



MONOGRAFIA DE FÍSICA

Convocatoria: Noviembre 2018

Entalpia, entropía y eficiencia, en un ciclo de refrigeración de los fluidos refrigerantes R134a y R22 en un prototipo de refrigeración, aire acondicionado y congelador

¿Cuál es la variación de la entalpia, entropía y eficiencia en un ciclo de refrigeración de los fluidos refrigerantes R134a y R22 en un prototipo de refrigeración, aire acondicionado y congelador?

Conteo de palabras: 3979

Chiclayo, Perú

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios, por darme la oportunidad de poder realizar este trabajo y porque siempre estado para mí en los buenos y malos momentos.

A mis padres, por nunca dejar de confiar en mis habilidades y siempre darme apoyo incondicional. Sobre todo, por sus consejos que me han ayudado a crecer como persona y a luchar por lo que quiero.

A mi asesor, porque a pesar de las dificultades por las que he tenido que pasar él estuvo ahí para poder guiarme y nunca se negó a revisar mi trabajo las veces que se lo pedí.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
CAPITULO I:.....	6
Marco Teórico	6
Leyes de la termodinámica.....	6
Calorimetría:	6
Variables termodinámicas:.....	8
Presión:	8
Temperatura:.....	8
Densidad:	8
Sistema frigorífico:	8
Entalpía:	10
Entropía:	10
Coefficiente de rendimiento:.....	11
CAPITULO II.....	12
Planteamiento Del Problema y de la Experimentación	12
Variables	12
Independientes:	12
Dependientes:.....	12
Controladas:.....	13
Materiales.....	13
Condiciones sobre configuración y principios éticos	14
CAPITULO III:	15
Procedimiento y Métodos	15
Procedimiento	15
Construcción del sistema frigorífico:.....	15
CAPITULO IV:	19
Datos Obtenidos Y Análisis	19
Datos brutos	19
Tabla 1: Presión, temperatura y densidad del R134a en el prototipo de refrigeración.....	19
Tabla 2: Presión, temperatura y densidad del R22 en el prototipo de refrigeración	19
Tabla 3: Presión, temperatura y densidad del R134a en el Refrigerador	20
Tabla 4: Presión, temperatura y densidad del R22 en el equipo de aire acondicionado	20
Datos procesados	21

Tabla 5: Presión, temperatura y densidad promedio del R134a en el prototipo de refrigeración 22	
Tabla 6: Entalpía, entropía y eficiencia del R134a en el prototipo de refrigeración.....	22
Tabla 7: Presión, temperatura y densidad promedio del R22 en el prototipo de refrigeración 23	
Tabla 8: Entalpía, entropía y eficiencia del R22 en el prototipo de refrigeración	23
Tabla 9: Presión, temperatura y densidad promedio del R134a en el Refrigerador.....	24
Tabla 10: Entalpía, entropía y eficiencia del R134a en el Refrigerador	24
Tabla 11: Presión, temperatura y densidad promedio del R22 en el equipo de aire acondicionado	25
Tabla 12: Entalpía, entropía y eficiencia del R22 en el equipo de aire acondicionado	25
Tabla 13: Comparación de la entalpía, entropía y eficiencia en los tres sistemas de refrigeración.....	26
Graficas:.....	27
Grafica 1: comparación de la entalpía del R134a en el prototipo de refrigeración y refrigerador	27
Grafica 2: comparación de la entalpía del R22 en el prototipo de refrigeración y en el aire acondicionado	28
Grafica 3: comparación de la entropía del R134a en el prototipo de refrigeración y refrigerador	29
Grafica 4: comparación de la entropía del R22 en el prototipo de refrigeración y en el aire acondicionado	29
Grafica 5: comparación de la eficiencia en los sistemas de refrigeración de R22 y R134a, aire acondicionado y refrigerador.....	30
CONCLUSIONES.....	31
Grafica 6: comparación de la entalpía del sistema de refrigeración del R134a y el R22.....	32
Grafica 7: comparación de la entropía del sistema de refrigeración del R134a y el R22	32
Grafica 8: comparación de la entropía de entrada y de salida del sistema de refrigeración del R134a y el R22, en porcentajes.....	34
Grafica 9: comparación de la entalpía de entrada y de salida del sistema de refrigeración del R134a y el R22, en porcentajes.....	34
MEJORA DE LA INVESTIGACIÓN:	36
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	37
ANEXOS	38

INTRODUCCIÓN

La razón por la cual se eligió el presente tema de investigación fue debido a que durante las varias clases de física el tema de termodinámica fue uno de los que más llamó la atención, ya que este tema no solo lo veía en Física sino también en Química, es por ello que se me facilitó mucho al momento que se inició con este nuevo contenido en clase. Cuando inicié la búsqueda de temas al respecto en el libro de mi padre “Formulaire du Froid” me percate de algo muy interesante, los sistemas de refrigeración, es algo que en verdad se encuentra en muchos aparatos electro domésticos como las refrigeradoras o los aires acondicionados. Es por ello que logró despertar mi interés sobre todo cuando empecé a leer más sobre el tema, saber que existan fluidos refrigerantes que ayudaban a acelerar el proceso de refrigeración fue algo nuevo e interesante.

La termodinámica se define como la rama de la Física que trabaja en conjunto con Química para poder evaluar la energía que se ha transformado a partir de diferentes factores como la presión, la temperatura, el trabajo. Dado a que lo que se evalúa principalmente es la energía que se libera, es que se tendrá en cuenta dos principales variables termodinámicas: la entropía y la entalpia; en conjunto estas dos variables nos indican como se está realizando el trabajo en un sistema, en este caso de refrigeración. El sistema de refrigeración que se ha considerado en la presente investigación hace uso de dos fluidos refrigerantes: el R134a y el R22; ambos serán utilizados en un sistema de un prototipo de refrigeración, mientras que independientemente se evaluará el comportamiento del refrigerante R134a en un refrigerador y el refrigerante R22 en un aire acondicionado.

El objetivo del análisis de los fluidos refrigerantes en diferentes sistemas de refrigeración se da con el fin de encontrar una relación entre el mismo refrigerante, pero en dos sistemas diferentes, como se da en el caso del refrigerante R134a que se encuentra en el sistema de un prototipo de refrigeración al igual que en el refrigerador, de la misma manera para el R22. Por otro lado, se planea comparar el rendimiento de cada uno de los sistemas para así poder dar un pronóstico de que fluido refrigerante es el más eficiente; el presente resultado será útil para las empresas productoras de electro domésticos ya que tendrán en consideración el fluido con mayor porcentaje de rendimiento, además, la opción que se utilice estará relacionado con el efecto medioambiental ya que antes de que estos se hayan elegido se tuvo en consideración el efecto sobre el ambiente.

CAPITULO I:

Marco Teórico

Leyes de la termodinámica

Primera Ley: El calor que se transforma en energía liberada y aquel que se transforma en energía adquirida durante un sistema, se utiliza para generar trabajo y para la variación de su energía interna.

$$Q = W + \Delta U \quad (J) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- Q = energía térmica (J)
- W = trabajo (J)
- ΔU = variación de energía interna (J)

Segunda Ley: La eficiencia de una máquina térmica nunca podrá obtener un 100% de rendimiento ya que durante los diferentes procesos por los cuales pasa un sistema se pierde calor mediante energía interna, mientras que el calor que se utiliza, genera trabajo.

Eficiencia (η): la eficiencia de una maquina térmica que desarrolla el ciclo de Carnot puede calcularse teóricamente por medio de la siguiente formula:

$$\eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- η_c = eficiencia
- T_1 = temperatura de la fuente caliente (K)
- T_2 = temperatura de la fuente fría (K)

Calorimetría:

Calor latente: cantidad de energía por unidad de masa para cambiar la fase de una sustancia a temperatura y presión constante, puede ser de fusión o vaporización.

$$L = \frac{Q}{m} \text{ (Jkg}^{-1}\text{)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

- Q = energía térmica (J)
- m = masa (kg^{-1})

Energía interna: es la energía disipada por el movimiento de las moléculas en un determinado cuerpo, esto se debe a que los choques entre ellos no son perfectamente elásticos y además existe rozamiento entre ellos.

$$U = \frac{3}{2}PV \text{ (J)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- U = energía interna (J)
- V = volumen (m^3)
- P = presión (Pa)

Energía térmica: transferencia de energía entre dos sustancias por medios no mecánicos: conducción, convección y radiación:

$$Q = cm\Delta T \text{ (J)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

- Q = energía térmica (J)
- c = calor específico ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)

- $m = \text{masa (kg)}$
- $\Delta T = \text{variación de temperatura (K)}$

Variables termodinámicas:

Presión: Es una magnitud física escalar que nace a partir de la fuerza que se aplica sobre a superficie de un objeto, su unidad de medida del sistema internacional es pascal (pa).

Temperatura: Es la magnitud física que se basa en la energía cinética aleatoria promedio de las partículas de un sistema, determina el sentido de transferencia de la energía térmica entre dos cuerpos. Su unidad de medida del sistema internacional es kelvin (K).

Densidad: Es la magnitud física que comprende la masa de un objeto y el volumen que ocupa en el espacio, la división de ambas magnitudes nos dan como resultado la densidad y esta se ve representada por la siguiente unidad de medida: Kg m^{-3} .

