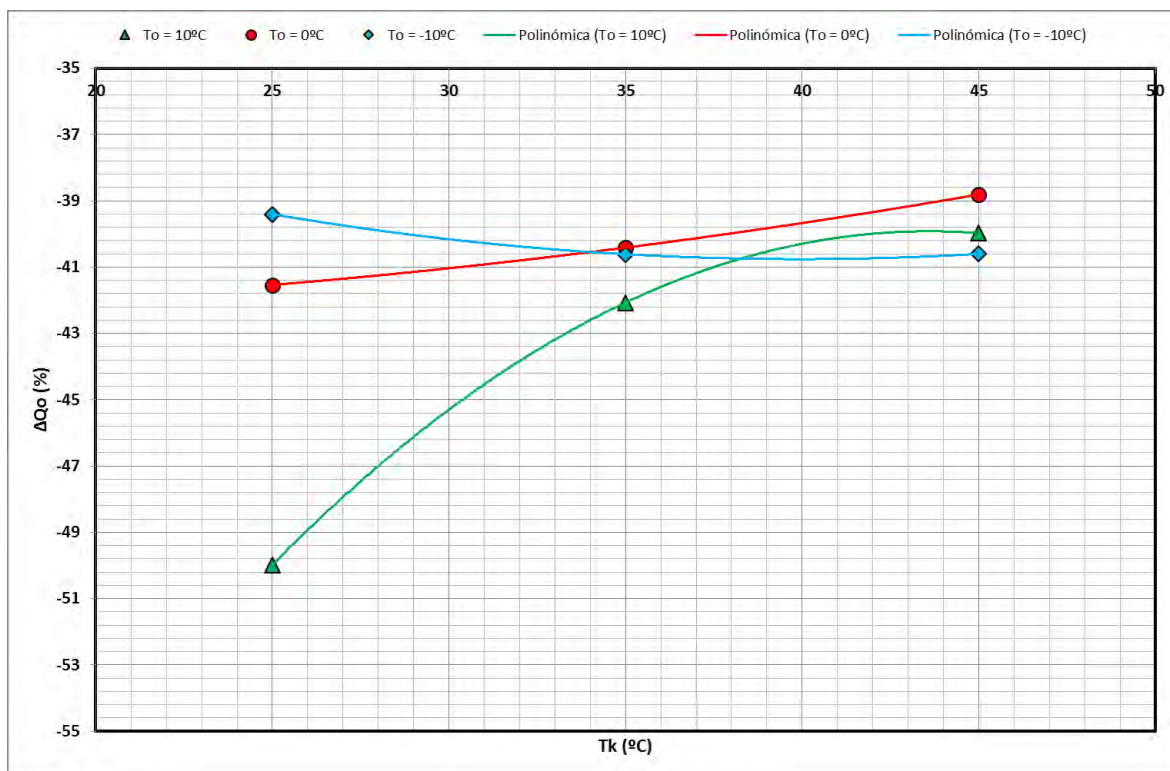


$$\Delta \dot{Q}_o (\%) = \frac{\dot{Q}_o \text{ R600a con IHX} - \dot{Q}_o \text{ R134a con IHX}}{\dot{Q}_o \text{ R134a con IHX}} \cdot 100$$



Gráfica 24. Comparativa del incremento de Qo vs. Tk del R600a vs. R134a.

La potencia frigorífica en el evaporador del R134a con IHX es siempre mayor que la del R600a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

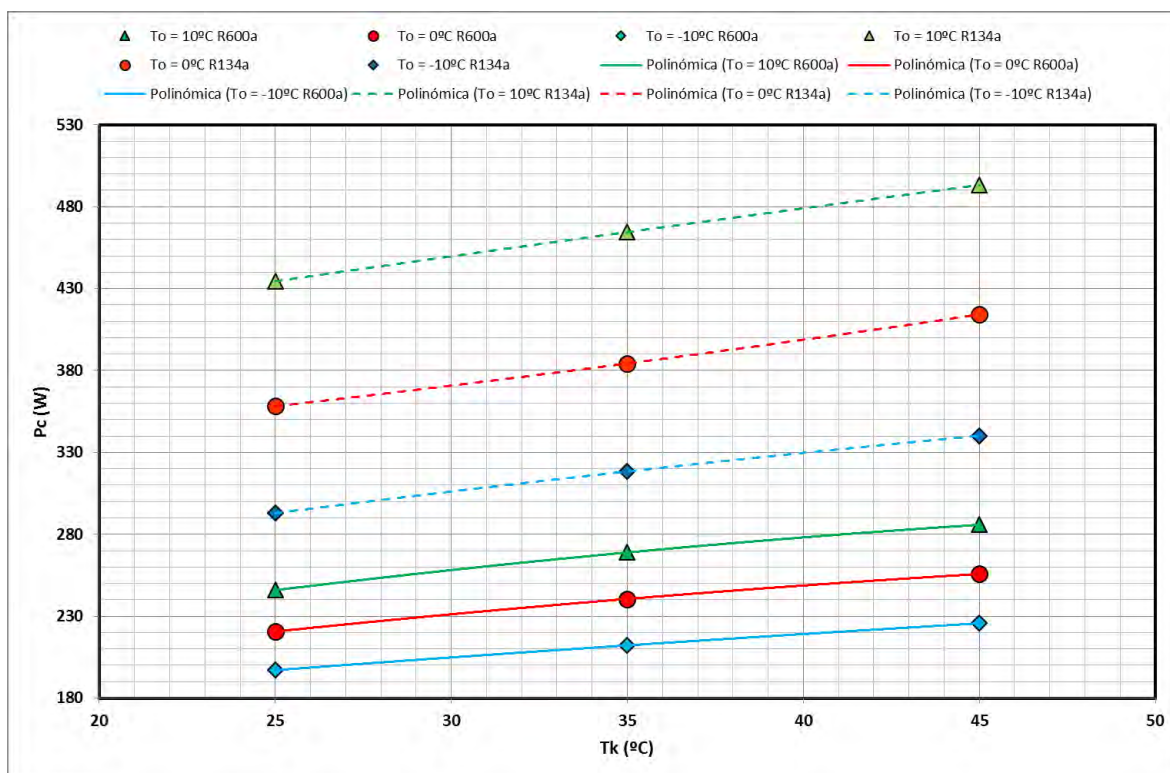
Para una temperatura de evaporación de -10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔQo (%) oscila entre un -40,61 % y un -39,4 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 0 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔQo (%) oscila entre un -41,54 % y un -38,81 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔQo (%) oscila entre un -49,99 % y un -39,98 % (valores promedio).

3.8.3. Potencia consumida por el compresor (P_c)

$$P_c = \dot{m} \cdot w_c$$



Gráfica 25. Comparativa de la P_c vs. T_k del R600a vs R134a con IHX.

Los valores de la potencia consumida por el compresor han sido representados en valor promedio para una mejor presentación de la gráfica. La línea continua representa los valores de potencia consumida por el compresor del R600a con IHX, mientras que la línea discontinua representa los valores de potencia consumida por el compresor del R134a con IHX.

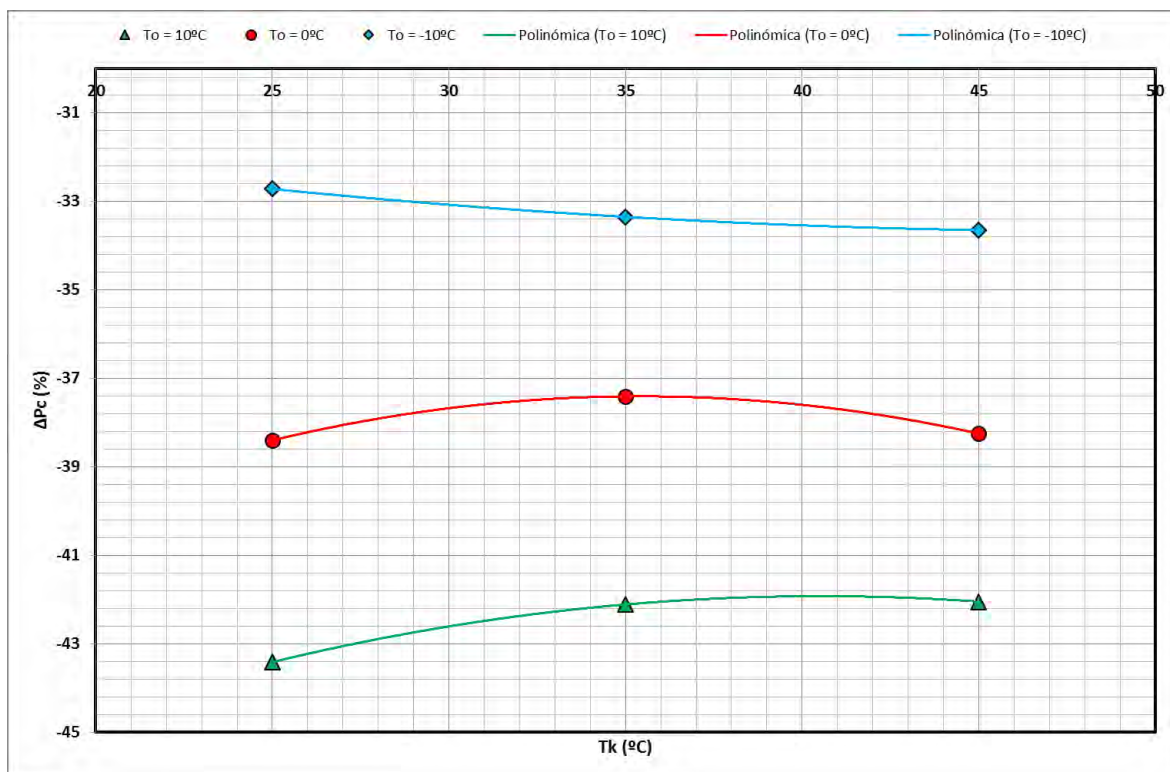
La potencia consumida por el compresor en del R134a con IHX es siempre mayor que la del R600a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

Para una temperatura de evaporación de -10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, la potencia consumida por el compresor del R600a con IHX oscila entre 197 W y 225 W, mientras que la potencia consumida por el compresor del R134a con IHX oscila entre 292 W y 340 W (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 0 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, la potencia consumida por el compresor del R600a con IHX oscila entre 220 W y 255 W, mientras que la potencia consumida por el compresor del R134a con IHX oscila entre 358 W y 414 W (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, la potencia consumida por el compresor del R600a con IHX oscila entre 245 W y 285 W, mientras que la potencia consumida por el compresor del R134a con IHX oscila entre 434 W y 493 W (valores promedio).

$$\Delta P_c (\%) = \frac{P_c \text{ R600a con IHX} - P_c \text{ R134a con IHX}}{P_c \text{ R134a con IHX}} \cdot 100$$



Gráfica 26. Comparativa del incremento de Pc vs. Tk del R600a vs. R134a con IHX.

