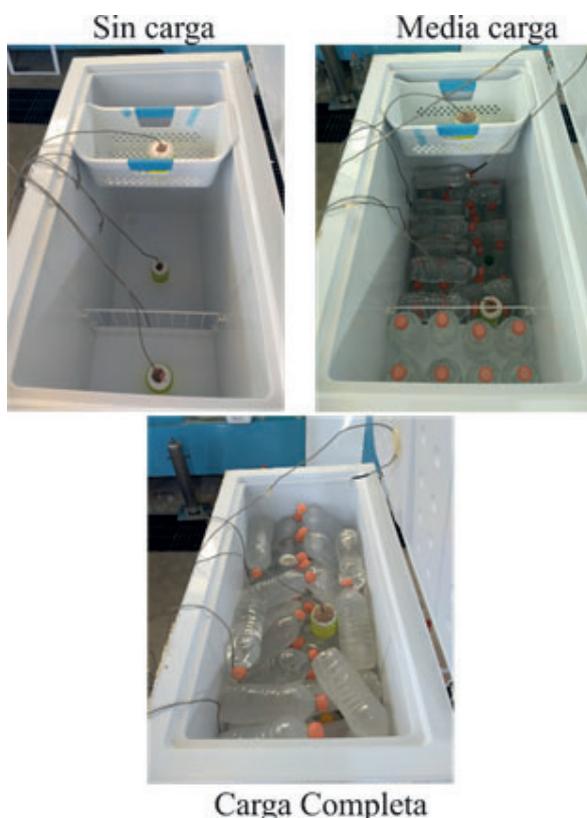
Fuente: Autores

El sistema está dotado de sensores de presión y temperatura en las entradas y salidas de cada componente (evaporador, condensador, compresor y tubo capilar), de manera que los estados termodinámicos en cada elemento del sistema pueden ser determinados experimentalmente. En lo que respecta al sistema de adquisición se utilizó una interfaz en Labview® y un set de tarjetas de adquisición de datos, además de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica desarrollado en un trabajo previo [18].

El refrigerante base con el que trabaja de manera convencional es el R134a y la masa que trae de fábrica es de 120 gramos, tal y como se observa en la Tabla 2. Sin embargo, en el presente trabajo se utilizó R1234yf como refrigerante alternativo al R134a. Para determinar la carga óptima del refrigerante sustituto al R134a se realizó un procedimiento experimental debido a que el R1234yf posee características

diferentes al R134a tal y como se puede observar en la Tabla 1. El procedimiento para la carga óptima del R1234yf se reportó en [19] siendo el valor de masa de refrigerante R1234yf de 110 gramos.

A partir de la carga óptima de refrigerante del sistema, se realizaron pruebas experimentales para tres niveles de carga térmica: sin carga térmica, con media carga térmica y con carga completa llena. La carga térmica se estableció con botellas de agua las cuales fueron colocadas en la cabina del sistema. Los niveles de carga térmica fueron considerando a partir de un llenado de la cabina, siendo 100 botellas las que se lograron acomodar en el nivel de carga completa. La Fig. 2 muestra los niveles mencionados.