Sistema frigorífico:

Elementos:

- **Compresor:** máquina encargada de comprimir los vapores del fluido refrigerante procedente del evaporador a fin de que, m Condensador: en el que el fluido refrigerante en estado líquido debido al aumento de temperatura que se genera por la presión de salida, cambia de fase a un estado gaseoso.

- **Evaporador:** en el que el fluido frigorífico se evapora absorbiendo el calor que aportan al refrigerador los productos que se pretende enfriar.

- **Válvula de expansión:** regula la cantidad de refrigerante que pasa al evaporador.

- **Filtro deshidratador:** pieza clave de un sistema frigorífico debido a que este dispositivo elimina cualquier partícula sólida que se encuentra circulando por el sistema, las

cuales pueden generar una obstrucción y por consecuencia dañar el sistema. mediante esta compresión, puedan volver a licuarse.

- **Condensador:** en el que el fluido refrigerante en estado líquido debido al aumento de temperatura que se genera por la presión de salida, cambia de fase a un estado gaseoso.

- **Fluido refrigerante:** sustancia que se utiliza en los electrodomésticos destinados a la refrigeración de alimentos para así poder conservarlos, este elemento acelera el procedimiento de refrigeración absorbiendo el calor de los alimentos de manera más rápida y por consecuente expulsando energía en manera de frio. Los dos tipos de fluidos refrigerante que se utilizará tienen las siguientes características:

R22	
Nomenclatura	clorodifluorometano
Formula molecular	CHClF_2
Punto de ebullición	232,45 K (-41 °C)
Punto de fusión	97,73 K (-175 °C)
Temperatura crítica	369 K (96 °C)
Presión crítica	44.54 bar
Densidad crítica	513.0 kgm^{-3}
Calor específico del liquido	$1.26 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$
Calor específico del gas	$0.662 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$

R134a	
Nomenclatura	tetrafluroetano
Formula molecular	CH_2FCF_3
Punto de ebullición	246.85 K
Punto de fusión	169.85 K
Temperatura crítica	374.25 K
Presión crítica	40.67 bar
Densidad crítica	508.0 kgm^{-3}
Calor específico del liquido	$1.44 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$
Calor específico del gas	$0.85 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$

Entalpía: Es la cantidad de energía calorífica de una sustancia dentro de un sistema termodinámico, su variación coincide con el calor intercambiado a presión constante. consiste en la energía total de un sistema que se puede absorber como liberar.

$$H = U + (pV) \quad (J) \quad \dots\dots (6)$$

Donde:

- U = energía interna (J)
- p = presión (bar)
- V = volumen (m^3)

Entropía: Se refiere al grado de irreversibilidad que se puede producir en un sistema termodinámico, y como este es alcanzado después de un proceso que implique la transformación de energía, indicando así que cualquier proceso irreversible tendrá una pérdida de energía.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (JK^{-1}) \quad (J) \quad \dots\dots (7)$$

Donde:

- ΔQ = variación de energía térmica (J)
- T = temperatura (K)

También se define como: $\Delta S = \frac{m\Delta H}{T} \quad \dots\dots\dots (8)$

Donde:

- T = temperatura (K)
- m = masa (kg)

- $\Delta H =$ variación de entalpía (J)

Coefficiente de rendimiento: Los ciclos inversos de motores térmicos, permiten la transferencia de calor desde una fuente fría, hasta otra fuente a mayor temperatura, fuente caliente; estos ciclos vienen caracterizados por un coeficiente de efecto frigorífico, que es la relación entre la cantidad de calor extraída a la fuente fría y el trabajo aplicado al ciclo mediante un compresor o también conocido como COP.

Para el mismo cambio de temperatura entre la fuente caliente y la fuente fría, se pueden considerar los siguientes coeficientes de efecto frigorífico:

Ciclo de Carnot correspondiente COP_c :

$$COP_c = \frac{T_v}{T_c - T_v} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

- $T_v =$ temperatura de vaporizador (foco frío) (K)
- $T_c =$ temperatura de condensador (foco caliente) (K)

CAPITULO II:

Planteamiento Del Problema y de la Experimentación

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es la variación de la entalpia, entropía y eficiencia en un ciclo de refrigeración de los fluidos refrigerantes R134a y R22 en un prototipo de refrigeración, aire acondicionado y congelador?

Hipótesis: La variación de la entalpia, entropía y eficiencia de un ciclo de refrigeración estará determinada por el fluido refrigerante que se utilice y sobre todo en el sistema en el que se encuentre. Además, esta variación se producirá a partir de factores como la temperatura ambiente y el viento ya que estos afectarán directamente los resultados del experimento

Objetivo: Determinar la entalpia, entropía y eficiencia de un ciclo de refrigeración en un prototipo de refrigeración, aire acondicionado y congelador, usando los fluidos refrigerantes R134a y R22

Variables

Independientes:

- Presión se mide a partir de los manómetros de alta y baja presión
- Temperatura de la fuente caliente y fríacon un termómetro digital

Dependientes:

- Entropía
- Entalpia
- Coeficiente de rendimiento

Controladas:

- Tiempose mide con un cronómetro (30 min)

Materiales para la elaboración de un sistema frigorífico (compresión de vapor)

- Compresor hermético
- 4 Manómetros, dos para baja presión y dos para alta
- 7 metros de tubo de cobre, con un diámetro de $\frac{3}{16}$ "
- 9 metros de tubo de cobre, con un diámetro de $\frac{1}{4}$ "
- $\frac{1}{2}$ metro de tubo capilar
- Filtro deshidratador (1)
- Gas refrigerante R22,
- Gas refrigerante R134a
- Un depósito de fundente
- Soplete (1)
- Maqueta de madera (1)
- Dos docenas de tornillos
- Una docena de abrazadoras
- 1 metro de tubo de cobre extra
- Cinta de teflón
- Termómetro digital
- Cronómetro

Condiciones sobre configuración y principios éticos

El uso de mascarilla y de guantes han sido primordiales durante todo el procedimiento de construcción para evitar el contacto con el metal a alta temperatura al momento que se está siendo soldado. Además, se han utilizado lentes para que las limaduras del metal junto con las chispas que se producen durante la soldadura al igual que la luz incandescente que se genera, no logren afectar la visión del sujeto.

Se utilizó una cinta de Teflón al momento que se conectó la tubería de cobre con los manómetros, para que así no se pueda generar una fuga de gas, y permita una Buena toma de datos.

El presente proyecto no afecta la salud del estudiante ni atenta contra el medioambiente, dado que los materiales a utilizar son bajos en toxicidad, un ejemplo muy claro es el R134a ya que este ha inicios era conocido como el R12; sin embargo, este fue modificado debido al impacto medioambiental que estaba ocasionando.

Se debe tener el sistema de refrigeración en un ambiente en el cual no circule el aire ya que este podría acelerar el proceso; provocando así que los datos se vean modificados.

CAPITULO III:

Procedimiento y Métodos

Procedimiento

Construcción del sistema frigorífico:

Primero. Se visualiza el esquema del sistema de refrigeración por compresión de vapor para saber en dónde ubicar cada uno de los elementos que serán utilizados. Se ha enumerado de manera que se logre comprender el ciclo de refrigeración y el funcionamiento.

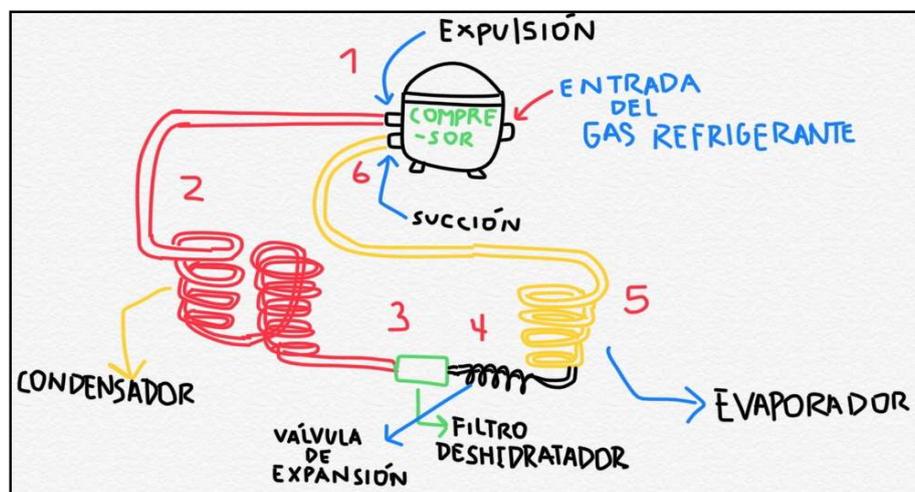


Ilustración 1: Esquema del sistema de refrigeración empleado

Segundo. Para la construcción del condensador se deben utilizar los siete metros del tubo de cobre y se le debe de dar una forma de espiral para que así el fluido se transporte de mejor manera. Del mismo modo se realiza para los 9 metros del tubo de cobre para el evaporador.