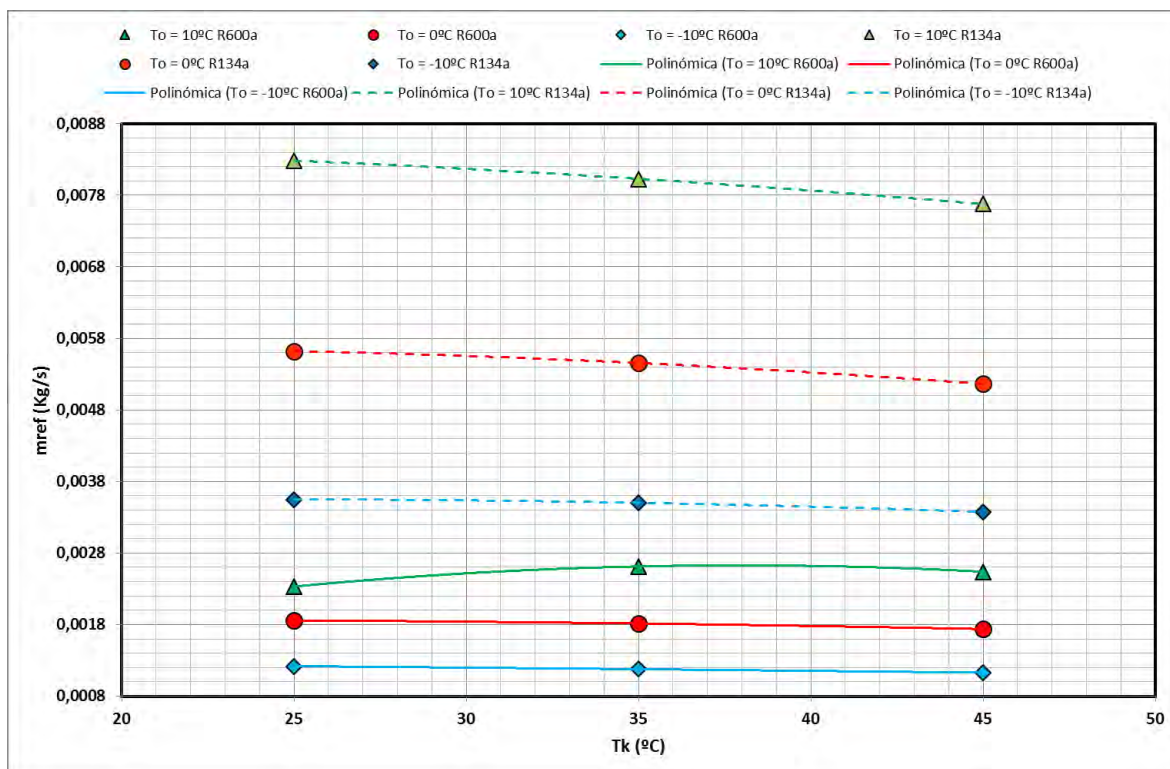
La potencia consumida por el compresor del R134a con IHX es siempre mayor que la del R600a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

Para una temperatura de evaporación de -10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔPc (%) oscila entre un -33,66 % y un -32,73 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 0 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔPc (%) oscila entre un -38,41 % y un -37,41 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔPc (%) oscila entre un -43,41 % y un -42,05 % (valores promedio).

3.8.4. Flujo másico de refrigerante (\dot{m}_{ref})



Gráfica 27. Comparativa del \dot{m}_{ref} vs. T_k del R600a vs. R134a con IHX.

Los valores del flujo másico de refrigerante han sido representados en valor promedio para una mejor presentación de la gráfica. La línea continua representa los valores del flujo másico de refrigerante del R600a con IHX, mientras que la línea discontinua representa los valores del flujo másico de refrigerante del R134a con IHX.

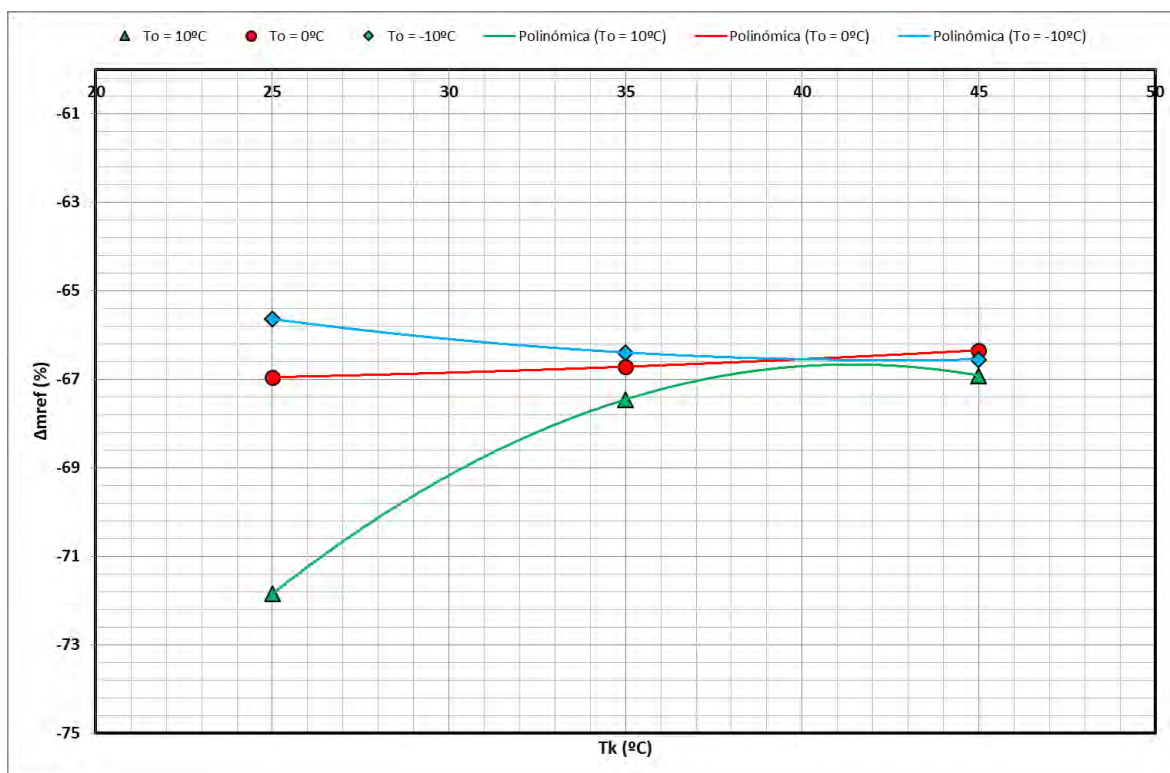
El flujo másico de refrigerante del R134a es siempre mayor que el del R600a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

Para una temperatura de evaporación de -10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el flujo másico de refrigerante del R600a con IHX oscila entre 0,00113 Kg/s y 0,00122 Kg/s, mientras que el flujo másico de refrigerante del R134a con IHX oscila entre 0,00337 Kg/s y 0,00355 Kg/s (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 0 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el flujo másico de refrigerante del R600a con IHX oscila entre 0,00174 Kg/s y 0,00186 Kg/s, mientras que el flujo másico de refrigerante del R134a con IHX oscila entre 0,00516 Kg/s y 0,00562 Kg/s (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el flujo másico de refrigerante del R600a con IHX oscila entre 0,00233 Kg/s y 0,00261 Kg/s, mientras que el flujo másico de refrigerante del R134a con IHX oscila entre 0,00768 Kg/s y 0,00828 Kg/s (valores promedio).

$$\Delta \dot{m}_{ref} (\%) = \frac{\dot{m}_{ref} R600a \text{ con IHX} - \dot{m}_{ref} R134a \text{ con IHX}}{\dot{m}_{ref} R134a \text{ con IHX}} \cdot 100$$



Gráfica 28. Comparativa del incremento de mref vs. Tk del R600a vs. R134a con IHX.

El flujo másico del R134a con IHX es siempre mayor que el del R600a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

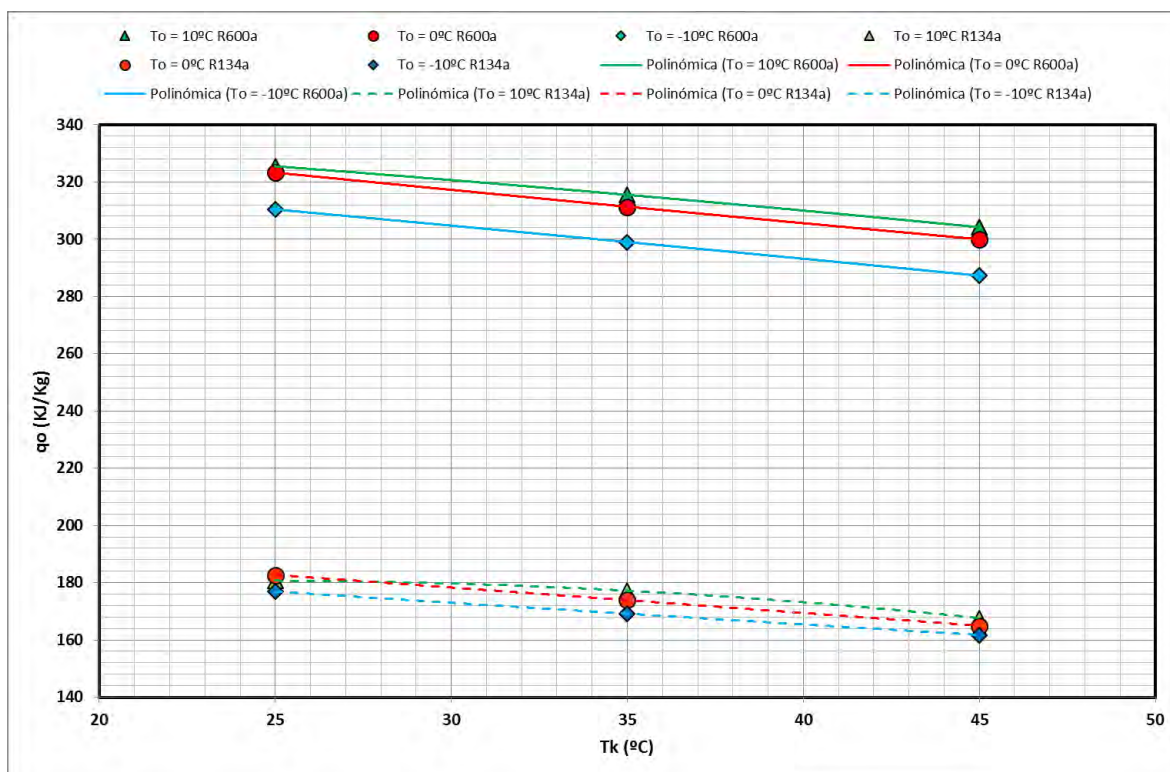
Para una temperatura de evaporación de -10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el Δmref (%) oscila entre un -66,56 % y un -65,64 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 0 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el Δmref (%) oscila entre un -66,96 % y un -66,35 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el Δmref (%) oscila entre un -71,85 % y un -66,92 % (valores promedio).