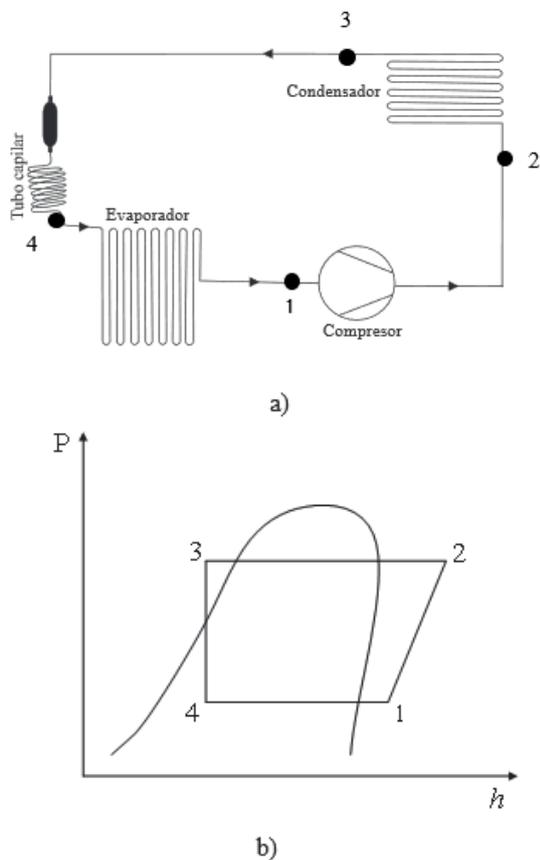


**Fig. 2.** Niveles de carga térmica en el sistema  
Fuente: autores

Una vez realizada la carga térmica en cada nivel, se realizaron tres pruebas por cada nivel para determinar el promedio de los datos obtenidos y reportarlo como el valor experimental. Las pruebas se llevaron a cabo en un espacio cerrado donde la variación de la temperatura ambiente fue de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### III. MODELO EXPERIMENTAL

El ciclo de refrigeración con el cual trabaja el sistema se muestra en la Fig. 3a y su correspondiente diagrama ph en la Fig. 3b. En el estado termodinámico (1) vapor sobrecalentado entra al compresor proveniente del evaporador; aquí, el refrigerante se comprime y eleva su temperatura y presión hasta llegar al estado (2). Posteriormente, el fluido ingresa al condensador y sale de éste como líquido subenfriado con una variación mínima en la presión. Finalmente, el refrigerante sale del condensador (3), para ingresar al tubo capilar donde experimentará una caída de presión y temperatura para ingresar como mezcla líquido-vapor al evaporador (4) en donde se llevará a cabo la extracción de calor y se producirá el frío en el interior del congelador. Una vez que sale del evaporador el ciclo se repite.

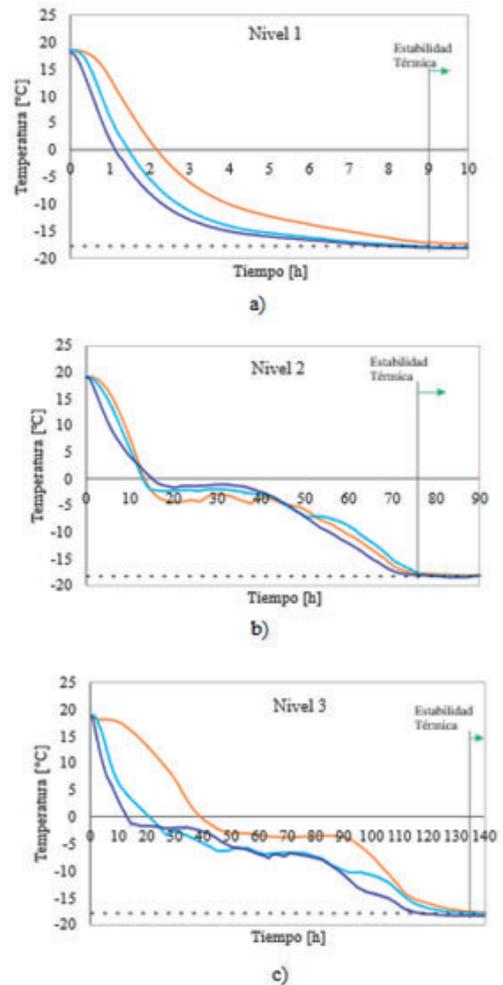


**Fig. 3.** Diagrama del ciclo de refrigeración, a) esquema b) diagrama ph del ciclo de refrigeración.

Fuente: Autores

El procedimiento realizado para la determinación de las temperaturas en el interior fue el siguiente:

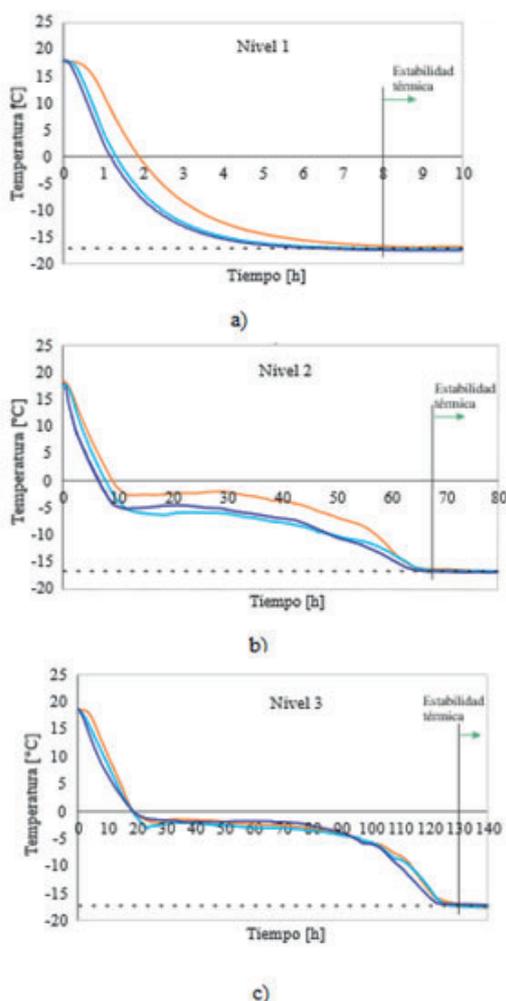
A partir del conocimiento de que el sistema cuenta con 9 niveles de temperatura, se seleccionó el nivel 4 para la realización de las pruebas experimentales, siendo la razón principal porque el enfoque del trabajo es para refrigeración de media temperatura y este nivel cumple perfectamente con las condiciones ya que la temperatura de evaporación alcanzada es de  $-20^{\circ}\text{C}$ .



**Fig. 4.** Evolución de la temperatura en el interior hasta alcanzar la estabilidad térmica para el R1234yf. a) Nivel sin carga térmica, b) nivel con media carga térmica, c) nivel con carga térmica completa.

Fuente: Autores

Por otro lado, el mismo procedimiento se llevó a cabo para el R134a. La Fig. 5 muestra de igual manera, la variación de la temperatura en el interior del sistema hasta que se alcanzó la estabilidad térmica.



**Fig. 5.** Evolución de la temperatura en el interior del sistema de refrigeración hasta que se alcanza la estabilidad térmica. a) Nivel sin carga térmica, b) nivel con media carga térmica, c) nivel con carga térmica completa.

Fuente: Autores

En ambos casos, se consideró una estabilidad térmica una vez que el comportamiento de la temperatura en el interior del sistema no tuvo variación significativa.

Las propiedades termodinámicas de los refrigerantes fueron obtenidas mediante el software comercial REFPROP 10.00® para cada refrigerante. Las ecuaciones utilizadas para el modelo del ciclo de refrigeración se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Ecuaciones utilizadas para el ciclo de refrigeración.

Ecuación	Componente
$q_{evap} = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_4)$	Evaporador
$w_{comp} = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1)$	Compresor
$h_3 = h_4$	Tubo capilar
$q_{cond} = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_3)$	Condensador

Fuente: Autores

El coeficiente de desempeño (COP), se determina mediante

$$COP = \frac{q_{evap}}{W_{comp}} \tag{1}$$

Las variables que conforman el COP son la capacidad de refrigeración,  $q_{evap}$  y el consumo de energía eléctrica en el compresor  $w_{comp}$ . Estas variables están en función de las entalpías a la entrada y a la salida tanto del evaporador como del compresor y del flujo másico,  $\dot{m}_{ref}$  trasegado sobre el sistema. Las unidades de la capacidad de refrigeración y consumo de energía específicas están dadas en kJ/kg, mientras que, si se multiplican por el flujo másico, las unidades estarán en kW.

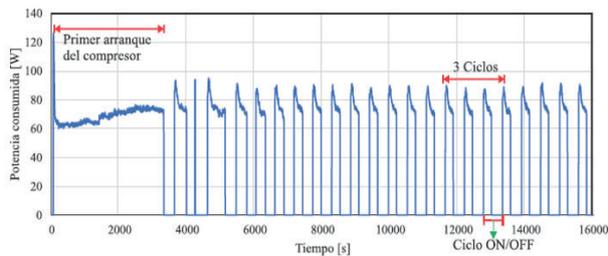
La potencia eléctrica (o potencia activa) en Watts, consumida por el compresor en tiempo real se determina por la ecuación (2):

$$w_{comp} = (V_{Vrms})(50)(V_{Irms})(0.5)(V_{PF})(0.33) \tag{22}$$

Aquí:

- $V_{Vrms}$  Voltaje RMS
- $V_{Irms}$  Corriente RMS
- $V_{PF}$  Factor de potencia

El valor de la potencia eléctrica se determinó tomando el promedio del valor de esta variable considerando tres ciclos de encendido y apagado. De aquí se promedió este valor y se consideró como el consumo de energía para cada condición de operación. La Fig. 6 muestra el comportamiento eléctrico del compresor desde el arranque y hasta que se ha logrado la estabilidad térmica para el caso en que no se contempla carga térmica en el sistema y para R134a como refrigerante.