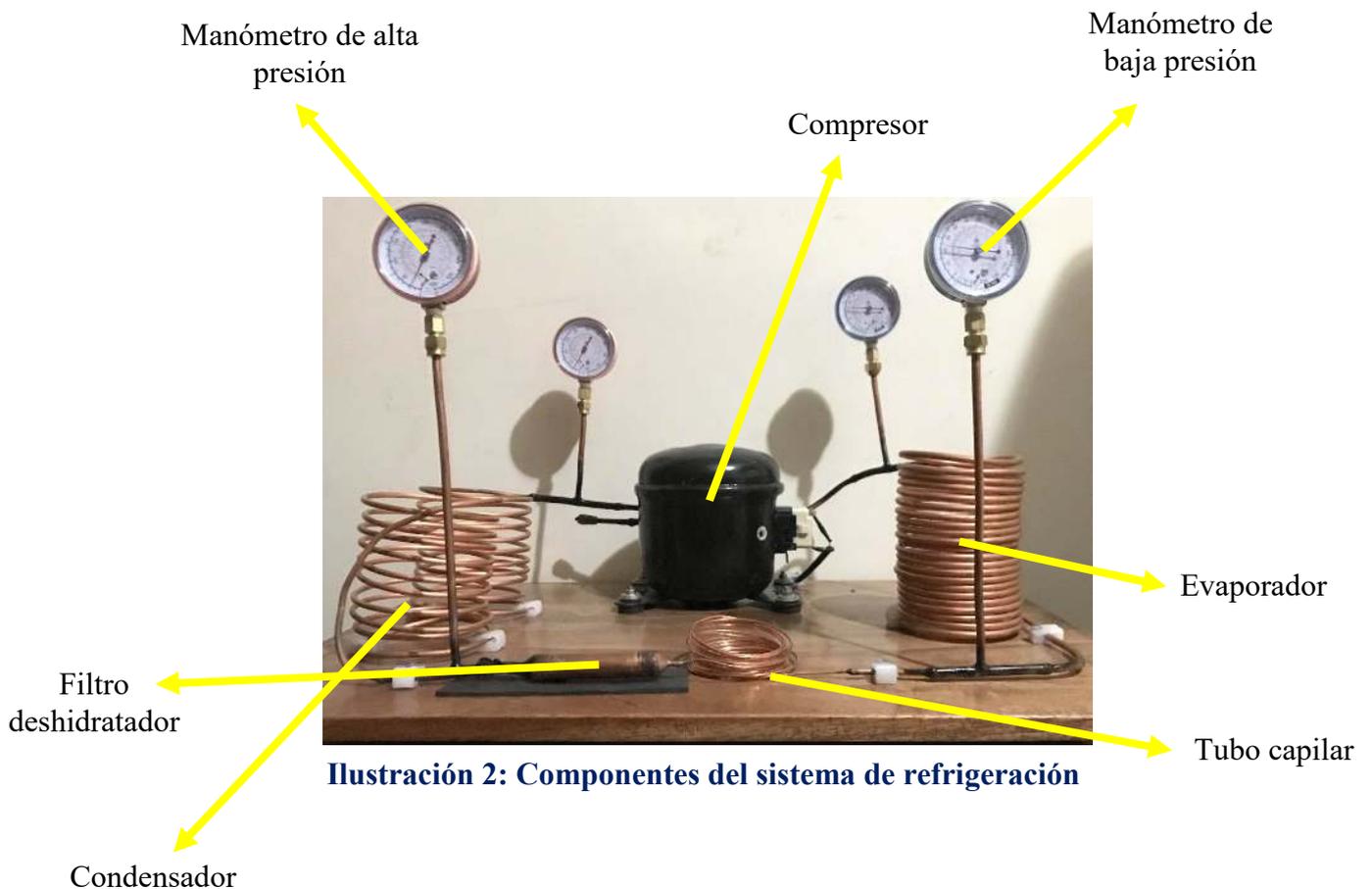
Tercero. En la entrada y en la salida del condensador se ensamblan dos manómetros de alta presión para así poder y del mismo modo aplica para el evaporador la única diferencia es que para el evaporador se utilizan manómetros de baja presión.

Cuarto. Para poder conectar el condensador con el evaporador se debe de conectar un filtro deshidratador con un tubo capilar que funciona de válvula de expansión. (Ver ilustración

2)

Quinto. Después de haber conectado cada dispositivo con el compresor se debe de asegurar cada parte con unas abrazaderas que van entornilladas a una maqueta de madera. (Ilustración 2 desde arriba).

Sexto. Se debe de cargar el compresor con el refrigerante (R22 y R134a), hasta que en el manómetro de alta presión marque 5 psi.



Toma de datos en el sistema de refrigeración:

Primero. Después 30 minutos, tiempo aproximado del ciclo completo se registra presión, temperatura y densidad visualizando los cuatro manómetros ubicados respectivamente a la entrada y a la salida tanto del condensador como del evaporador. (Ver ilustración 3)



Ilustración 3: Localización de los cuatro manómetros

Segundo. Después de haber tomado las tres magnitudes mencionadas anteriormente se debe de pasar a las siguientes unidades de medida: kelvin y bar. En el caso de kelvin se tuvo que utilizar la presente formula:

$$K = \frac{5(F - 32)}{9} + 273$$

Para poder convertir de psi a bar, se utiliza la siguiente equivalencia:

$$1\text{psi} = 0.06895 \text{ bar}$$

Tercero. El mismo proceso se debe repetir cinco veces tanto para el fluido refrigerante R134a como para el fluido refrigerante R22.

Toma de datos del equipo de aire acondicionado y del congelador:

Primero. Se deben de identificar los dos elementos importantes a evaluar, el condensador y el evaporador, los cuales también son conocidos como fuente caliente y fuente fría, respectivamente. En el caso del aire acondicionado el condensador se encuentra en la parte externa del ambiente en el que se quiere instalar, mientras que el evaporador se encuentra en la parte interna. En el caso del congelador se identifican el condensador y el evaporador; el

condensador se encuentra en la parte inferior del refrigerador, mientras que el evaporador se encuentra en la parte superior del refrigerador, o también conocido como congelador.

Segundo. Con el termómetro digital medir la temperatura de la fuente caliente (condensador) y de la fuente fría (evaporador).

Tercero. Se conectan dos manómetros en el compresor de cada uno de los sistemas, los dos manómetros que se utilizan son uno de alta presión que estará ubicado en la salida del compresor y uno de baja presión que se ubica en la entrada al compresor.

Cuarto. Se registran los datos cada media hora tanto en el refrigerador como el equipo de aire acondicionado

CAPITULO IV:

Datos Obtenidos Y Análisis

Datos brutos

Tabla 1: Presión, temperatura y densidad del R134a en el prototipo de refrigeración

N°	Presión entrada ± 1.72 bar	Presión salida ± 1.72 bar	Temperatura entrada ± 255.5 K	Temperatura salida ± 255.5 K	Densidad entrada \pm 0.1 $kgcm^{-3}$	Densidad salida ± 0.1 $kgcm^{-3}$
1	18.91	0.4275	340.09	254.82	19.20	0.50
2	19.31	0.4344	341.48	253.98	19.60	0.43
3	18.95	0.4206	341.04	254.26	19.20	0.46
4	19.99	0.5447	342.59	256.48	20.40	0.60
5	19.65	0.5171	342.04	255.93	20.00	0.60

Tabla 2: Presión, temperatura y densidad del R22 en el prototipo de refrigeración

N°	Presión entrada ± 0.06 bar	Presión salida ± 0.06 bar	Temperatura entrada ± 255.5 K	Temperatura salida ± 255.5 K	Densidad entrada \pm 0.1 $kgcm^{-3}$	Densidad salida ± 0.1 $kgcm^{-3}$
1	15.31	0.4423	331.38	256.40	15.50	1.64
2	16.20	0.4178	333.02	257.68	16.61	1.47
3	16.65	0.3966	333.69	257.92	16.84	1.59
4	15.58	0.4378	332.56	257.51	16.00	1.52
5	15.45	0.4129	331.94	256.80	15.60	1.61

Tabla 3: Presión, temperatura y densidad del R134a en el Refrigerador

N°	Presión entrada ± 1.72 bar	Presión salida ± 1.72 bar	Temperatura entrada ± 255.5 K	Temperatura salida ± 255.5 K	Densidad entrada± 0.1 $kgcm^{-3}$	Densidad salida ± 0.1 $kgcm^{-3}$
1	17.48	0.4275	333.55	254.80	0.41	0.50
2	18.22	0.4351	334.27	253.97	0.35	0.43
3	18.80	0.4220	334.42	254.26	0.40	0.46
4	17.12	0.5468	332.73	256.48	0.51	0.60
5	17.35	0.5178	333.28	255.93	0.52	0.61

Tabla 4: Presión, temperatura y densidad del R22 en el equipo de aire acondicionado

N°	Presión entrada ± 1.72 bar	Presión salida ± 1.72 bar	Temperatura entrada ± 255.5 K	Temperatura salida ± 255.5 K	Densidad entrada\pm 0.05 $kgcm^{-3}$	Densidad salida ± 0.05 $kgcm^{-3}$
1	18.40	0.5805	333.95	255.70	18.60	0.62
2	19.30	0.5557	335.85	253.59	19.74	0.55
3	18.80	0.5343	334.65	254.38	19.11	0.49
4	18.60	0.5757	332.55	256.17	19.02	0.61
5	19.40	0.5633	333.25	255.92	19.83	0.58

Datos procesados

Primero se debe de hallar el promedio aritmético de las cinco medidas que se han realizados de cada una de las variables a utiliza (presión, temperatura, densidad, entropía, entalpia, trabajo). Esto se da a través de la suma de todos los datos y el resultado se divide entre cinco, ya que esta es la cantidad de pruebas.

