

# GENERACIÓN DE ENTROPÍA EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON REFRIGERANTE SUSTITUTO AL R134A

Galindo Castillo, Jose Miguel (1), Pérez García, Vicente (2)

<sup>1</sup> [Ingeniería Mecánica, Universidad E.C.C.I.] [ [jmiguel-95@hotmail.com](mailto:jmiguel-95@hotmail.com) ] | [Ingeniería Mecánica, Ingenierías, DICIS] [v.perez@ugto.mx]

## Resumen

En el presente trabajo se realiza la comparativa entre los refrigerantes R1234yf y R134a siendo el primero considerado como sustituto del segundo. Mediante el software REFPROP versión 9.4.4.44, EES y Excel se realizaron distintas simulaciones en las cuales hicieron variaciones en las temperaturas de condensación y evaporación, estas simulaciones nos muestran por medio de imágenes que la generación de entropía tiende a comportarse de forma similar durante todo el ciclo, dicha generación de entropía tiene valores más bajos en comparación con el R134a y a su vez la eficiencia (COP) muestra una disminución promedio del 4,18%. Diversas investigaciones relacionadas a las características y propiedades de estos refrigerantes y a esta investigación se puede concluir que el R1234yf es un claro sustituto del R134a debido a su bajo (PGC), a las pocas diferencias que hay en la generación de entropías dentro del sistema y la pequeña reducción del COP.

## Abstract

In the present work, the comparison between refrigerants R1234yf and R134a is made, the former being considered as a substitute for the latter. Through the software REFPROP version 9.4.4.44, EES and Excel several simulations have been presented which include variations in the condensation and evaporation temperatures, these simulations do not show the environment of the images that the generation of entropy tends to behave Similarly, during the whole cycle, entropy generation has lower values compared to R134a and efficiency (COP) shows an average reduction of 4.18%. Several investigations related to the characteristics and properties of these refrigerants and to this investigation it can be concluded that the R1234yf is a clear substitute of the R134 due to its low (PGC), the first differences that there are in the generation of entropies within the system and the small reduction of COP.

## Palabras Clave

Coefficiente de eficiencia (COP); Entropía; Ciclo de vapor; Evaporación; Condensación

## INTRODUCCIÓN

### Refrigerante R 134a y sustitutos

El refrigerante R134a es común mente utilizado en ciclos de compresión de vapor siendo cada vez más extendido en sistemas de refrigeración y aire acondicionado instalados en países en desarrollo especialmente en sistemas de aire acondicionado en vehículos [1] [2]

Sin embargo, la enmienda del Protocolo de Montreal adoptada por Kigali estableció un calendario para la retirada de los hidrofluorocarbonos (HFCs) que agotan el ozono y la reducción de sustancias denominadas “gases de efecto invernadero”, entre las cuales se encuentran todos los CFCs, HCFCs y HFCs, ampliamente utilizados en el campo de la refrigeración doméstica como el caso del R12, el R22 y el R134a. [3] [4]. Siendo este ultimo a un potencial gas de efecto invernadero teniendo un poder de calentamiento global (PGC) aproximado de 1300 [5].

El refrigerante R1234yf es propuesto como remplazo del R134a en sistemas de refrigeración móvil ya que para realizar el cambio de refrigerante no es necesario alterar los componentes de este ciclo, adicional a esto el refrigerante R1234yf es el único que actualmente cumple con la ley que obliga a utilizar un refrigerante con un poder de calentamiento global (PGC) inferior a 150 en sistemas de aire acondicionado móvil, presentando un PGC de tan solo 4. [3] [6]

- *Comparación de propiedades de los refrigerantes r134a y r1234yf:*

Como se puede observar en la Tabla 1 los refrigerantes R134a y r1234yf tienen propiedades termodinámicas similares como las temperaturas críticas y la masa molar, teniendo como un buen candidato el r1234yf para poder ser el reemplazo del r134a. [3]

La presión de vapor es una propiedad crítica en un sistema de refrigeración por compresión de vapor, estos refrigerantes tienen una presión de vapor similar cuando se evapora y la temperatura de condensación también es similar, se obtiene una buena compatibilidad entre estos dos refrigerantes [3]