**Fig. 6.** Evolución del consumo de energía eléctrica en el sistema para el caso en que no se tiene carga térmica y se utiliza R134a como refrigerante.

Fuente: Autores

Una vez que se ha descrito el procedimiento para la determinación de la influencia de la carga térmica, se obtuvieron los resultados que a continuación se presentan.

#### IV. RESULTADOS OBTENIDOS

A partir del procedimiento mencionado en la sección III, los resultados obtenidos para cada prueba en los diferentes niveles de carga térmica se presentan en la Tabla 5. Aquí se presentan los valores promediados de temperatura entre las tres mediciones obtenidas experimentalmente.

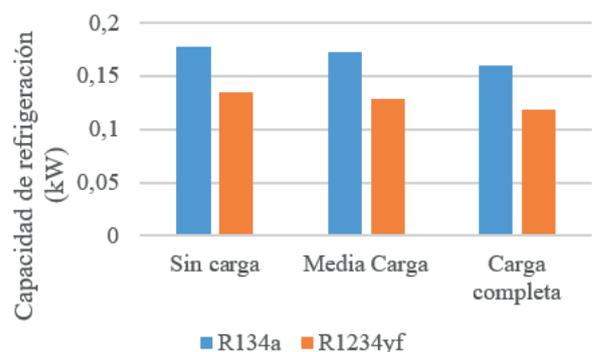
**Tabla 5.** Resultados de operación del sistema.

Condición de carga térmica	Temperatura en el interior (°C)	Tiempo de estabilización (hrs)	Energía eléctrica consumida, kWh
Sin carga térmica	-17.68	9	0.357
Media carga térmica	-17.50	77	6.676
Carga térmica completa	-17.55	136	12.191

Fuente: Autores

En la Fig. 7 se muestra un comparativo entre la capacidad de refrigeración obtenida para el R134a y la obtenida con el R1234yf bajo las mismas condiciones de carga térmica.

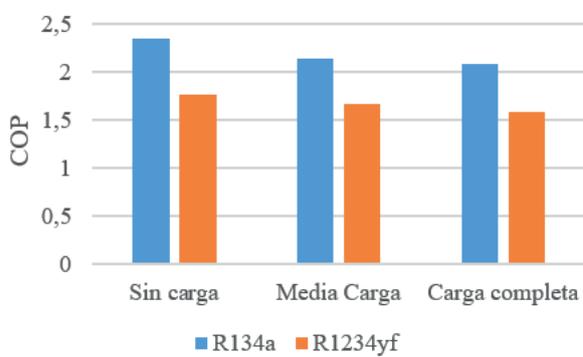
El comportamiento de la capacidad de refrigeración para los tres niveles de carga térmica oscila entre 0.16 y 0.18kW para ambos refrigerantes, siendo el nivel con carga térmica completa el que alcanza una reducción mínima en esta variable. El R1234yf para todos los casos exhibe la menor capacidad de refrigeración.



**Fig. 7.** Comparativa entre la capacidad de refrigeración para el R134a y R1234yf para cada condición de carga térmica.

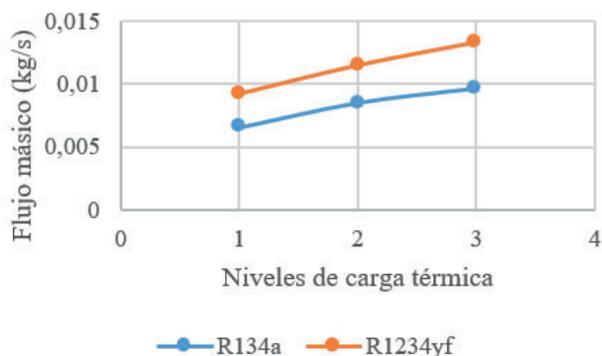
Fuente: Autores

La Fig. 8 muestra el comparativo entre el COP para el refrigerante base y el R1234yf. El COP con mayor valor se alcanza cuando el sistema es probado sin carga térmica y el efecto de ésta se observa a medida que se incrementa la condición desde media carga hasta carga completa. Además, el COP para el R1234yf alcanzado en la condición más crítica (con carga completa) presenta una reducción de hasta un 21%.