3.8.5. Salto entálpico en el evaporador (q_o)

$$q_o = h_{evap,out} - h_{evap,in}$$



Gráfica 29. Comparativa del q_o vs. T_k del R600a vs. R134a con IHX.

Los valores del salto entálpico en el evaporador han sido representados en valor promedio para una mejor presentación de la gráfica. La línea continua representa los valores del salto entálpico del R600a con IHX, mientras que la línea discontinua representa los valores del salto entálpico del R134a con IHX.

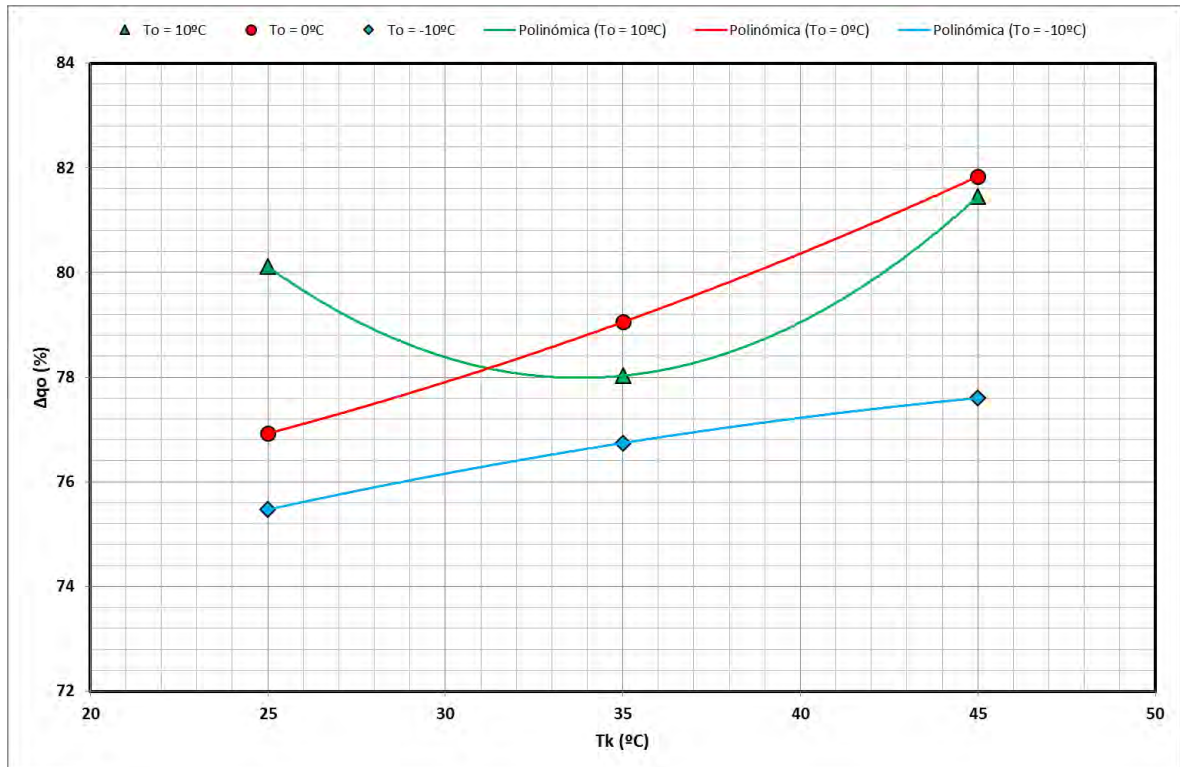
El salto entálpico en el evaporador del R600a con IHX es siempre mayor que el del R134a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

Para una temperatura de evaporación de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, el salto entálpico en el evaporador del R600a con IHX oscila entre 287 KJ/Kg y 310 KJ/Kg , mientras que el salto entálpico en el evaporador del R134a con IHX oscila entre 162 KJ/Kg y 176 KJ/Kg (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, el salto entálpico en el evaporador del R600a con IHX oscila entre 300 KJ/Kg y 323 KJ/Kg , mientras que el salto entálpico en el evaporador del R134a con IHX oscila entre 165 KJ/Kg y 183 KJ/Kg (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, el salto entálpico en el evaporador del R600a con IHX oscila entre 304 KJ/Kg y 325 KJ/Kg , mientras que el salto entálpico en el evaporador del R134a con IHX oscila entre 168 KJ/Kg y 180 KJ/Kg (valores promedio).

$$\Delta q_o (\%) = \frac{q_o \text{ R600a con IHX} - q_o \text{ R134a con IHX}}{q_o \text{ R134a con IHX}} \cdot 100$$



Gráfica 30. Comparativa del incremento de q_o vs. T_k del R600a vs. R134a con IHX.

El salto entálpico en el evaporador del R600a con IHX es siempre mayor que el del R134a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

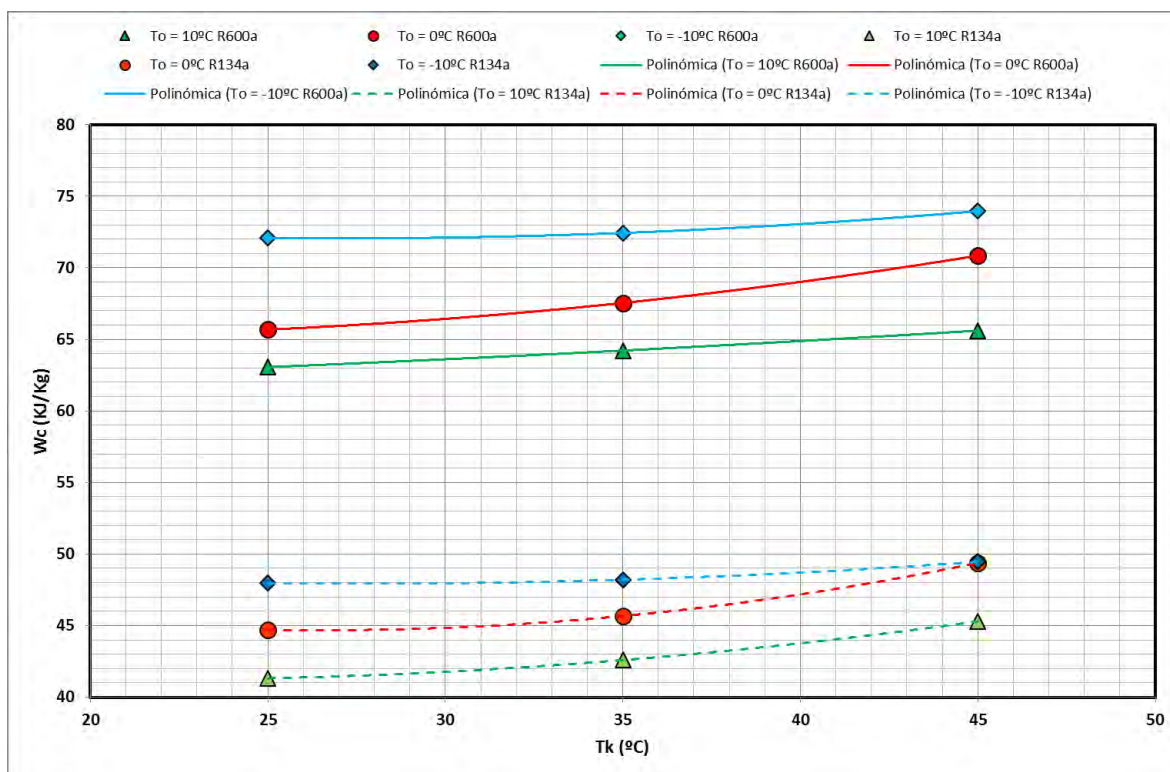
Para una temperatura de evaporación de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, el Δq_o (%) oscila entre un $75,47\%$ y un $77,6\%$ (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, el Δq_o (%) oscila entre un $76,92\%$ y un $81,83\%$ (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, el Δq_o (%) oscila entre un $78,03\%$ y un $81,45\%$ (valores promedio).

3.8.6. Salto entálpico en el compresor (w_c)

$$w_c = h_{comp,out} - h_{comp,in}$$



Gráfica 31. Comparativa del w_c vs. T_k del R600a vs. R134a con IHX.

Los valores del salto entálpico en el compresor han sido representados en valor promedio para una mejor presentación de la gráfica. La línea continua representa los valores del salto entálpico del R600a con IHX, mientras que la línea discontinua representa los valores del salto entálpico del R134a con IHX.

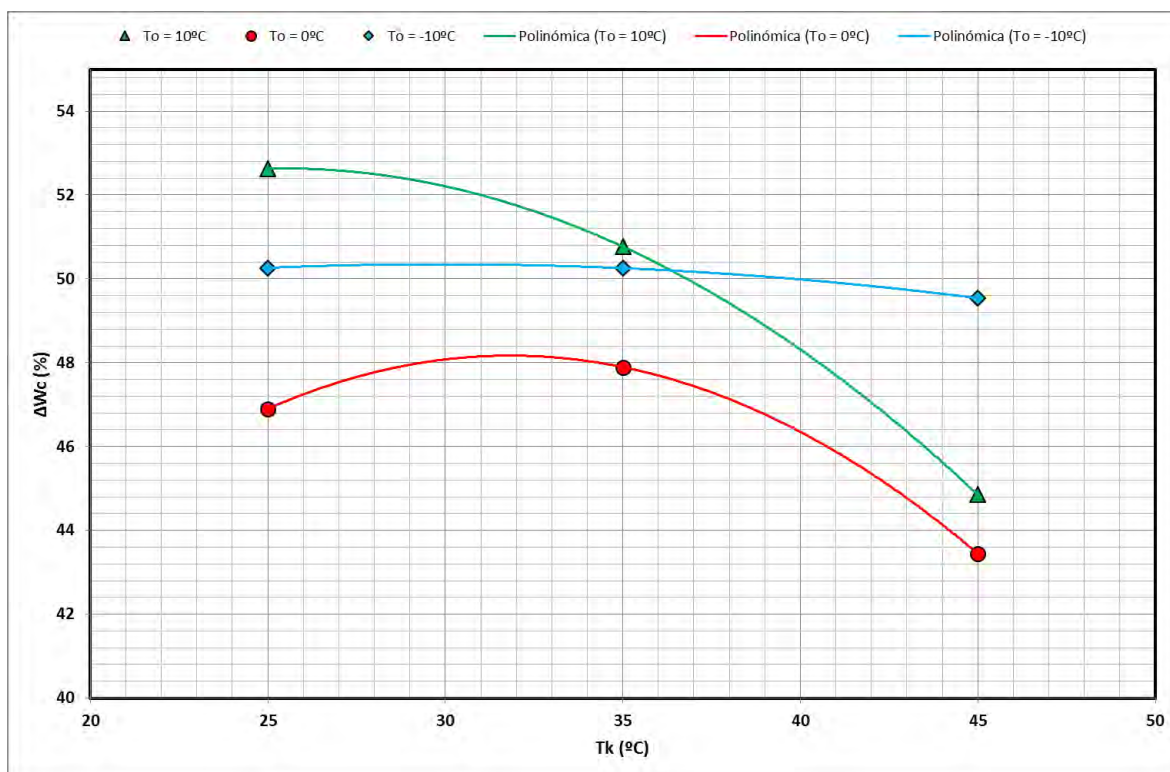
El salto entálpico en el compresor del R600a con IHX es siempre mayor que el del R134a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