**Tabla 1: Propiedades termodinámicas del refrigerante R134a y R1234yf**

Propiedades termodinámicas	R134a	R1234yf
Formula química	$CF_3CH_2F$	$C_3F_4H_2$
Masa molar (KG/Kmol)	102,03	114,04
Punto de ebullición a 1 atm (K)	247,08	243,7
Punto de congelación (K)	169,85	Desconocido
Temperatura crítica (K)	374,21	367,85
Presión crítica (Mpa)	4,06	3,338
Densidad crítica (Kg/m <sup>3</sup> )	511,9	478,01

- *Ciclo termodinámico*

El ciclo termodinámico que se utilizó para realizar la comparación de los refrigerantes R134a y el R1234yf mediante la generación de entropía fue un ciclo compresión de vapor simple, el cual cuenta con 4 puntos de análisis los cuales son el evaporador, el compresor, el condensador y el tubo capilar como se muestra en la imagen 1.

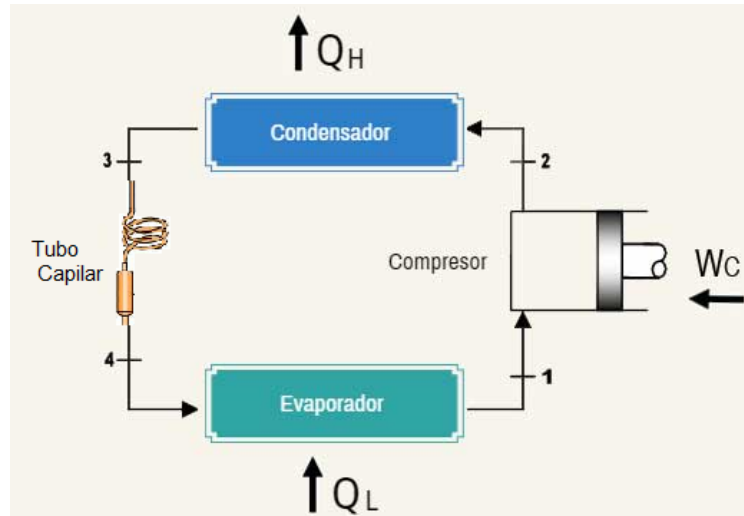


IMAGEN 1: Ciclo de refrigeración simple

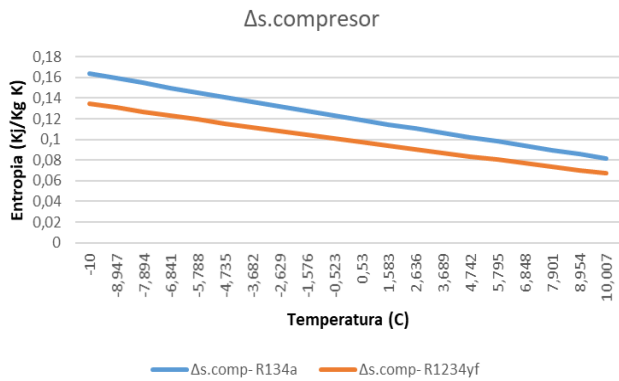
- Datos y Graficas

En la Tabla 2 se pueden observar las propiedades promediadas de los refrigerantes R134a y R1234yf con las diferentes variaciones de temperaturas que se utilizaron en esta investigación.

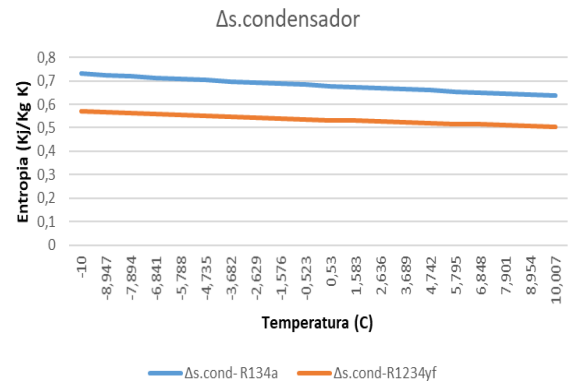
Tabla 2: Propiedades de los refrigerantes promediadas