**Fig. 8.** Comparativa entre el COP obtenido para cada refrigerante en función de la condición de carga térmica. Fuente: Autores

La Fig. 9 muestra el incremento del flujo másico a medida que se aumenta la condición de carga, siendo el nivel 1 cuando no existe carga térmica, nivel 2 la condición de media carga y el nivel 3 la condición de carga térmica completa.



**Fig. 9.** Comportamiento del flujo másico para cada refrigerante a medida que se varía la carga térmica. Fuente: Autores

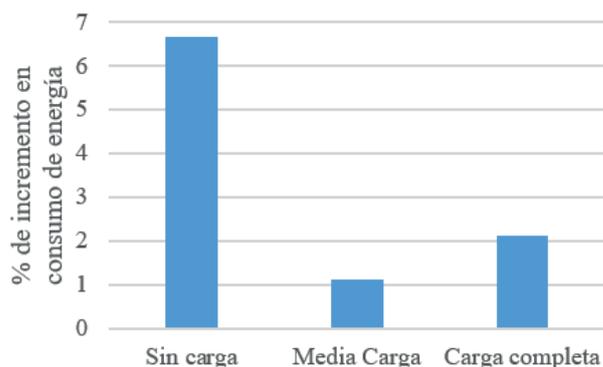
Considerando que el flujo másico se obtiene a partir de datos geométricos del compresor y de la condición del refrigerante en la aspiración se tiene:

$$m_{ref} = \rho_{asp} V_G \frac{N}{60} \quad (3)$$

La variación del flujo másico a medida que se incrementa la carga térmica en el sistema se debe principalmente a la variación de la densidad del refrigerante ya que el volumen geométrico (VG) en el compresor no cambia, ni tampoco lo hace el régimen de operación del compresor (N).

El flujo másico trasegado sobre el sistema es mayor para el R1234yf en las tres condiciones de carga térmica, siendo el mayor flujo másico cuando se opera el sistema con carga térmica completa. Aquí el R134a maneja un flujo másico 28% inferior al que se tiene con el R1234yf.

La Fig. 10 muestra el porcentaje del consumo de energía del R1234yf respecto al consumido por el R134a para cada nivel de carga térmica.



**Fig. 10.** Incremento en el consumo de energía en compresor para el R1234yf respecto al R134a. Fuente: Autores

Puede observarse como en el nivel de carga térmica media se el incremento en el consumo de energía es menor, en comparación con los otros dos niveles. No obstante, en todos los casos, el R1234yf es el que genera un mayor consumo de energía en el compresor.

## V. CONCLUSIONES

En base al estudio realizado, se encontró la influencia de la carga térmica en el sistema y se comparó con dos refrigerantes: el R134a el cual es el refrigerante base y el R1234yf que es la propuesta como alternativa de sustitución al R134a. Del estudio se puede concluir lo siguiente.

La carga térmica es un factor que importa al momento de evaluar el desempeño energético del sistema de refrigeración analizado. De aquí se concluye que, a mayor carga térmica, el consumo de energía se incrementa en el sistema para ambos refrigerantes, siendo el R1234yf el que mayor consumo de energía presenta.

El flujo másico es otra variable que se ve afecta con el incremento en la carga térmica. A medida que se incrementa la carga térmica, el flujo másico lo hace, toda vez que la densidad del refrigerante aumenta en la aspiración del compresor.

La capacidad de refrigeración se ve afectada de igual manera por el incremento en la carga térmica del sistema, siendo el R134a el que alcanza un mayor valor de carga térmica, superando al obtenido con el R1234yf.

El desempeño energético es la variable que en suma a todo lo comentado anteriormente, presenta una afectación debido a la carga térmica. El refrigerante R1234yf logra un COP inferior al del R134a, pero se observó que la temperatura en el interior del congelador se mantuvo más fría que con el R134a a las mismas condiciones de carga térmica.

El tiempo que tardó el sistema en estabilizarse térmicamente para cada nivel de temperatura fue menor para el R1234yf en comparación con el R134a. La reducción fue del 11.4%, 11.7 y 4.4%, para los niveles de sin carga, media carga y carga completa, respectivamente.