Para una temperatura de evaporación de -10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C , el salto entálpico en el compresor del R600a con IHX oscila entre 72 KJ/Kg y 74 KJ/Kg , mientras que el salto entálpico en el compresor del R134a con IHX oscila entre 49 KJ/Kg y 47 KJ/Kg (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 0 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C , el salto entálpico en el compresor del R600a con IHX oscila entre 65 KJ/Kg y 70 KJ/Kg , mientras que el salto entálpico en el compresor del R134a con IHX oscila entre 44 KJ/Kg y 49 KJ/Kg (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C , el salto entálpico en el compresor del R600a con IHX oscila entre 63 KJ/Kg y 65 KJ/Kg , mientras que el salto entálpico en el compresor del R134a con IHX oscila entre 41 KJ/Kg y 45 KJ/Kg (valores promedio).

$$\Delta w_c (\%) = \frac{W_c \text{ R600a con IHX} - W_c \text{ R134a con IHX}}{W_c \text{ R134a con IHX}} \cdot 100$$



Gráfica 32. Comparativa del incremento de Wc vs. Tk del R600a vs. R134a con IHX.

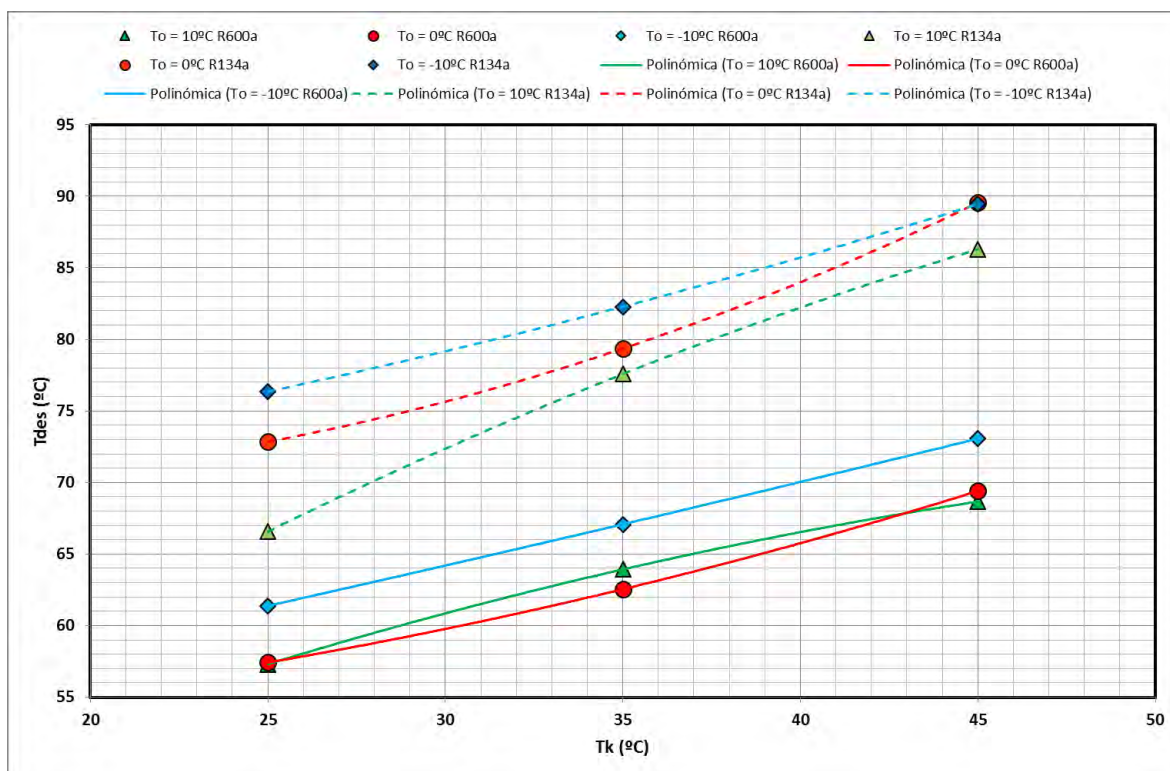
El salto entálpico en el compresor del R600a con IHX es siempre mayor que el del R134a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

Para una temperatura de evaporación de -10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el Δw_c (%) oscila entre un 49,54 % y un 50,26 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 0 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el Δw_c (%) oscila entre un 43,45 % y un 47,89 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el Δw_c (%) oscila entre un 44,85 % y un 52,63 % (valores promedio).

3.8.7. Temperatura de descarga del compresor (T_{des})



Gráfica 33. Comparativa de la T_{des} vs. T_k del R600a vs. R134a con IHX.

Los valores de la temperatura de descarga del compresor han sido representados en valor promedio para una mejor presentación de la gráfica. La línea continua representa los valores de la temperatura de descarga del R600a con IHX, mientras que la línea discontinua representa los valores de la temperatura de descarga del R134a con IHX.

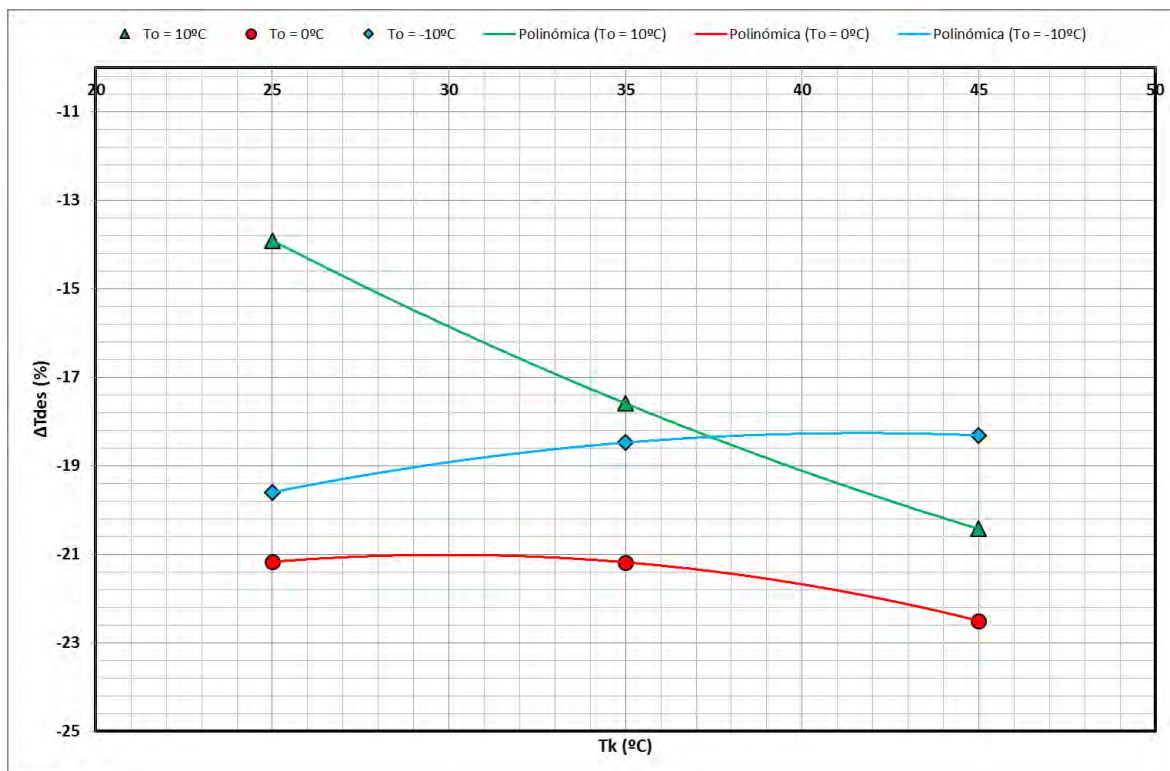
La temperatura de descarga del compresor del R134a con IHX es siempre mayor que el del R600a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

Para una temperatura de evaporación de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura de descarga del compresor del R600a con IHX oscila entre $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $73\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la temperatura de descarga del compresor del R134a con IHX oscila entre $76\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $89\text{ }^{\circ}\text{C}$ (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura de descarga del compresor del R600a con IHX oscila entre $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $69\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la temperatura de descarga del compresor del R134a con IHX oscila entre $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $89\text{ }^{\circ}\text{C}$ (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango de temperaturas de condensación entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura de descarga del compresor del R600a con IHX oscila entre $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $68\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la temperatura de descarga del compresor del R134a con IHX oscila entre $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $86\text{ }^{\circ}\text{C}$ (valores promedio).

$$\Delta T_{des} (\%) = \frac{T_{des R600a con IHX} - T_{des R134a con IHX}}{T_{des R134a con IHX}} \cdot 100$$



Gráfica 34. Comparativa del incremento de la Tdes vs. Tk del R600a vs. R134a con IHX.

La temperatura de descarga del compresor del R134a con IHX es siempre mayor que la del R600a con IHX, para todas las temperaturas de condensación.

Para una temperatura de evaporación de -10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔTdes (%) oscila entre un -19,6 % y un -18,32 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 0 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔTdes (%) oscila entre un -22,5 % y un -21,17 % (valores promedio).

Para una temperatura de evaporación de 10 °C y un rango de temperaturas de condensación entre 25 °C y 45 °C, el ΔTdes (%) oscila entre un -20,43 % y un -13,92 % (valores promedio).

3.9. Parámetro TEWI

La tendencia global para medir el impacto de un fluido refrigerante en la atmósfera es la adopción de un nuevo concepto, llamado TEWI – sigla en inglés para Total Equivalente del Impacto en el Calentamiento -, en reemplazo al GWP (Potencial de Calentamiento Global) que estaba siendo utilizado hasta ahora. El TEWI es medido por la masa del total equivalente de CO₂ resultante de la suma del impacto directo generado por un escape de fluido refrigerante en el sistema, y también del impacto indirecto generado por el CO₂ emitido en la producción de energía eléctrica necesaria para alimentar equipos.