	T. Salida evaporador (-10;10)			T. salida condensador (35;25)		
	R134a	R1234y	Diferencia(%)	1234yf	R134a	Diferencia(%)
COP	4,399968	4,216043	4,180134626	2,46896	2,28909	7,285290672
W comp (Kw)	35,59162	28,7349	19,26486518	54,1294	43,25542	20,08889693
$\Delta s_{comp}$ (Kj/Kg*K)	0,121740	0,09986	17,9731881	0,18435	0,150948	18,12075165
$\Delta s_{cond}$ (Kj/Kg*K)	0,682053	0,53567	21,46088737	0,71546	0,551012	22,98546554
$\Delta s_{Tubo\ cap}$ (Kj/Kg*K)	0,012808	0,01265	1,218792513	0,02781	0,027384	1,565184096
$\Delta s_{evap}$ (Kj/Kg*K)	0,547503	0,42316	22,70996397	0,50329	0,372679	25,95143271
$\Delta ec$ (Kj/Kg)	36,27872	29,7582	17,9731881	54,9376	44,98256	18,12075165
$\Delta econ$ (Kj/Kg)	18,10291	15,2774	15,60754108	26,6382	22,87558	14,12506362
$\Delta eexp$ (Kj/Kg)	3,817058	3,77053	1,218792513	8,29033	8,160574	1,565184096
$\Delta eev$ (Kj/Kg)	3,984346	3,05091	23,42745396	9,02561	6,683339	22,08737747

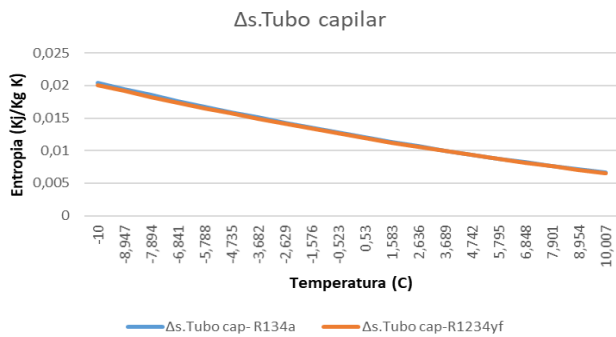
En la imagen 2 se muestran los comportamientos de la generación de entropía en cada uno de los componentes del ciclo, de esta manera, en la imagen 2 a) se puede ver la diferencia de las entropías del compresor teniendo un rango en la variación en la temperatura de evaporación de -10°C a 10°C y teniendo constante la temperatura de condensación de 35°C.



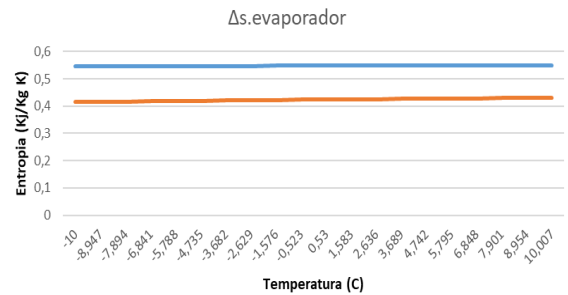
a)



b)



c)

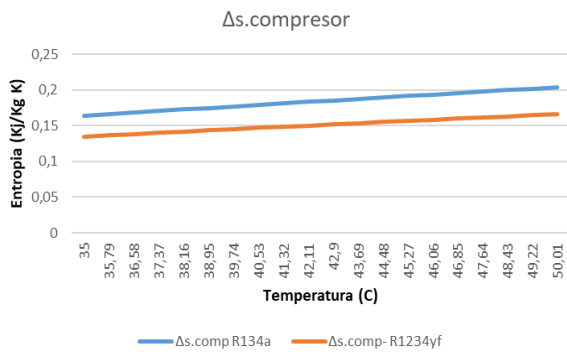


d)

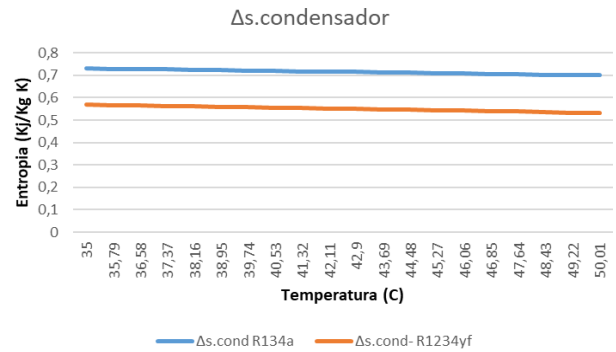
**IMAGEN 2: Variación de la generación de entropía con la temperatura de evaporación.**

En la imagen 2 b), se puede ver la diferencia de las entropías del condensador. Se observa en esta imagen que cómo la generación de entropía se reduce a medida que la temperatura de evaporación se incrementa, siendo la reducción mayor para el R1234yf. En la imagen 2 c), un comportamiento similar se observa para el tubo capilar, sin embargo, la reducción para ambos refrigerantes es prácticamente la misma. Por otro lado, la generación de entropía en el evaporador mostrada en la imagen 2 d), incrementa mientras la temperatura se aumenta. Aquí, el refrigerante con menor incremento es el R1234yf.