$$\bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5}{5}$$

Para poder hallar la incertidumbre absoluta se debe de identificar el valor (dato) mas grande (X) y el mas pequeño (Y), y se sigue la siguiente formula:

$$I.A = \frac{X - Y}{2}$$

Para poder hallar la incertidumbre porcentual se debe de tener en cuenta la incertidumbre absoluta y el promedio de cada una de las magitudes, se debe de seguir la siguiente formula:

$$I.P (\%) = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\%$$

Para poder hallar la entalpia se debe de utilizar la formula (6), pero antes de eso se debe de hallar el volumen del fluido refrigerante a utiliza. Para poder hallar el volumen se debe de seguir la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Ejemplo:

El volumen del refrigerante R134a: $5.3140625 \approx 5.314 \pm 0.1$ L

Ejemplo:

La entalpia del refrigerante R134a: 251.16 ± 6.67 kJkg^{-1}

Para poder hallar la entropia se debe de utilizar la formula (8)

Ejemplo:

La entropía del refrigerante R134a: 0.07535 ± 6.67 $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

Tabla 5: Presión, temperatura y densidad promedio del R134a en el prototipo de refrigeración

	Promedio (\bar{x})	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre porcentual (%)
Presión de entrada (bar)	19.36	±0.54	± 2.79
Presión de salida (bar)	0.4689	± 0.06	± 12.80
Temperatura de entrada (K)	341.45	± 1.25	± 0.37
Temperatura de salida (K)	255.09	± 1.25	± 0.49
Densidad de entrada ($kgcm^{-3}$)	19.8	± 0.60	± 0.24
Densidad de salida ($kgcm^{-3}$)	0.52	± 0.09	± 16.35

Tabla 6: Entalpía, entropía y eficiencia del R134a en el prototipo de refrigeración

Nº	Entalpía de entrada ($kJkg^{-1}$)	Entalpía de salida ($kJkg^{-1}$)	Entropía de entrada ($kJkg^{-1}$)	Entropía de salida ($kJkg^{-1}K^{-1}$)	Trabajo de entrada (J)	Trabajo de salida (J)	Eficiencia (η) (%)
1	251.16	228.08	0.07535	0.0913	150.66	152.44	76.60
2	251.26	257.67	0.07687	0.1037	150.78	156.26	75.90
3	251.71	233.22	0.07530	0.0936	151.00	151.56	74.20
4	250.01	231.56	0.07446	0.0921	150.21	140.38	75.90
5	250.61	229.84	0.07411	0.0916	150.49	153.40	75.00
Promedio (\bar{x})	250.95	236.07	0.0752	0.0944	150.63	152.81	75.52
Incertidumbre absoluta	± 0.63	± 14.80	± 0.001	± 0.006	± 0.40	± 2.94	± 1.20
Incertidumbre porcentual (%)	± 0.25	± 3.13	± 1.33	± 6.36	± 0.27	± 1.92	± 1.59

Tabla 7: Presión, temperatura y densidad promedio del R22 en el prototipo de refrigeración

	Promedio (\bar{x})	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre porcentual (%)
Presión de entrada (bar)	15.84	± 0.67	± 4.23
Presión de salida (bar)	0.4234	± 0.02	± 5.44
Temperatura de entrada (K)	332.52	± 1.16	± 0.33
Temperatura de salida (K)	257.26	± 0.76	± 0.30
Densidad de entrada ($kgcm^{-3}$)	16.11	± 0.67	± 4.16
Densidad de salida ($kgcm^{-3}$)	1.57	± 0.09	± 5.41

Tabla 8: Entalpia, entropía y eficiencia del R22 en el prototipo de refrigeración

Nº	Entalpia de entrada ($kJKg^{-1}$)	Entalpia de salida ($kJKg^{-1}$)	Entropía de entrada ($JKg^{-1}K^{-1}$)	Entropía de salida ($kJKg^{-1}K^{-1}$)	Trabajo de entrada (J)	Trabajo de salida (J)	Eficiencia (η) (%)
1	668.74	665.69	0.34133	0.18235	421.12	382.42	71.20
2	660.72	694.23	0.34358	0.17574	416.87	409.89	74.20
3	669.61	688.65	0.34012	0.17896	422.43	410.92	74.80
4	659.42	689.55	0.34981	0.18024	415.93	398.53	73.60
5	670.82	635.43	0.33471	0.18359	422.56	384.22	72.20
Promedio (\bar{x})	665.86	686.71	0.3419	0.1802	419.78	485.20	73.20
Incertidumbre absoluta	± 4.45	± 2.66	± 0.008	± 0.004	± 3.32	± 9.32	± 1.30
Incertidumbre porcentual (%)	± 0.67	± 0.39	± 2.34	± 2.22	± 0.79	± 1.92	± 1.78

Tabla 9: Presión, temperatura y densidad promedio del R134a en el Refrigerador

	Promedio (\bar{x})	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre porcentual (%)
Presión de entrada (bar)	88.97	± 0.84	± 0.94
Presión de salida (bar)	0.4698	± 0.06	± 12.70
Temperatura de entrada (K)	333.65	± 0.97	± 0.30
Temperatura de salida (K)	215.09	± 1.26	± 0.58
Densidad de entrada ($kgcm^{-3}$)	0.44	± 0.09	± 19.32
Densidad de salida ($kgcm^{-3}$)	0.52	± 0.09	± 17.31

Tabla 10: Entalpia, entropía y eficiencia del R134a en el Refrigerador

Nº	Entalpia de entrada ($kJkg^{-1}$)	Entalpia de salida ($kJkg^{-1}$)	Entropía de entrada ($kJkg^{-1}K^{-1}$)	Entropía de salida ($kJkg^{-1}K^{-1}$)	Trabajo de entrada (J)	Trabajo de salida (J)	Eficiencia ($\eta\%$)
1	251.05	267.31	0.1469	0.0867	162.84	140.54	55.30
2	255.91	269.21	0.1408	0.0812	165.66	147.78	56.70
3	252.18	268.25	0.1423	0.0859	163.49	141.15	55.50
4	243.03	259.87	0.1578	0.0954	158.19	153.97	56.20
5	250.75	267.80	0.1498	0.0897	162.61	140.87	55.30
Promedio (\bar{x})	252.58	266.49	0.1475	0.0878	162.56	144.86	55.75
Incertidumbre absoluta	± 2.58	± 4.67	± 0.009	± 0.007	± 3.74	± 6.72	± 0.70
Incertidumbre porcentual (%)	± 1.02	± 1.75	± 6.10	± 7.97	± 2.30	± 4.64	± 1.26

Tabla 11: Presión, temperatura y densidad promedio del R22 en el equipo de aire acondicionado

	Promedio	Incertidumbre absoluta	Incertidumbre porcentual (%)
Presión de entrada (bar)	18.9	± 0.50	± 2.65
Presión de salida (bar)	0.5619	± 0.02	± 4.11
Temperatura de entrada (K)	333.1	± 1.65	± 4.95
Temperatura de salida (K)	255.15	± 1.29	± 0.51
Densidad de entrada ($kgcm^{-3}$)	19.26	± 0.62	± 3.19
Densidad de salida ($kgcm^{-3}$)	0.57	± 0.07	± 11.40

Tabla 12: Entalpia, entropía y eficiencia del R22 en el equipo de aire acondicionado

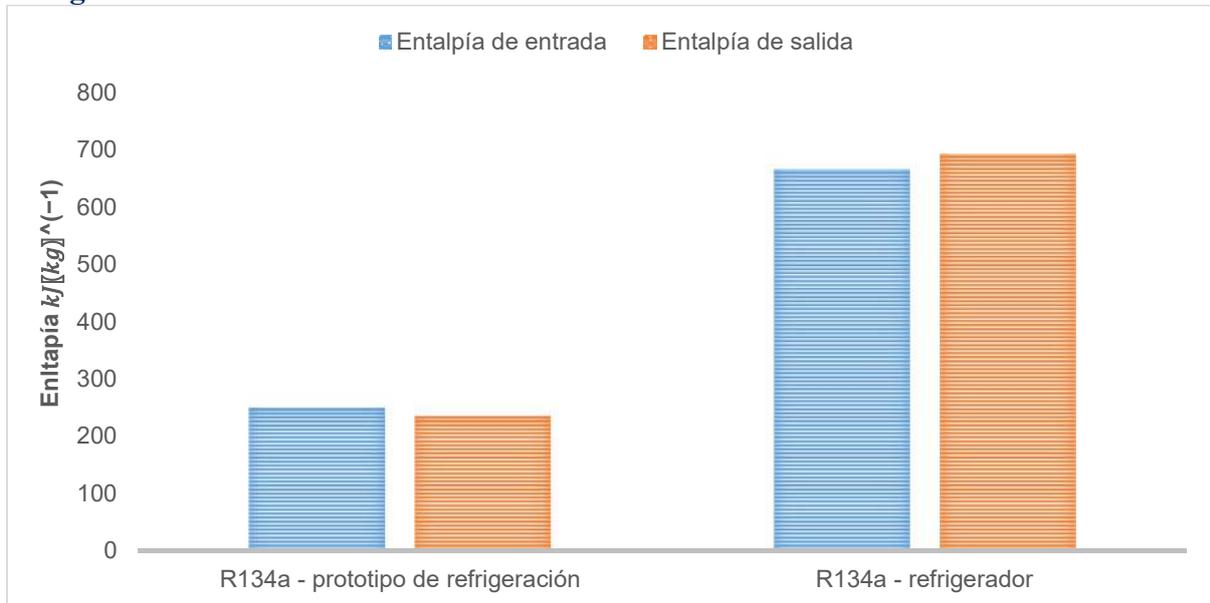
Nº	Entalpia de entrada ($kJkg^{-1}$)	Entalpia de salida ($kJkg^{-1}$)	Entropía de entrada ($kJKg^{-1}K^{-1}$)	Entropía de salida ($kJkg^{-1}K^{-1}$)	Trabajo de entrada (J)	Trabajo de salida (J)	Eficiencia (η)(%)
1	669.96	699.14	0.3415	0.1793	422.73	377.35	43.30
2	662.15	687.29	0.3578	0.1857	418.69	407.06	45.80
3	666.26	693.53	0.3489	0.1799	420.75	409.75	44.70
4	662.29	689.18	0.3557	0.1874	417.65	380.28	47.40
5	662.61	687.75	0.3521	0.1885	418.08	391.56	46.20
Promedio (\bar{x})	664.65	691.38	0.3512	0.1842	419.58	407.80	45.48
Incertidumbre absoluta	± 3.91	± 5.93	± 0.007	± 0.005	± 2.54	± 2.11	± 2.05
Incertidumbre porcentual (%)	± 0.59	± 0.86	± 1.99	± 2.50	± 0.61	± 0.52	± 4.51