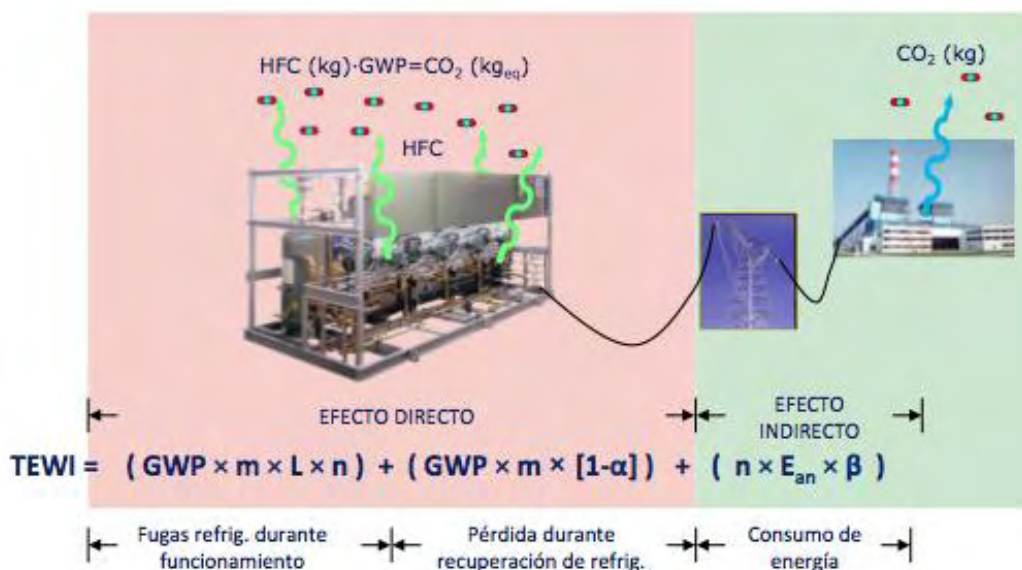


Ilustración 49. Parámetro TEWI.

Donde:

GWP = Global Warming Potential.

L = Ratio anual de fugas.

n = Vida operativa de la instalación (años).

m = Carga de refrigerante (Kg).

α = Factor de recuperación / reciclaje (0 – 1).

E_{an} = Consumo anual de energía eléctrica (KWh).

β = Factor de emisiones de CO₂ en generación eléctrica (Kg CO₂ / KWh).

En la siguiente tabla se muestra el análisis teórico del parámetro TEWI. Para la realización de los cálculos se han tomado las siguientes variables:

	TEWI	TEWI (Directo)	TEWI (Indirecto)	GWP	m	L	n	α	E an	β
Refrigerante	(ton CO2 equ)	(ton CO2 equ)	(ton CO2 equ)	(-)	(Kg)	(%)	(años)	(-)	(KWh)	(Kg CO2/KWh)
R134a	12,1	2,3	9,8	1430	1,226	0,05	20	0,5	2034,5	0,241
R600a	5,678	0,003	5,675	3	0,234	0,05	20	0,5	1177,3	0,241

Tabla 31. Cálculos del parámetro TEWI.

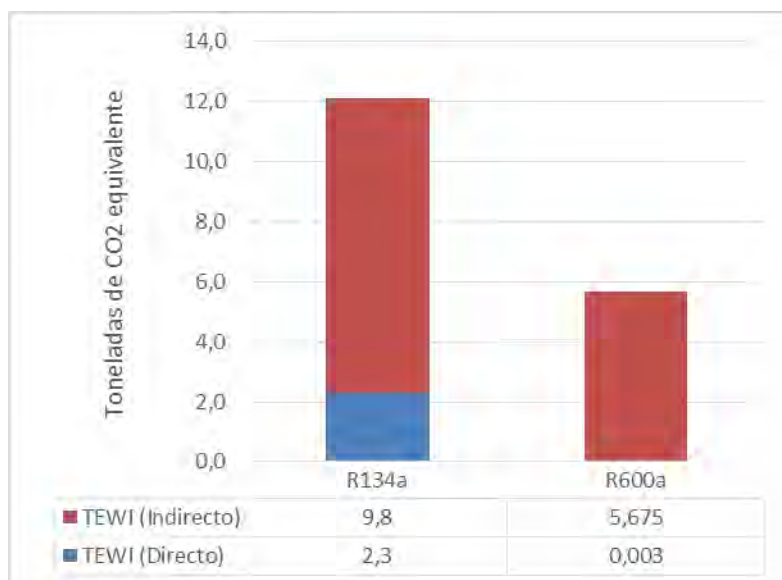
- **GWP:** 1430 para el R134a y 3 para el R600a.
- **m (Kg):** carga de refrigerante de 1,226 Kg para el R134a y 0,234 Kg para el R600a.
- **L (%):** la tasa de fugas puede oscilar entre un 0,05 y un 0,23.
- **n (años):** se ha supuesto una vida útil de la instalación de 20 años.
- **α :** la tasa de recuperación puede oscilar entre 0 y 1.
- **E an (KWh):** Para una temperatura de condensación de 35 °C y una temperatura de evaporación de 10 °C, el COP real de la instalación del R134a es similar al del R600a. La potencia consumida por el compresor del R134a es de 464,51 W, mientras que la del R600a es de 268,8 W.

R134a: E an = 0,46451 KW x 12 h x 365 días = 2034,5 KWh/año

R600a: E an = 0,2688 KW x 12 h x 365 días = 1177,3 KWh/año

- **β (Kg CO2/KWh):** aunque cada país presenta un factor diferente de emisiones, se han realizado los cálculos para el factor de emisiones indirecto de España de 0,241 Kg CO2/KWh (García Monzón, 2013).

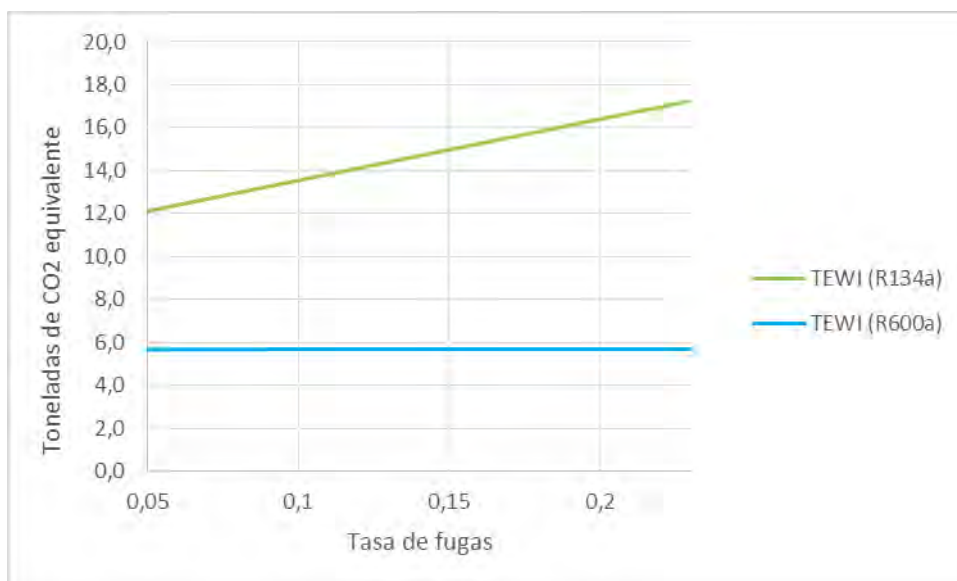
La siguiente gráfica muestra las toneladas de CO2 equivalente para cada refrigerante, mostrando el TEWI directo e indirecto:



Gráfica 35. Comparativa del parámetro TEWI del R600a vs. R134a.

El TEWI directo del R134a es mucho mayor que el del R600a, ya que el GWP o PCA también lo es. Por otro lado, el TEWI indirecto del R134a es mayor que el del R600a, ya que la potencia consumida por el compresor también lo es.

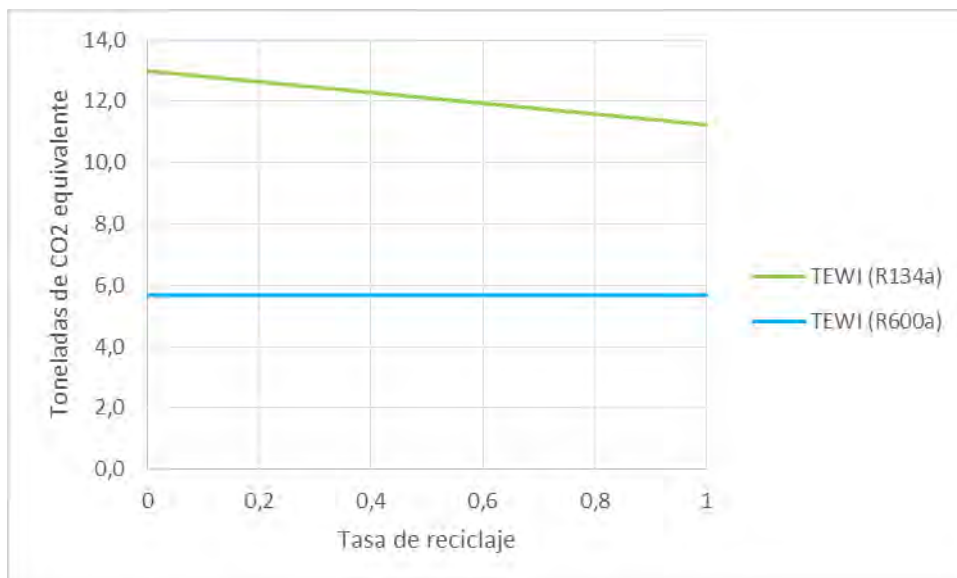
La siguiente gráfica muestra las toneladas de CO₂ equivalente para cada refrigerante, manteniendo constante la tasa de reciclaje en 0,5, y variando la tasa de fugas entre 0,05 y 0,23:



Gráfica 36. Comparativa de las toneladas de CO₂ equivalente vs. Tasa de fugas del R600a vs R134a.

A medida que aumenta la tasa de fugas, para el R134a aumentan las toneladas de CO₂ equivalente, mientras que para el R600a se mantienen constantes.

La siguiente gráfica muestra las toneladas de CO₂ equivalente para cada refrigerante, manteniendo constante la tasa de fugas en 0,05, y variando la tasa de reciclaje entre 0 y 1:



Gráfica 37. Comparativa de las toneladas de CO₂ equivalente vs. Tasa de reciclaje del R600a vs R134a.

A medida que aumenta la tasa de reciclaje, para el R134a disminuyen las toneladas de CO₂ equivalente, mientras que para el R600a se mantienen constantes.

3.10. Conclusiones

3.10.1. Conclusiones de la comparativa experimental del R600a con vs. sin IHX

A continuación, se muestra una tabla comparativa del R600a con vs sin IHX. Esta tabla muestra el incremento de valores en tanto por ciento.