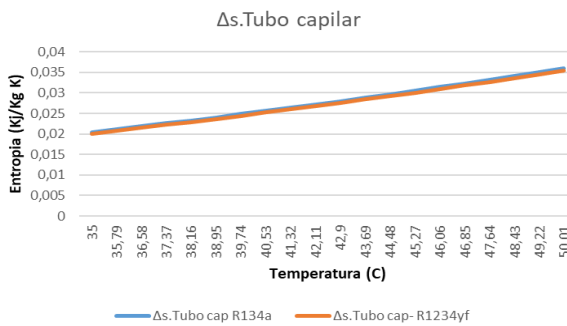
En la imagen 3 se muestra la variación de la generación de entropía en cada componente en función de la temperatura de condensación, de tal manera en la imagen 3 a) se puede ver la diferencia de las entropías del compresor en la cual se tuvo un rango de variación de 35°C a 50°C, manteniendo constante la temperatura de evaporación en -10°C.



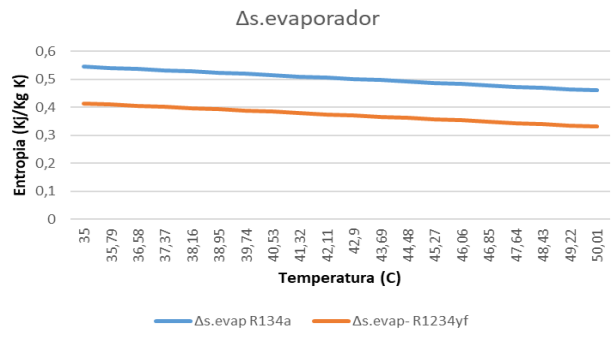
a)



b)



c)



d)

**IMAGEN 3: Variación de la generación entropía vs Temperatura de condensación.**

En la imagen 3 b), se puede ver la diferencia de las entropías del condensador. Se observa en esta imagen que cómo la generación de entropía se reduce a medida que la temperatura de condensación se incrementa, siendo la reducción mayor para el R1234yf. En la imagen 2 c), se observa un comportamiento contrario para el tubo capilar, hay un incremento en la generación de entropía a medida que la temperatura de condensación incrementa, sin embargo, el incremento para ambos refrigerantes es prácticamente el mismo. Por otro lado, la generación de entropía en el evaporador mostrada en la imagen 2 d), disminuye mientras la temperatura se aumenta. Aquí, el refrigerante con mayor reducción es el R1234yf.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder realizar la comparación entre los refrigerantes R134a y R1234yf, se utilizaron los software REFPROP en la versión 9.4.4.44 , EES y Excel con el fin de poder conocer las propiedades de los fluidos en los diferentes puntos del ciclo compresión de vapor, se utilizó los rangos de temperatura de evaporación entre (-10°C y 10°C) teniendo constante la temperatura de condensación de 35°C y después con rangos de temperatura de condensación entre (35°C y 50°C) teniendo constante la temperatura de evaporación de -10°C. Posteriormente se calcula la generación de entropías en cada uno de los puntos que existen dentro del sistema, se calcula el COP y la potencia del compresor, además se realizaron las gráficas de temperatura vs generación de entropías en los cuatro puntos del sistema de refrigeración y finalmente se realizó el análisis y comparación de los dos refrigerantes mediante las imágenes y datos obtenidos.

Para el cálculo de dichas propiedades se utilizaron las ecuaciones (1) a (9):

El análisis de energía permite determinar el COP, que es una medida del rendimiento energético del sistema. Este parámetro está definido con la ecuación 1.

$$COP = \frac{q_{ev}}{W_c} \quad (1)$$

El cálculo de la diferencia de entropías en el compresor está dado por la ecuación 2 y la diferencia de exergía por la ecuación 3