Tabla 13: Comparación de la entalpía, entropía y eficiencia en los tres sistemas de refrigeración

	Sistema de refrigeración		Aire acondicionado	Refrigerador
	R134a	R22	R22	R134a
Entalpía de entrada ($kJkg^{-1}$)	250.95	670.82	252.58	664.65
Entalpía de salida ($kJkg^{-1}$)	236.07	635.43	266.49	691.38
Entropía de entrada ($kJKg^{-1}K^{-1}$)	0.0752	0.3419	0.1475	0.3512
Entropía de salida ($kJKg^{-1}K^{-1}$)	0.0944	0.1802	0.0878	0.1842
Eficiencia (%)	75.52	73.2	55.75	45.48

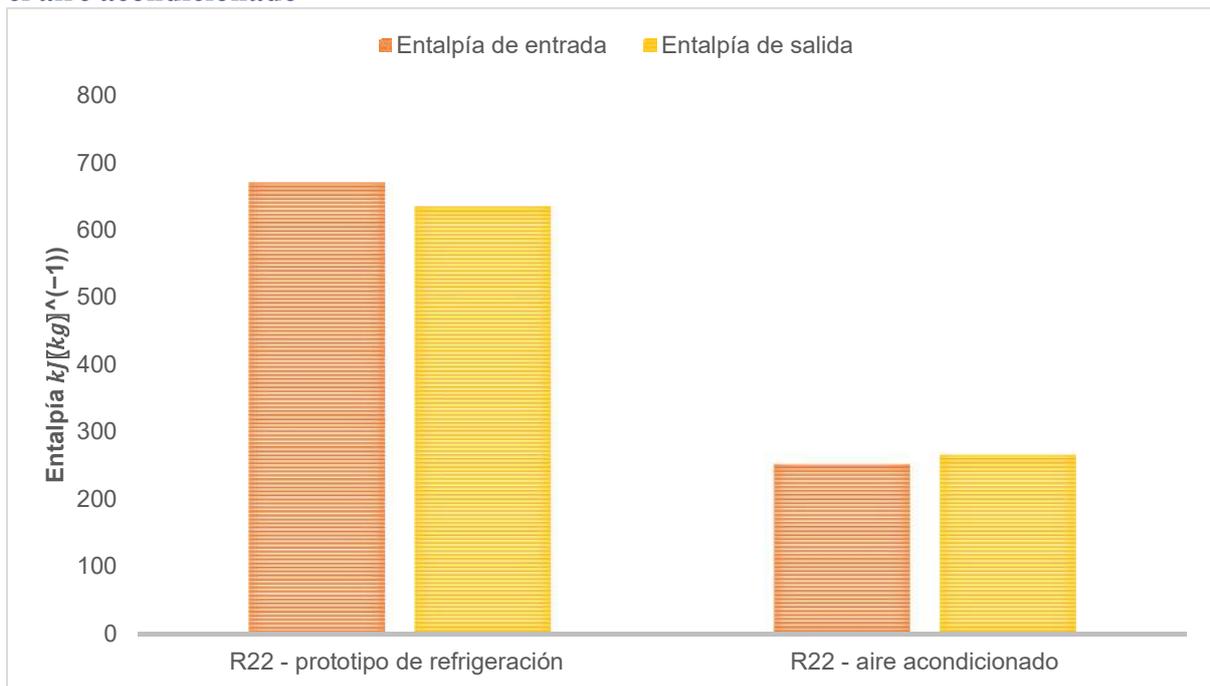
Graficas:

Grafica 1: comparación de la entalpía del R134a en el prototipo de refrigeración y refrigerador



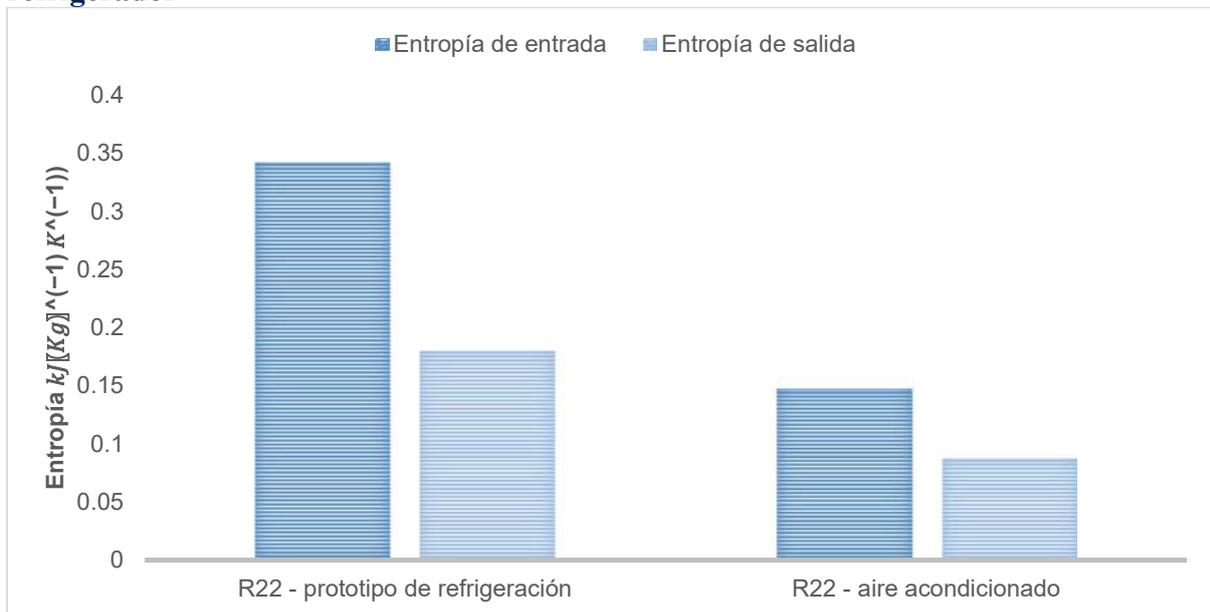
Interpretación: La entalpía del sistema de refrigeración casero que utiliza el fluido refrigerante R134a es menor que el que se encuentra en el refrigerador, dado a que la energía que se emplea para poder dar uso a un refrigerador supera de manera radical la que se requiere para un sistema de refrigeración casero ya que sus propósitos son diferentes. Dado a que requiere más energía el fluido contiene más entalpía ya que esta es considerada como la energía almacenada en una sustancia.