	Tk	Δ COP FRÍO	Δ Qo	Δ Pc	Δ mref_med	Δ Wc	Δ qo	Δ Tdesc compresor
	(°C)	Refrigerante (%)	Refrigerante (%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
EST 01 Tk: 25 °C To: 10 °C	25	-11,48	-12,96	-0,31	-11,94	-1,70	0,21	0,96
EST 02 Tk: 35 °C To: 10 °C	35	-1,72	-0,82	0,92	-1,94	-0,77	1,14	6,24
EST 03 Tk: 45 °C To: 10 °C	45	2,11	1,86	-0,25	-2,28	-6,53	4,24	5,83
EST 04 Tk: 25 °C To: 0 °C	25	1,38	0,76	-0,62	-1,17	-7,19	1,95	2,59
EST 05 Tk: 35 °C To: 0 °C	35	7,27	5,89	-1,29	-0,30	-13,79	6,20	1,10
EST 06 Tk: 45 °C To: 0 °C	45	8,29	5,74	-2,36	-2,22	-11,88	8,14	5,59
EST 07 Tk: 25 °C To: -10 °C	25	2,40	2,23	-0,94	-1,29	-10,64	2,77	3,80
EST 08 Tk: 35 °C To: -10 °C	35	6,63	5,59	-0,98	-0,26	-15,28	5,86	5,34
EST 09 Tk: 45 °C To: -10 °C	45	9,33	10,24	0,83	0,38	-16,51	9,83	6,71

Tabla 37. Comparativa experimental del R600a con vs. sin IHX (%).

- **COP**

El COP del R600a es mayor con IHX para todos los estacionarios con una temperatura de evaporación inferior a 0 °C. Sin embargo, para una temperatura de evaporación igual a 10 °C y unas temperaturas de condensación de 25 y 35 °C, el COP del R600a con IHX es menor.

- **Potencia frigorífica**

La potencia frigorífica del R600a es mayor con IHX para todos los estacionarios con una temperatura de evaporación inferior a 0 °C. Sin embargo, para una temperatura de evaporación igual a 10 °C y unas temperaturas de condensación de 25 y 35 °C, la potencia frigorífica del R600a con IHX es menor.

- **Potencia consumida por el compresor**

La potencia consumida por el compresor del R600a con IHX es menor para todos los estacionarios menos para unas temperaturas de evaporación de -10 y 10 °C y unas temperaturas de condensación de 45 y 35 °C, respectivamente.

- **Caudal másico de refrigerante**

El caudal másico de refrigerante del R600a con IHX es menor para todos los estacionarios menos para una temperatura de evaporación de -10 °C y una temperatura de condensación de 45 °C.

- **Salto entálpico en el compresor**

El salto entálpico en el compresor del R600a con IHX es siempre menor para todos los estacionarios ensayados. Esto significa que para un mismo caudal másico de refrigerante, la potencia consumida por el compresor va a ser menor, como ya se ha demostrado.

- **Salto entálpico en el evaporador**

El salto entálpico en el evaporador del R600a con IHX es siempre mayor para todos los estacionarios ensayados. Esto significa que para un mismo caudal másico de refrigerante, la potencia frigorífica en el evaporador va a ser mayor, como ya se ha demostrado.

- **Temperatura de descarga en el compresor**

La temperatura de descarga en el compresor del R600a con IHX es siempre mayor para todos los estacionarios ensayados. Esto es debido a que el IHX produce un recalentamiento a la salida del evaporador, que produce una temperatura de entrada en el compresor mayor que sin él, y por tanto, la temperatura de descarga también lo será.

Ventajas del IHX:

1. Se consigue mejorar el COP, es decir, la eficiencia energética de la instalación.
2. Se consigue producir mayor potencia frigorífica.
3. Se consigue disminuir la potencia consumida por el compresor.
4. Se consigue reducir el caudal másico de refrigerante.
5. Se produce un menor salto entálpico en el compresor.
6. Se produce un mayor salto entálpico en el evaporador.

Inconvenientes del IHX:

1. Se requiere una inversión inicial.
2. Se producen mayores temperaturas de descarga en el compresor.

Por lo tanto, es aconsejable la instalación de un intercambiador de calor intermedio (IHX).

3.10.2. Conclusiones de la comparativa experimental del R600a vs. R134a con IHX

A continuación, se muestra una tabla comparativa del R600a vs R134a con IHX. Esta tabla muestra el incremento de valores en tanto por ciento.

	Tk	Δ COP FRÍO	Δ Qo	Pc	mref_med	Wc	qo	Tdesc compresor
	(°C)	Refrigerante (%)	Refrigerante (%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
EST 01 Tk: 25 °C To: 10 °C	25	-10,41	-49,99	-43,41	-71,85	52,63	80,11	-13,92
EST 02 Tk: 35 °C To: 10 °C	35	0,08	-42,07	-42,11	-67,46	50,77	78,03	-17,59
EST 03 Tk: 45 °C To: 10 °C	45	3,58	-39,98	-42,05	-66,92	44,85	81,45	-20,43
EST 04 Tk: 25 °C To: 0 °C	25	-5,09	-41,54	-38,41	-66,96	46,90	76,92	-21,17
EST 05 Tk: 35 °C To: 0 °C	35	-4,79	-40,41	-37,41	-66,72	47,89	79,05	-21,19
EST 06 Tk: 45 °C To: 0 °C	45	-0,90	-38,81	-38,25	-66,35	43,45	81,83	-22,50
EST 07 Tk: 25 °C To: -10 °C	25	-10,39	-39,40	-32,73	-65,64	50,26	75,47	-19,60
EST 08 Tk: 35 °C To: -10 °C	35	-10,88	-40,61	-33,36	-66,40	50,25	76,74	-18,48
EST 09 Tk: 45 °C To: -10 °C	45	-10,47	-40,60	-33,66	-66,56	49,54	77,60	-18,32

Tabla 39. Comparativa experimental del R600a vs. R134a con IHX (%).

- **COP**

El COP del R600a es menor para todos los estacionarios ensayados, excepto para los que tienen una temperatura de condensación entre 35 y 45 °C y una temperatura de evaporación de 10 °C.

- **Potencia frigorífica**

La potencia frigorífica del R600a es un 40 o 50 % menor a la del R134a. El salto entálpico en el evaporador para el R600a es mayor que para el R134a, pero como el caudal másico de refrigerante del R600a es mucho menor al del R134a, la potencia frigorífica del R600a es menor a la del R134a para una misma instalación.

- **Potencia consumida por el compresor**

La potencia consumida por el compresor del R600a es un 30 o 40 % menor a la del R134a. El salto entálpico en el compresor del R600a es mayor que para el R134a, pero como el caudal másico de refrigerante del R600a es mucho menor al del R134a, la potencia consumida por el compresor del R600a es menor a la del R134a para una misma instalación.

- **Caudal másico de refrigerante**

El caudal másico de refrigerante del R600a es un 60 o 70 % menor al del R134a. Esto es debido a que el R600a tiene menor carga de refrigerante y su volumen específico es el doble al del R134a.

- **Salto entálpico en el compresor**

El salto entálpico en el compresor del R600a es un 40 o 50 % mayor al del R134a. Esto es debido a que la curva isoentrópica del R134a es más inclinada que la del R600a, por lo tanto, el salto entálpico del R600a es mayor.

- **Salto entálpico en el evaporador**

El salto entálpico en el evaporador del R600a es un 70 o 80 % mayor al del R134a. Esto es debido a que la λ del R600a es mucho mayor a la del R134a, por lo tanto, para un mismo rango de temperaturas, el salto entálpico en el evaporador del R600a será siempre mayor al del R134a.

- **Temperatura de descarga en el compresor**

La temperatura de descarga en el compresor del R134a es un 10 o 20 % mayor a la del R600a. Esto es debido a que el R134a trabaja en un rango de presiones mayor al R600a. Trabajar a mayores presiones y temperaturas perjudica la vida útil y el rendimiento del compresor.

Ventajas del R600a vs. R134a

1. Se consigue disminuir la potencia consumida por el compresor.
2. Se consigue reducir el caudal másico de refrigerante.
3. Se produce un mayor salto entálpico en el evaporador.
4. Se producen menores temperaturas de descarga en el compresor.
5. No tiene ningún impuesto sobre gases fluorados de efecto invernadero.
6. El precio/Kg del R600a es menor al R134a.

Inconvenientes del R600a vs. R134a

1. No se consigue mejorar el COP, es decir, la eficiencia energética de la instalación.
2. No se consigue producir mayor potencia frigorífica.
3. Se produce un mayor salto entálpico en el compresor.
4. El R600a es un producto inflamable.

Para una misma instalación, la eficiencia energética de la instalación es mayor para el refrigerante R134a. Por lo tanto, desde el punto de vista energético, no se debe realizar una sustitución directa de refrigerante R600a sobre una instalación que contenga R134a. Pero sin embargo, si se rediseña la instalación para optimizar el correcto funcionamiento del R600a, se puede afirmar que tanto en los análisis teóricos, como en los experimentales, el R600a tiene mejores propiedades que el R134a, tiene un impacto ambiental directo casi nulo, su precio de adquisición es menor, y además, no tiene ningún impuesto sobre gases fluorados de efecto invernadero.

3.11. Bibliografía

- **Reglamento (UE) nº 517/2014** del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de Abril de 2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el reglamento (CE) nº 842/2006.
- **REFPROP** (Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties). NIST Standard Reference Database 23, Version 9.1. DLL version 9,1. E.W.Lemmon, M.L.Huber and M.O.McLinden. Applied Chemicals and Materials Division Copyright 2013 by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America.
- **CoolPack**, Version 1,50. IPU & Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark. Copyright 2000 – 2012.
- **GAS - SERVEI, SA** (Especialistas en gases refrigerantes y productos para A/A y refrigeración).
- **Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012** by THE AUSTRALIAN INSTITUTE OF REFRIGERATION, AIR CONDITIONING AND HEATING.
- **Libro de actas** del XIII CONGRESO IBERO – AMERICANO DE CLIMATIZACIÓN Y REFRIGERACIÓN del **CIAR 2015**, celebrado en Madrid del 28 al 30 de Abril.
- **CLIMATE CHANGE 2013, The Physical Science Basis** by IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).
- **Safety Standard for Refrigeration Systems** by ANSI/ASHRAE Standard 15 – 2013.
- **Designation and Safety Classification of Refrigerants** by ANSI/ASHRAE Standard 34 - 2013.
- **Refrigerant Report 18** by BITZER.
- **Aplicación práctica del refrigerante R600a isobutano en sistemas refrigerados domésticos** por Danfoss.
- **Pekomark** (Expertos en distribución de componentes para la industria frigorífica y de acondicionamiento de aire).

4. Anexos

En los anexos se muestran las tablas de los resultados obtenidos en los ensayos de los refrigerantes R134a y R600a, tanto con IHX como sin él.

Además, se muestran las tablas comparativas del R600a con vs. sin IHX y las tablas comparativas del R600a vs. R134a con IHX.

Por último, se ha realizado una tabla que muestra el presupuesto del proyecto realizado. En el presupuesto se han detallado tanto los materiales comprados para la sustitución de la válvula de expansión electrónica, como la mano de obra del técnico de laboratorio para su instalación y por último, la mano de obra de la toma de ensayos y redacción del proyecto.