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

$$\Delta e_c = T_0(s_2 - s_1) \quad (3)$$

El cálculo de la diferencia de entropías en el condensador está dado por la ecuación 4 y la diferencia de exergía por la ecuación 5

$$q_{con} = h_2 - h_3 \quad (4)$$

$$\Delta e_{con} = (h_2 - T_0 s_2) - (h_3 - T_0 s_3) \quad (5)$$

El cálculo de la diferencia de entropías en el tubo capilar está dado por la ecuación 6 y la diferencia de exergía por la ecuación 7

$$\Delta h_{T.C} = h_4 - h_3 \quad (6)$$

$$\Delta e_{exp} = T_0(s_4 - s_3) \quad (7)$$

El cálculo de la diferencia de entropías en el evaporador está dado por la ecuación 8 y la diferencia de exergía por la ecuación 9

$$q_{ev} = h_1 - h_4 \quad (8)$$

$$\Delta e_{ev} = (h_4 - T_0 s_4) - (h_1 - T_0 s_1) + q_e \left(1 - \frac{T_0}{T_{ev}}\right) \quad (9)$$

Las ecuaciones (3), (5), (7) y (9) fueron tomadas de [5].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según las imágenes de Temperatura vs  $\Delta$  entropías comparadas anterior mente podemos ver que la generación de entropía para los refrigerantes R134a y R1234yf tienden a tener un comportamiento muy similar. Cuando se varia la temperatura de evaporación y se deja constante la de condensación, tenemos una variación en la generación de entropía promedio en el compresor de 17,97%, en el condensador de 21,46%, en el tubo capilar de 1,22% y en el evaporador de 22,7%. Cuando se varia la temperatura de condensación y se deja constante la de evaporación, tenemos una variación en la generación de entropía promedio en el

compresor de 17,75%, en el condensador de 20,96%, en el tubo capilar de 1,69% y en el evaporador de 22,08%. Haciendo también una comparación en la eficiencia (COP) y la potencia utilizada por el compresor tenemos que el COP disminuye en un promedio de 4,18%, pero a su vez la potencia utilizada por el compresor disminuye en un promedio 28,73%.

Resultados de investigaciones anteriores muestran que el refrigerante R1234yf es un gran sustituto para el R134a, dichas investigaciones comparan sus propiedades químicas y físicas, además de hacer referencia en su poder de calentamiento global (PGC) y sus efectos al medio ambiente [7], se han realizado investigaciones en sistemas de aire acondicionado [8]

## CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación, es posible concluir que el refrigerante R1234yf es un claro sustituto del R134a, debido a que solo presenta una reducción en el COP del 4,29%, y a su vez las gráficas de entropías tienden a comportarse de forma similar durante todo el ciclo de compresión de vapor simple.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco el correcto desarrollo y finalización de esta investigación a la Universidad de Guanajuato y a la Universidad E.C.C.I, instituciones que me apoyaron y prestaron sus instalaciones, también a mi tutor el doctor Vicente Pérez García quien estuvo acompañándome durante esta investigación y a mi familia que me apoyó durante todo este verano de investigación.

## REFERENCIAS

### Artículo:

- [1]Mota, A, Navarro, J, Makhnatch, P, Khodabandeh. (2018). Alternativas al gas refrigerante R134a Recuperado de <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/alternativas-al-gas-refrigerante-r134a.html>
- [2]Aliaga, j, Villegas, O, (2009) Cambio Climático, Desarrollo Económico y energías renovables: Estudio exploratorio de América Latina, Friedrich Ebert Stiftung, pp 44
- [3]Reasor, p, Aute, V, Rademacher, R, (2010), Refrigerant R1234yf Performance Comparison Investigation, School of Mechanical Engineering, pp 8
- [4]Carreño, P, Jadan, C, 2013, Estudio del comportamiento termodinámico del refrigerante R-134a, modificando su composición química, pp 217
- [5]Pérez, V, Belman, J, Rodríguez, J, Rangel, V, Gallegos, A. Second Law Analysis of a Mobile Air Conditioning System with Internal Heat Exchanger Using Low GWP Refrigerants, MDPI, Entropy, pp14.
- [6]Rodríguez, J, Manual del taller de electromecánica y diagnosis, Cevsimap
- [7]Abasa, N, Raza, A, Khanb, N, Haiderc, A, Saleemd, Z (2018) Natural and synthetic refrigerants, global warming; A review, ScienceDirect, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp13
- [8]Zilio, C, Brown, S, Schiochet, G, Cavallini, A, 2011, The refrigerant R1234yf in air conditioning systems, ScienceDirect, Energy, pp11