Grafica 2: comparación de la entalpía del R22 en el prototipo de refrigeración y en el aire acondicionado

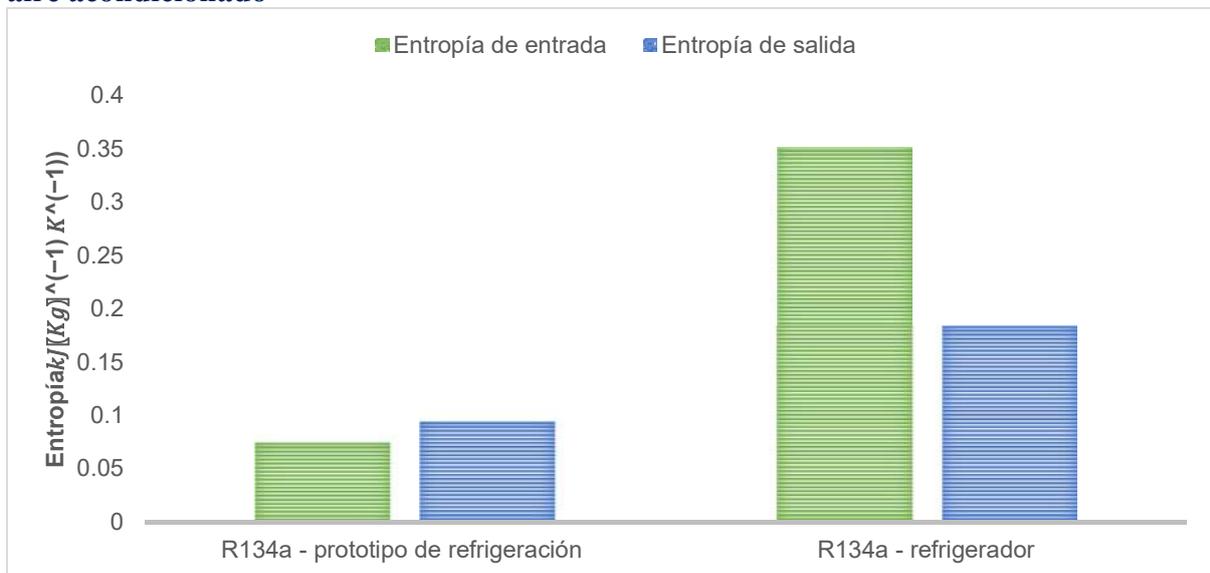


Interpretación: La energía que se encuentra dentro de este fluido es mayor en el sistema de refrigeración casero que en el del aire acondicionado ya que la energía que se pierde durante el ciclo de refrigeración del presente electrodoméstico se da en mayor cantidad dado a que factores como el viento, ya que el condensador se encuentra ubicado externamente, hace que su ciclo sea mucho más acelerado y consecuentemente a esto la energía liberada es mayor.

Grafica 3: comparación de la entropía del R134a en el prototipo de refrigeración y refrigerador



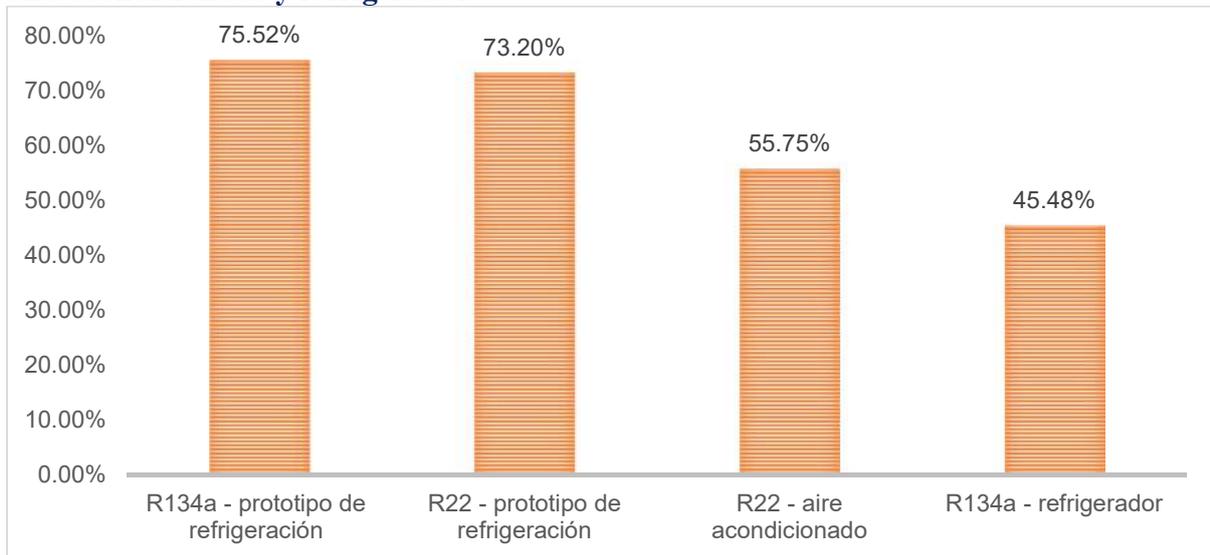
Grafica 4: comparación de la entropía del R22 en el prototipo de refrigeración y en el aire acondicionado



Interpretación: La entropía de entrada y de salida del sistema de refrigeración casero que contiene el fluido refrigerante R134a es menor que la del refrigerador ya que como se ha podido visualizar la **gráfica 1** a mayor energía contenida en una sustancia mayor será la energía liberada ya que la entropía es la energía que se pierde en un ciclo irreversible, es por ello que

si es que esto no se cumpliera sería un ciclo de refrigeración perfecto. De igual manera cumple para la **gráfica 4**.

Grafica 5: comparación de la eficiencia en los sistemas de refrigeración de R22 y R134a, aire acondicionado y refrigerador



Interpretación: El fluido refrigerante R134a es aquel que proporciona uno de los más altos porcentajes de eficacia. En el prototipo se obtuvo un promedio de 75.52% mientras que el refrigerante R22 obtuvo un promedio de 73.20%, por otro lado, en los electrodomésticos se logró visualizar que refrigerador que contenía un fluido refrigerante R134a obtuvo un promedio de 55.84% mientras que el aire acondicionado que utiliza el refrigerante R22 alcanzo un promedio de 45.48%. La diferencia entre los porcentajes entre los prototipos e refrigeración con los electrodomésticos es debido a que cumplen funciones diferentes.

CONCLUSIONES

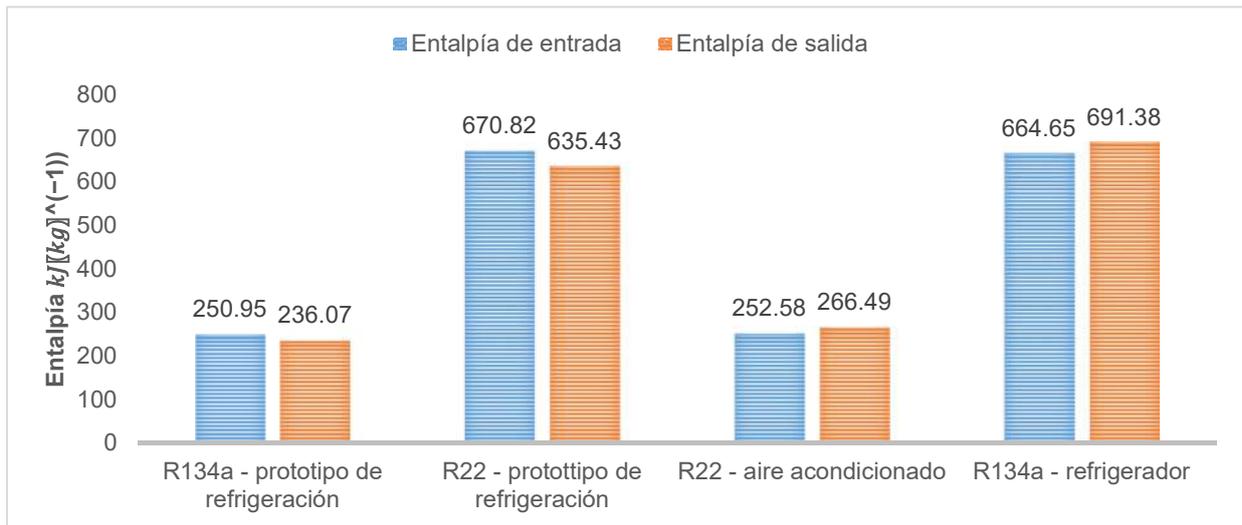
En el **grafico 1** se observa la relación entre la entalpía de un prototipo de refrigeración con la de un refrigerador, esta relación está determinada de manera que la entalpía del prototipo es 0.38 veces menor a la del refrigerador, esto se debe a que la función de este electrodoméstico va más allá de la simple visualización del comportamiento de un ciclo de refrigeración, como se puede ver en el prototipo. Dado a que se requiere de mayor energía para poder cumplir con su función es que su entalpia de entrada es mayor.

En el **grafico 2** se puede observar que a comparación de el **grafico 1** la entalpía del prototipo de refrigeración es mayor que la entalpía de la máquina de aire acondicionado, teniendo así una relación de 1.01 veces mayor que el electro doméstico. La razón por la cual la entalpía es mayo en el prototipo de refrigeración que, en la máquina de aire acondicionado, es debido a que su condensador se encuentra ubicado en la parte externa del local a enfriar lo cual provoca que este expuesto a ráfagas de aire que afectan el ciclo de refrigeración, provocando así que este se realice de manera más rápida y por consecuente transformando el calor en energía liberada.