4.1. Ensayos

4.1.1. Ensayos del R134a con IHX

Tk (promed)	To (promed)	CONDENSADOR				EVAPORADOR			COMPRESOR						
		mkr	Qkr (Ref)	SUB	SUB línea descarga	Qor	Recalent Util	Rec No Util	Pc	Tasa	Rv	Ri	R global	Tsup	Tdis
		(kg/s)	(W)	(K)	(K)	(W)	(K)	(K)	(W)	(-)	%	(-)	(-)	°C	°C
25,56	10,21	0,00828	1822,92	4,99	5,77	1496,68	3,62	4,01	434,51	1,74	0,77	0,29	0,23	36,17	66,57
35,62	10,39	0,00803	1711,25	5,90	6,94	1422,79	12,41	2,32	464,51	2,29	0,77	0,44	0,32	40,96	77,58
45,09	9,91	0,00768	1556,42	5,74	8,18	1286,67	12,50	5,73	493,16	2,97	0,75	0,55	0,39	44,42	86,29
25,28	0,26	0,00562	1256,44	4,84	8,46	1027,34	12,86	5,21	358,19	2,41	0,76	0,45	0,32	40,08	72,85
34,80	0,18	0,00545	1146,38	3,98	10,16	948,44	12,94	8,29	384,29	3,16	0,75	0,59	0,38	41,53	79,36
45,02	-0,02	0,00516	1035,30	4,58	11,89	851,60	12,75	12,24	414,19	4,17	0,72	0,68	0,42	45,84	89,55
24,38	-10,34	0,00355	786,27	3,42	13,29	627,84	11,48	15,47	292,92	3,51	0,73	0,62	0,36	43,52	76,35
35,05	-9,76	0,00350	725,12	2,94	14,08	592,40	12,00	17,55	318,35	4,64	0,71	0,76	0,40	44,29	82,29
45,01	-9,52	0,00337	655,61	3,61	16,24	545,65	11,70	20,72	340,08	5,98	0,69	0,88	0,43	47,54	89,45

IHX										
Eficiencia	COP FRÍO	COP CALIENTE	Tamb	Qkr (wat)	Pk (promed)	Po (promed)	Tsuc	AT.ihx. hp	AT.ihx. lp	REC.total
(%)	Refrigerante	Refrigerante	(°C)	(W)	(bar)	(bar)	°C	(K)	(K)	(K)
48,05	3,44	4,20	24,60	1820,70	6,76	4,18	17,61	0,58	1,70	7,63
41,34	3,06	3,68	27,78	1748,92	9,02	4,20	24,87	1,27	2,66	14,73
37,61	2,61	3,16	25,60	1650,61	11,63	4,13	27,88	3,68	5,98	18,23
53,55	2,87	3,51	25,60	1259,91	6,71	2,96	18,04	1,11	2,70	18,06
42,14	2,47	2,98	25,72	1216,15	8,82	2,95	21,12	3,98	6,26	21,23
41,72	2,06	2,50	27,16	1078,62	11,61	2,93	24,72	6,58	9,86	24,98
53,46	2,14	2,68	26,40	805,63	6,53	1,98	16,32	3,89	6,70	26,95
47,78	1,86	2,28	25,78	743,05	8,88	2,03	19,51	6,46	10,55	29,55
46,00	1,60	1,93	26,76	688,68	11,60	2,04	22,62	8,71	13,61	32,41

Tabla 32. Ensayos del R134a con IHX.

4.1.2. Ensayos del R134a sin IHX

Tk (promed)	To (promed)	CONDENSADOR				EVAPORADOR			COMPRESOR						
		mkr	Qkr (Ref)	SUB	SUB línea descarga	Qor	Recalent Util	Rec No Util	Pc	Tasa	Rv	Ri	R global	Tsup	Tdis
(°C)	(°C)	(kg/s)	(W)	(K)	(K)	(W)	(K)	(K)	(W)	(-)	%	(-)	(-)	°C	°C
25,52	9,78	0,00830	1818,12	5,09	5,58	1484,30	3,41	2,27	433,76	1,75	0,76	0,29	0,23	35,46	65,08
35,69	10,29	0,00816	1721,34	6,02	6,96	1431,17	12,46	-0,19	467,69	2,28	0,76	0,43	0,32	39,25	75,40
44,76	9,88	0,00786	1569,77	5,44	7,53	1273,89	12,55	0,02	496,42	2,93	0,75	0,51	0,38	41,87	82,46
25,35	0,09	0,00572	1255,34	4,51	8,32	1033,99	12,87	1,57	358,86	2,41	0,76	0,44	0,31	36,56	69,17
34,99	0,57	0,00567	1179,31	4,53	9,29	956,94	12,87	1,66	390,35	3,11	0,74	0,53	0,37	39,11	75,99
45,34	0,12	0,00538	1049,49	4,83	10,42	838,93	12,58	1,66	419,41	4,15	0,71	0,62	0,41	40,20	83,18
24,66	-10,23	0,00364	797,95	3,81	11,66	621,99	11,39	7,45	297,88	3,49	0,72	0,56	0,35	40,93	72,60
34,71	-9,67	0,00363	743,70	3,13	12,54	580,81	11,95	6,21	318,73	4,54	0,70	0,65	0,39	41,08	77,52
44,50	-9,93	0,00340	659,31	3,85	14,47	505,25	11,94	7,73	337,43	5,94	0,66	0,72	0,41	46,39	85,84

IHX										
Eficiencia	COP FRÍO	COP CALIENTE	Tamb	Qkr (wat)	Pk (promed)	Po (promed)	Tsuc	AT.ihx. hp	AT.ihx. lp	REC.total
(%)	Refrigerante	Refrigerante	(°C)	(W)	(bar)	(bar)	°C	(K)	(K)	(K)
-	3,42	4,19	24,69	1818,01	6,76	4,12	15,24	-	-	5,68
-	3,06	3,68	26,92	1758,55	9,04	4,19	22,31	-	-	12,27
-	2,57	3,16	24,43	1650,26	11,53	4,13	22,17	-	-	12,56
-	2,88	3,50	23,27	1274,33	6,72	2,94	14,26	-	-	14,45
-	2,45	3,02	24,36	1244,95	8,87	2,99	14,84	-	-	14,52
-	2,00	2,50	24,16	1070,66	11,70	2,94	14,09	-	-	14,24
-	2,09	2,68	26,66	824,42	6,59	1,99	8,31	-	-	18,83
-	1,82	2,33	26,47	712,33	8,80	2,03	8,19	-	-	18,17
-	1,50	1,95	28,24	673,70	11,45	2,01	9,46	-	-	19,67

Tabla 33. Ensayos del R134a sin IHX.

4.1.3. Ensayos del R600a con IHX

Tk (promed)	To (promed)	CONDENSADOR				EVAPORADOR			COMPRESOR						
		mkr	Qkr (Ref)	SUB	SUB línea descarga	Qor	Recalent Util	Rec No Util	Pc	Tasa	Rv	Ri	R global	Tsup	Tdis
(°C)	(°C)	(kg/s)	(W)	(K)	(K)	(W)	(K)	(K)	(W)	(-)	%	(-)	(-)	°C	°C
25,49	9,93	0,00233	908,91	5,29	6,06	758,72	2,91	6,97	245,87	1,71	0,74	0,34	0,20	39,12	57,31
35,74	10,53	0,00261	970,94	5,30	6,66	824,20	6,74	7,18	268,88	2,21	0,82	0,50	0,31	41,70	63,93
45,44	10,48	0,00254	877,75	4,06	8,01	772,27	6,62	9,40	285,78	2,84	0,81	0,65	0,38	42,91	68,66
25,41	0,66	0,00186	706,87	3,63	8,96	600,58	6,81	9,59	220,62	2,33	0,81	0,52	0,29	35,99	57,42
35,10	0,49	0,00182	654,87	4,52	10,86	565,13	6,66	12,51	240,51	3,06	0,81	0,68	0,35	38,29	62,54
45,46	0,40	0,00174	595,29	5,05	11,43	521,08	7,13	15,40	255,75	3,99	0,78	0,82	0,39	42,32	69,40
25,36	-9,34	0,00122	469,31	5,07	12,13	378,41	4,76	21,31	197,04	3,34	0,78	0,69	0,31	39,96	61,38
34,99	-9,47	0,00118	425,06	3,51	13,79	351,81	6,63	23,90	212,15	4,37	0,77	0,87	0,35	44,17	67,08
45,07	-9,26	0,00113	390,27	5,68	14,76	324,10	5,87	28,02	225,61	5,63	0,74	1,01	0,37	48,65	73,06

IHX										
Eficiencia	COP FRÍO	COP CALIENTE	Tamb	Qkr (wat)	Pk (promed)	Po (promed)	Tsuc	AT.ihx. hp	AT.ihx. lp	REC.total
(%)	Refrigerante	Refrigerante	(°C)	(W)	(bar)	(bar)	°C	(K)	(K)	(K)
85,94	3,09	3,70	27,47	990,92	3,56	2,20	19,31	0,18	1,41	9,88
42,57	3,07	3,61	26,01	1003,68	4,74	2,24	23,97	2,46	3,82	13,92
39,82	2,70	3,07	22,27	911,71	6,11	2,24	26,01	5,04	6,89	16,02
49,32	2,72	3,20	22,14	695,90	3,55	1,61	16,51	2,72	4,27	16,41
44,02	2,35	2,72	22,42	671,77	4,66	1,60	19,11	5,57	7,50	19,17
43,39	2,04	2,33	23,96	602,57	6,12	1,59	22,40	7,92	10,49	22,53
57,87	1,92	2,38	24,67	466,53	3,54	1,11	16,09	4,72	7,69	26,07
51,45	1,66	2,00	26,33	463,89	4,65	1,11	20,44	8,44	11,64	30,53
49,75	1,44	1,73	28,54	423,07	6,06	1,12	24,03	10,76	14,07	33,89

Tabla 34. Ensayos del R600a con IHX.