## VI. REFERENCIAS

- [1] IIR/IIF, (2017). The impact of the refrigeration sector on climate change. in 35th Note on Refrigeration Technologies, from: <https://iifir.org/en/fridoc/141135>
- [2] A. Sethi, E. Vera Becerra, and S. Yana Mota, (2016). Low GWP R134a replacements for small refrigeration (plug-in) applications. *Int. J. Refrig.*, 66, 64–72.
- [3] A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, Á. Barragán-Cervera, F. Molés, and B. Peris, (2014). Analysis based on EU Regulation No 517/2014 of new HFC/HFO mixtures as alternatives of high GWP refrigerants in refrigeration and HVAC systems., *Int. J. Refrig.*, 52, 21–31.

- [4] U. N. E. P. (UNEP),, "Twenty-Eighth Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer," in Further Amendment of the Montreal Protocol, (2016).
- [5] J. García Pabon, A. Khosravi, J. M. Belman-Flores, L. Machado, and R. Revellin, (2020). Applications of refrigerant R1234yf in heating, air conditioning and refrigeration systems: A decade of researches. *Int. J. Refrig.*, 118, 104–113.
- [6] S. Jarall, (2012). Study of refrigeration system with HFO-1234yf as a working fluid. *Int. J. Refrig.*, vol. 35, 1668–1677.
- [7] J. M. Belman-Flores, V. H. Rangel-Hernández, S. Usón, and C. Rubio-Maya, (2017). Energy and exergy analysis of R1234yf as drop-in replacement for R134a in a domestic refrigeration system. *Energy*, 132, 116–125.
- [8] Z. Li, K. Liang, and H. Jiang, (2019). Experimental study of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in an oil-free refrigeration system. *Appl. Therm. Eng.*, 153, 646–654.
- [9] Claudio Zilio, J. Steven Brown, Giovanni Shiochet, Alberto Cavallini (2011). The refrigerant R1234yf in air conditioning systems. *Energy*, 36, 6110-6120.
- [10] Zhaogang Qi (2015). Performance improvement potentials of R1234yf mobile air conditioning system. *Int. J. Refrig.*, 58, 35-40.
- [11] H. Cho, H. Lee, Chasik Park, (2012). Performance characteristics of a drop-in system for a mobile air conditioner using refrigerant R1234yf. *Korean J. of air conditioning and refrigeration engineering*.24, 823-829.
- [12] Cleison Henrique de Paula, Wilian Moreira Duarte, Thiago Torres Martins Rocha, Raphael Nunes de Oliveira, Antônio Augusto Torres Maia, (2020). Optimal design and environmental energy and exergy analysis of a vapor compression refrigeration system using R290, R1234yf and R744 as alternatives to replace R134a. *Int. J. Refrig.*, 135, 10-20.
- [13] Kyle M. Karber, Omar Abdelaziz, Edward A. Vineyard (2012), Experimental performance of R-1234yf as a drop-in replacement for R-134a in domestic refrigerators, *Int. Refrig. Air Cond. Conference*, paper 1228.
- [14] J. Navarro-Esbrí, J.M. Mendoza-Miranda, A. Mota-Babiloni, A. Barragán-Cervera, J.M. Belman-Flores, (2013), Experimental análisis of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a vapor compression system, *Int. J. Refrig.* 36, 870-880.

- [15] Samuel F. Yana Motta, Elizabeth D. Vera Becerra, Mark W. Spatz, (2010). Analysis of LGWP alternatives for small refrigeration (plugin) applications. Int. Refrig. And Air Cond. Conference, paper 1149.
- [16] Zvonimir Jankovic, Jaime Sieres Atienza, José Antonio Martínez Suárez, (2015). Thermodynamic and heat transfer analyses for R1234yf and R1234ze(E) as drop-in replacements for R134a in a small power refrigeration system, Appl. Therm. Eng. 80, 42-54.
- [17] J.M. Belman-Flores, A.P. Rodríguez-Muñoz, C. Gutiérrez Pérez-Reguera, A. Mota-Babiloni, (2017), Experimental study of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a domestic refrigerator, Int. J. Refrig., 81, 1-11.
- [18] Juan Manuel García Cisneros, (2018). Diseño, construcción e implementación de un sistema de adquisición de datos para un sistema de refrigeración comercial. Tesis de Licenciatura, Universidad de Guanajuato, Salamanca, Guanajuato, México.
- [19] G.A. Toloza-Tabares, V. Pérez-García, D. Méndez-Mendez, J.M. Belman-Flores, M.A. Ferrer-Almaraz, (2018). Análisis de la carga óptima en un sistema de refrigeración comercial usando el R1234yf como reemplazo al R134a, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y Sistemas, artículo MEC-E-15.