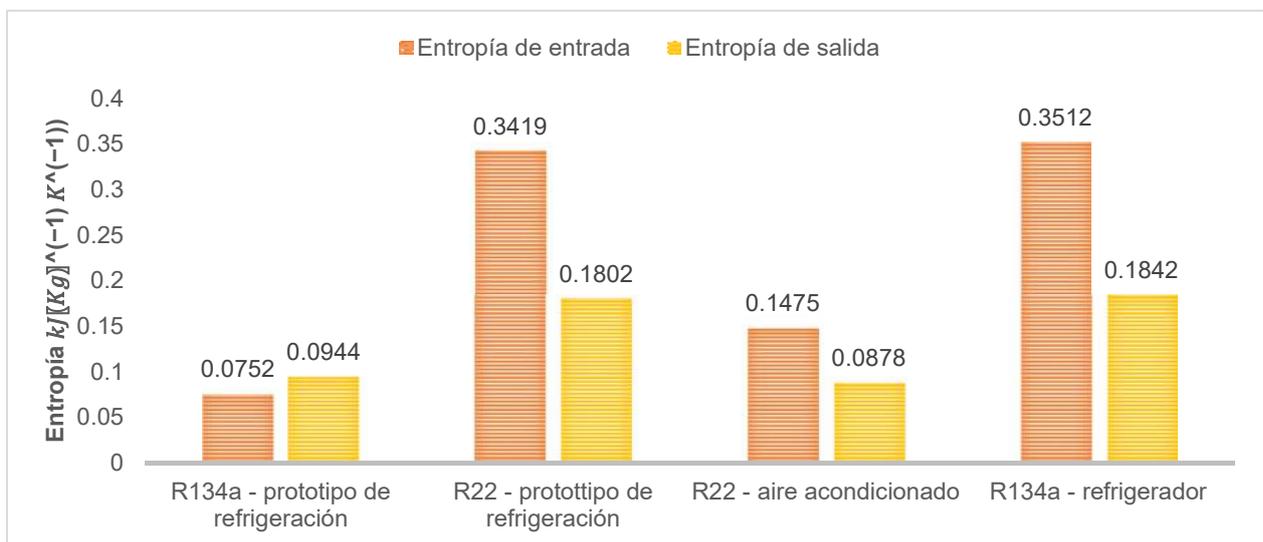
A mayor entalpía mayor entropía, así como se puede visualizar en el **gráfico 3** la relación existente entre sus entropías de entrada del prototipo de refrigeración con la máquina de aire acondicionado se encuentra relacionado con la relación entre las entalpias del **gráfico 2**. Esto se debe a que mientras más calor se requiera para poder realizar su funcionamiento mayor energía se liberará ya que se necesitará de más energía para poder transformar al fluido de un estado a otro y durante este proceso es que se da la liberación. De igual manera se puede observar en la **gráfica 4** en relación con la **gráfica 1**.

Por lo tanto, se puede evidenciar en las **gráficas 6 y 7**, siendo estas graficas de resumen nos muestra la variación de entalpía y de entropía en los cuatros sistemas de refrigeración evaluados.

Grafica 6: comparación de la entalpía del sistema de refrigeración del R134a y el R22



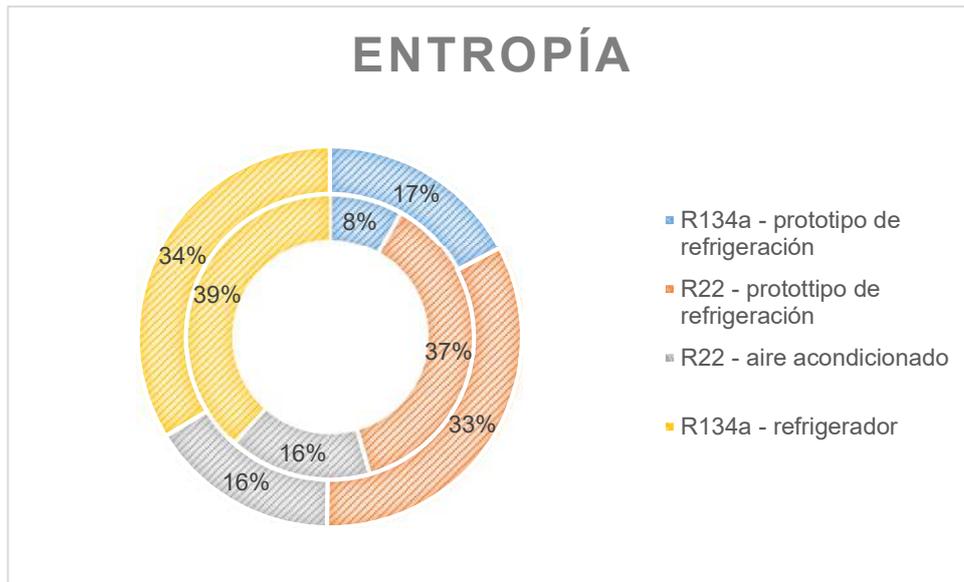
Grafica 7: comparación de la entropía del sistema de refrigeración del R134a y el R22



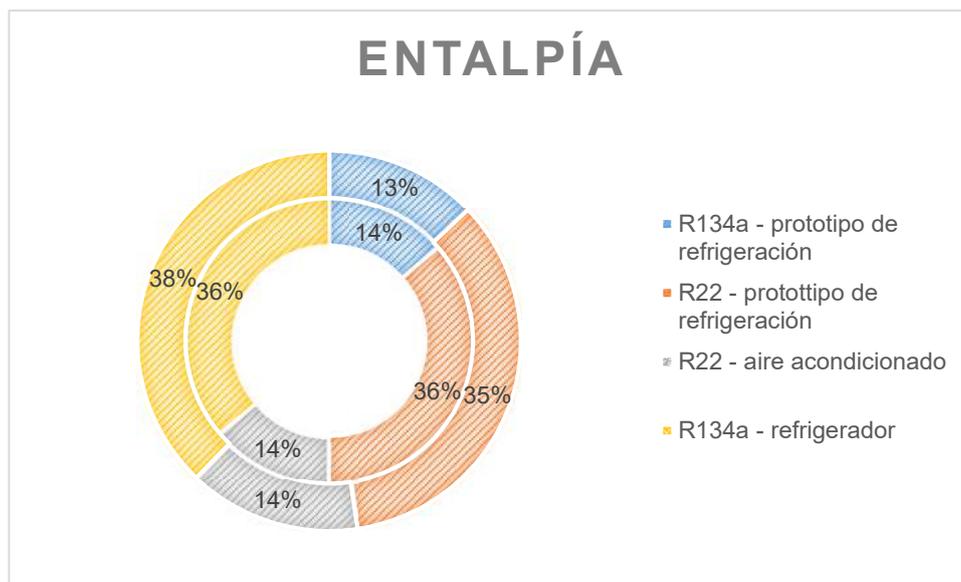
En el **grafico 5** se logra observar cómo es que la eficiencia de un fluido refrigerante puede variar de manera notable según el sistema en el que se encuentre, un ejemplo claro se puede ver en el refrigerante R134a cuando este se encuentra en el prototipo de refrigeración este logra obtener 75.52% mientras que cuando este se encuentra en el refrigerador su eficiencia es de 45.48%, esto se debe a que las funciones que cumplen ambos dispositivos son completamente diferentes y en el caso del refrigerador este utiliza mayor energía para poder cumplir con su propósito.

En los **gráficos 8 y 9** se puede visualizar dos gráficos circulares de porcentajes en donde se ve cómo es que varía la entropía y la entalpía de entrada con la de salida. El círculo interior que representa la entropía de entrada se enfoca solo en el condensador, mientras que la entropía de salida se enfoca solo en el evaporador ya que este es el componente que cierra el ciclo de refrigeración. Como se puede observar en el **grafico 8** en la mayoría de los sistemas se ha visto una pequeña variación, con excepción del prototipo de refrigeración que emplea el fluido refrigerante R134a, ya que su variación se da en un 9%, indicando así que tras el proceso de evaporación el fluido refrigerante ha perdido más energía que cuando este ha pasado por el proceso de condensación, lo cual se debe a que el proceso de adquirir calor y transformarlo en trabajo para volver a poder iniciar un nuevo ciclo requiere de mayor energía.

Grafica 8: comparación de la entropía de entrada y de salida del sistema de refrigeración del R134a y el R22, en porcentajes



Grafica 9: comparación de la entalpía de entrada y de salida del sistema de refrigeración del R134a y el R22, en porcentajes



En el **grafico 9** se puede observar cómo es que varía la entalpía de entrada en comparación de la de salida, en el grafico circular se aprecia como la entalpía de salida es menor que la entalpía de entrada en la mayoría de los casos y esto es debido a que la energía calorífica de un sistema de refrigeración es mayor cuando inicia el ciclo ya que su variación de temperatura es mínima además que su pérdida de energía también lo es; sin embargo, cuando este ciclo está culminando la entalpía disminuye dado a que se ha producido una gran variación de temperatura. **Ejemplo:** en el sistema de un prototipo de refrigeración con el fluido refrigerante R134a

Temperatura entrada ± 255.5 K	Temperatura salida ± 255.5 K
340.09	254.82

Para poder finalizar con el análisis de los datos, se afirma que la variación de la entalpía, entropía y eficiencia en los distintos sistemas de refrigeración, depende del fluido refrigerante que se utilice y del sistema en el que se encuentre ya que como se ha podido ver durante toda la investigación estas tres variables se ven alteradas por diferentes factores. La entalpía por ejemplo puede variar si es que el sistema se encuentra en un sistema en donde es propenso a recibir ráfagas de aire, ocasionando así que esta sea menor. La entropía se ve relacionado directamente a la entalpía ya que si esta crece por consecuente la entropía aumenta ya que se tiene que liberar mayor energía cuando se trata de transformar calor en alta magnitud en trabajo.

MEJORA DE LA INVESTIGACIÓN:

La presente investigación se puede mejorar a partir de una medición más precisa por medio de manómetros y sensores digitales, ya que de esta manera existirá una mayor precisión en el resultado.