4.1.4. Ensayos del R600a sin IHX

Tk (promed)	To (promed)	CONDENSADOR				EVAPORADOR			COMPRESOR						
		mkr	Qkr (Ref)	SUB	SUB línea descarga	Qor	Recalent Util	Rec No Util	Pc	Tasa	Rv	Ri	R global	Tsup	Tdis
(°C)	(°C)	(kg/s)	(W)	(K)	(K)	(W)	(K)	(K)	(W)	(-)	%	(-)	(-)	°C	°C
25,23	9,93	0,00265	1033,56	5,43	5,79	859,85	3,18	5,53	246,63	1,69	0,83	0,32	0,22	38,95	56,77
35,49	10,36	0,00266	977,21	5,81	6,49	831,07	7,35	2,24	266,44	2,20	0,82	0,48	0,31	38,34	60,17
45,50	10,58	0,00260	893,92	6,04	7,54	758,20	6,44	2,40	286,51	2,82	0,80	0,59	0,37	39,80	64,88
25,47	0,67	0,00188	719,21	4,98	7,98	596,07	6,58	5,13	221,99	2,32	0,80	0,47	0,28	35,50	55,97
35,08	0,47	0,00182	653,82	3,04	9,13	533,72	6,42	5,55	243,66	3,04	0,78	0,56	0,33	38,94	61,86
45,07	0,50	0,00178	591,70	2,72	10,29	492,81	6,99	5,48	261,93	3,92	0,76	0,68	0,37	40,68	65,73
25,38	-9,42	0,00124	477,22	6,93	11,51	373,06	4,85	13,46	198,91	3,33	0,77	0,60	0,30	38,36	59,13
35,16	-9,88	0,00118	424,53	5,32	13,21	333,22	6,76	12,16	214,25	4,44	0,74	0,71	0,33	41,32	63,68
44,85	-9,70	0,00112	380,15	5,08	13,78	294,14	5,58	14,39	223,77	5,67	0,71	0,80	0,36	45,14	68,47

IHX										
Eficiencia	COP FRÍO	COP CALIENTE	Tamb	Qkr (wat)	Pk (promed)	Po (promed)	Tsuc	AT.ihx. hp	AT.ihx. lp	REC.total
(%)	Refrigerante	Refrigerante	(°C)	(W)	(bar)	(bar)	°C	(K)	(K)	(K)
-	3,49	4,19	28,17	974,91	3,53	2,20	18,15	-	-	8,70
-	3,12	3,67	25,11	999,54	4,71	2,23	19,48	-	-	9,59
-	2,65	3,12	25,10	926,51	6,12	2,25	18,96	-	-	8,85
-	2,69	3,24	22,91	706,15	3,56	1,61	11,83	-	-	11,71
-	2,19	2,68	24,65	665,99	4,66	1,60	11,89	-	-	11,97
-	1,88	2,26	24,46	609,31	6,06	1,60	12,47	-	-	12,47
-	1,88	2,40	23,81	465,96	3,55	1,11	8,25	-	-	18,31
-	1,56	1,98	24,74	461,80	4,67	1,09	8,42	-	-	18,92
-	1,31	1,70	27,06	390,46	6,02	1,10	9,66	-	-	19,97

Tabla 35. Ensayos del R600a sin IHX.

4.2. Comparativas

4.2.1. Comparativa experimental del R600a con vs. sin IHX

		CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX	CON IHX	SIN IHX
	Tk	COP FRÍO	COP FRÍO	Qo	Qo	Pc	Pc	mref_med	mref_med	Wc	Wc	qo	qo	Tdesc compresor	Tdesc compresor
	(°C)	Refrigerante	Refrigerante	Refrigerante (W)	Refrigerante (W)	(W)	(W)	(Kg/s)	(Kg/s)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(°C)	(°C)
EST 01 Tk: 25 °C To: 10 °C	25	3,09	3,49	758,72	859,85	245,87	246,63	0,00233	0,00265	63,06	64,15	325,46	324,79	57,31	56,77
EST 02 Tk: 35 °C To: 10 °C	35	3,07	3,12	824,20	831,07	268,88	266,44	0,00261	0,00266	64,22	64,71	315,47	311,92	63,93	60,17
EST 03 Tk: 45 °C To: 10 °C	45	2,70	2,65	772,27	758,20	285,78	286,51	0,00254	0,00260	65,61	70,19	304,16	291,80	68,66	64,88
EST 04 Tk: 25 °C To: 0 °C	25	2,72	2,69	600,58	596,07	220,62	221,99	0,00186	0,00188	65,68	70,77	323,25	317,07	57,42	55,97
EST 05 Tk: 35 °C To: 0 °C	35	2,35	2,19	565,13	533,72	240,51	243,66	0,00182	0,00182	67,54	78,34	311,33	293,15	62,54	61,86
EST 06 Tk: 45 °C To: 0 °C	45	2,04	1,88	521,08	492,81	255,75	261,93	0,00174	0,00178	70,85	80,40	299,95	277,38	69,40	65,73
EST 07 Tk: 25 °C To: -10 °C	25	1,92	1,88	378,41	373,06	197,04	198,91	0,00122	0,00124	72,07	80,65	310,37	302,01	61,38	59,13
EST 08 Tk: 35 °C To: -10 °C	35	1,66	1,56	351,81	333,22	212,15	214,25	0,00118	0,00118	72,43	85,50	298,98	282,42	67,08	63,68
EST 09 Tk: 45 °C To: -10 °C	45	1,44	1,31	324,10	294,14	225,61	223,77	0,00113	0,00112	73,96	88,58	287,24	261,54	73,06	68,47

Tabla 36. Comparativa experimental del R600a con vs. sin IHX.

4.2.2. Comparativa experimental del R600a con vs. sin IHX (%)

	Tk	Δ COP FRÍO	Δ Qo	Δ Pc	Δ mref_med	Δ Wc	Δ qo	Δ Tdesc compresor
	(°C)	Refrigerante (%)	Refrigerante (%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
EST 01 Tk: 25 °C To: 10 °C	25	-11,48	-12,96	-0,31	-11,94	-1,70	0,21	0,96
EST 02 Tk: 35 °C To: 10 °C	35	-1,72	-0,82	0,92	-1,94	-0,77	1,14	6,24
EST 03 Tk: 45 °C To: 10 °C	45	2,11	1,86	-0,25	-2,28	-6,53	4,24	5,83
EST 04 Tk: 25 °C To: 0 °C	25	1,38	0,76	-0,62	-1,17	-7,19	1,95	2,59
EST 05 Tk: 35 °C To: 0 °C	35	7,27	5,89	-1,29	-0,30	-13,79	6,20	1,10
EST 06 Tk: 45 °C To: 0 °C	45	8,29	5,74	-2,36	-2,22	-11,88	8,14	5,59
EST 07 Tk: 25 °C To: -10 °C	25	2,40	2,23	-0,94	-1,29	-10,64	2,77	3,80
EST 08 Tk: 35 °C To: -10 °C	35	6,63	5,59	-0,98	-0,26	-15,28	5,86	5,34
EST 09 Tk: 45 °C To: -10 °C	45	9,33	10,24	0,83	0,38	-16,51	9,83	6,71

Tabla 37. Comparativa experimental del R600a con vs. sin IHX (%).

4.2.3. Comparativa experimental del R600a vs. R134a con IHX

		R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a	R600a	R134a
	Tk	COP FRÍO	COP FRÍO	Qo	Qo	Pc	Pc	mref_med	mref_med	Wc	Wc	qo	qo	Tdesc compresor	Tdesc compresor
	(°C)	Refrigerante	Refrigerante	Refrigerante (W)	Refrigerante (W)	(W)	(W)	(Kg/s)	(Kg/s)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(KJ/Kg)	(°C)	(°C)
EST 01 Tk: 25 °C To: 10 °C	25	3,09	3,44	758,72	1496,68	245,87	434,51	0,00233	0,00828	63,06	41,31	325,46	180,70	57,31	66,57
EST 02 Tk: 35 °C To: 10 °C	35	3,07	3,06	824,20	1422,79	268,88	464,51	0,00261	0,00803	64,22	42,59	315,47	177,21	63,93	77,58
EST 03 Tk: 45 °C To: 10 °C	45	2,70	2,61	772,27	1286,67	285,78	493,16	0,00254	0,00768	65,61	45,29	304,16	167,63	68,66	86,29
EST 04 Tk: 25 °C To: 0 °C	25	2,72	2,87	600,58	1027,34	220,62	358,19	0,00186	0,00562	65,68	44,71	323,25	182,71	57,42	72,85
EST 05 Tk: 35 °C To: 0 °C	35	2,35	2,47	565,13	948,44	240,51	384,29	0,00182	0,00545	67,54	45,67	311,33	173,87	62,54	79,36
EST 06 Tk: 45 °C To: 0 °C	45	2,04	2,06	521,08	851,60	255,75	414,19	0,00174	0,00516	70,85	49,39	299,95	164,96	69,40	89,55
EST 07 Tk: 25 °C To: -10 °C	25	1,92	2,14	378,41	627,84	197,04	292,92	0,00122	0,00355	72,07	47,96	310,37	176,88	61,38	76,35
EST 08 Tk: 35 °C To: -10 °C	35	1,66	1,86	351,81	592,40	212,15	318,35	0,00118	0,00350	72,43	48,21	298,98	169,16	67,08	82,29
EST 09 Tk: 45 °C To: -10 °C	45	1,44	1,60	324,10	545,65	225,61	340,08	0,00113	0,00337	73,96	49,46	287,24	161,73	73,06	89,45

Tabla 38. Comparativa experimental del R600a vs. R134a con IHX.

4.2.4. Comparativa experimental del R600a vs. R134a con IHX (%)

	Tk	Δ COP FRÍO	Δ Qo	Pc	mref_med	Wc	qo	Tdesc compresor
	(°C)	Refrigerante (%)	Refrigerante (%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
EST 01 Tk: 25 °C To: 10 °C	25	-10,41	-49,99	-43,41	-71,85	52,63	80,11	-13,92
EST 02 Tk: 35 °C To: 10 °C	35	0,08	-42,07	-42,11	-67,46	50,77	78,03	-17,59
EST 03 Tk: 45 °C To: 10 °C	45	3,58	-39,98	-42,05	-66,92	44,85	81,45	-20,43
EST 04 Tk: 25 °C To: 0 °C	25	-5,09	-41,54	-38,41	-66,96	46,90	76,92	-21,17
EST 05 Tk: 35 °C To: 0 °C	35	-4,79	-40,41	-37,41	-66,72	47,89	79,05	-21,19
EST 06 Tk: 45 °C To: 0 °C	45	-0,90	-38,81	-38,25	-66,35	43,45	81,83	-22,50
EST 07 Tk: 25 °C To: -10 °C	25	-10,39	-39,40	-32,73	-65,64	50,26	75,47	-19,60
EST 08 Tk: 35 °C To: -10 °C	35	-10,88	-40,61	-33,36	-66,40	50,25	76,74	-18,48
EST 09 Tk: 45 °C To: -10 °C	45	-10,47	-40,60	-33,66	-66,56	49,54	77,60	-18,32

Tabla 39. Comparativa experimental del R600a vs. R134a con IHX (%).

4.3. Presupuesto

Material	Descripción	Modelo	Cantidad	Precio (€)
Válvula de expansión electrónica	Tamaño 09, conexión en cobre para soldar 12 – 12 ODF (Standard)	E2V09BSF00	1 ud.	170
Cable de conexión	Cable apantallado y conector performado paraEEV, IP67. 6 m de longitud	E2VCABS600	1 ud.	38,60
Driver	EVOLUTION para VEE Carel	EVD0000E50	1 ud.	193
Accesorio para driver	Display para driver	EVDIS00ES0	1 ud.	172
Gas refrigerante	Isobutano (R600a) (420 g) Botella pequeña desechable	-	1 ud.	21,50
Mano de obra	Técnico de laboratorio (montaje de la VEE)	-	5 horas	15
Mano de obra	Toma de ensayos y redacción del proyecto	-	300 horas	15
TOTAL			Sin IVA	5170,10
TOTAL			Con IVA	6255,82

Tabla 40. Presupuesto.