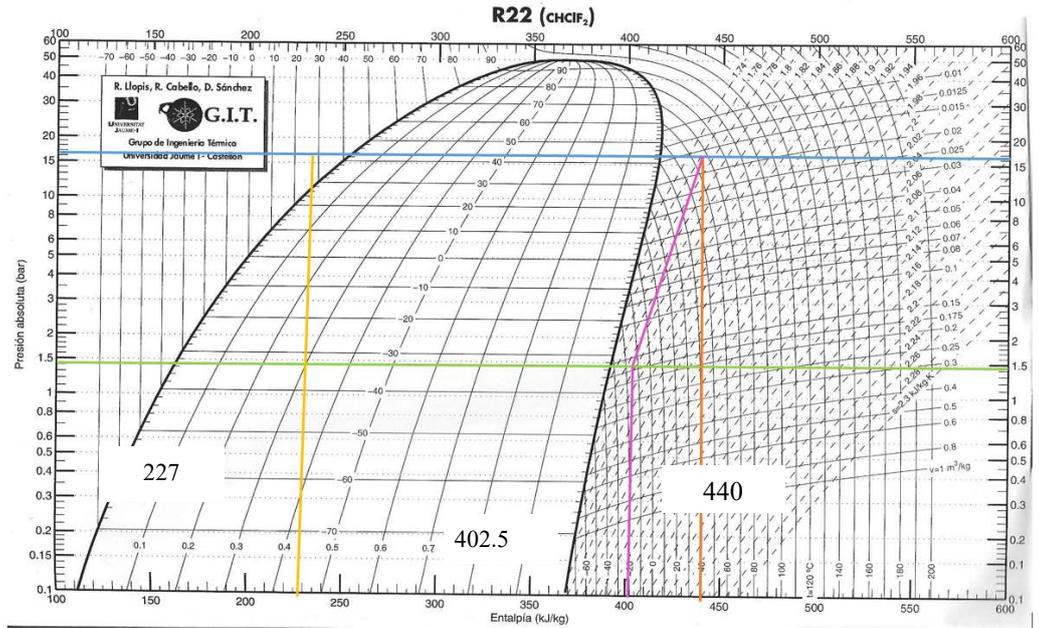
Para poder mejorar la investigación sería de gran ayuda tener a disponibilidad diferentes instrumentos de medida, ya sean digitales como análogos.

En la medición de datos se recomienda tomar un para mayor cantidad de datos ya que de esta manera el resultado será más preciso y su error será mínimo, además, se recomienda que utilice un instrumento con un menor margen de error.

Se debe de disponer de un ambiente en el cual factores como la temperatura y el viento no puedan afectar de manera radical los resultados de la investigación, un ejemplo muy claro de esto fue al momento de medir la temperatura y presión del aire acondicionado, específicamente cuando se miden las del condensador ya que este se encuentra expuesto.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ahmed B., Zubair S.M. (2011). Performance degradation of a vapour compression refrigeration system under fouled conditions. *International Journal of Refrigeration*. Vol. 34. pp. 1016-10271.
- Bahman A., Groll E. (2016). Second-law analysis to improve the energy efficiency of environmental control unit. 16th International refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 11-14 2016.
- Chandrasekharan M. (2014). Exergy analysis of vapor compression refrigeration system using R12 and R134a as refrigerants. *International Journal of Students' Research in Technology & Management*. Vol. 2 (04). pp. 134-139.
- Nawaz Md., MamoonMd., Ashar Md., Zafar A. (2015). Energy and exergy analysis of vapour compression refrigeration system with R12, R22, R134a. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* Volume 5, Issue 3 March 2015. pp. 42-59.
- Yadav P., Sharma A. (2015). Exergy analysis of R134a based vapour compression refrigeration tutor. *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. National Conference on Advances in Engineering, Technology & Management (AETM'15). pp. 73- 77.



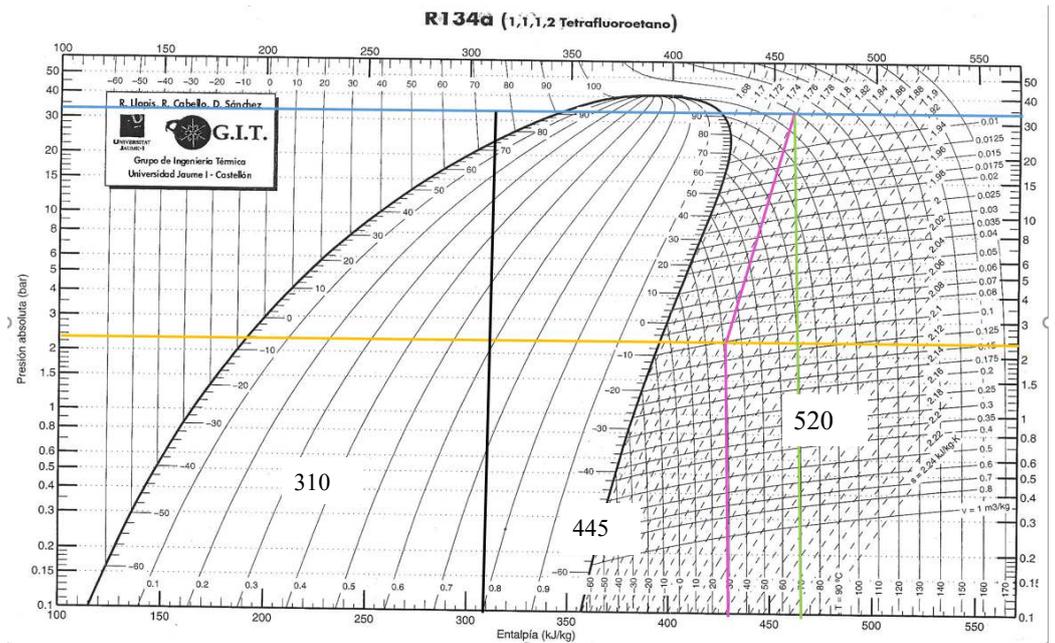
Absorción de energía:

$$402.5 - 227 = 139 \text{ KJKg}^{-1} \quad (\text{energía absorbida por el evaporador})$$

$$440 - 400 = 47 \text{ KJKg}^{-1} \quad (\text{energía absorbida por el compresor})$$

$$440 - 227 = 186 \text{ KJKg}^{-1} \quad (\text{energía absorbida por el condensador})$$

- **Refrigerante R134a – refrigeradora:**



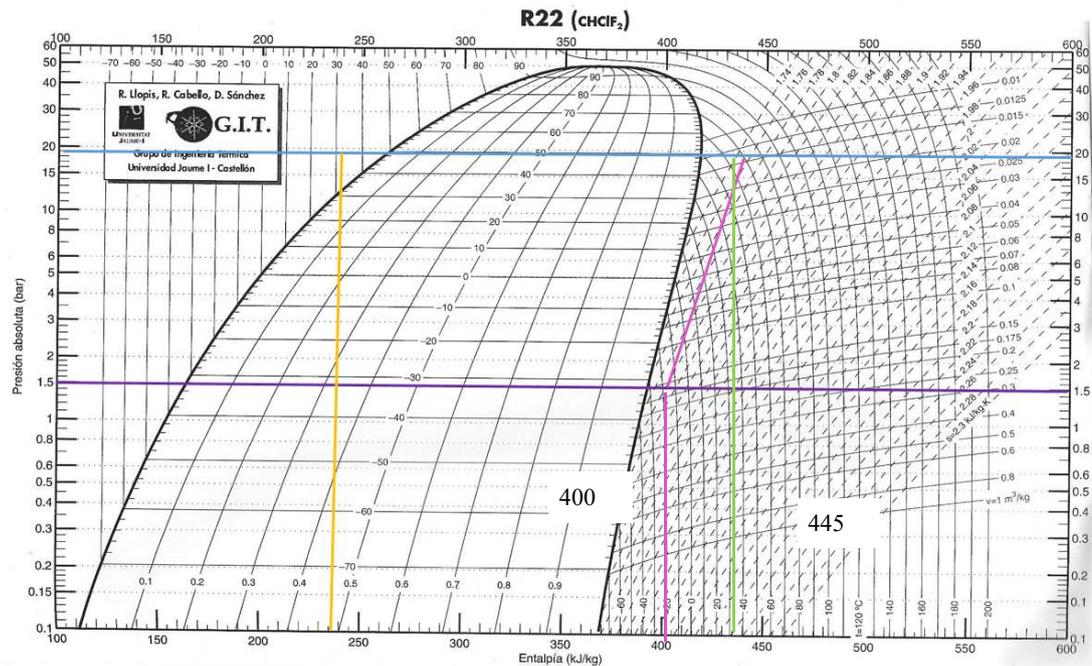
Absorción de energía:

$$445 - 310 = 135 \text{KJKg}^{-1} \quad (\text{energía absorbida por el evaporador})$$

$$520 - 445 = 75 \text{KJKg}^{-1} (\text{energía absorbida por el compresor})$$

$$440 - 227 = 213 \text{KJKg}^{-1} (\text{energía absorbida por el condensador})$$

- **Refrigerante R22 – aire acondicionado:**



Absorción de energía:

$$400 - 235 = 165 \text{KJKg}^{-1} \quad (\text{energía absorbida por el evaporador})$$

$$445 - 400 = 45 \text{KJKg}^{-1} (\text{energía absorbida por el compresor})$$

$$445 - 235 = 210 \text{KJKg}^{-1} (\text{energía absorbida por el condensador})$$