

(Unidade de traballo)

**ANÁLISE
DE CICLOS
FRIGORÍFICOS
PARA
CONXELACIÓN**

Índice:

1. Análise de Ciclos frigoríficos para conxelación.	3
1.1. Consideracións sobre o ciclo frigorífico.....	3
1.2. Comparativa entre o refrixerante R-507A e o R-134a	6
1.2.2. Ciclo frigorífico con R-134a	7
1.2.2.1. <i>Ciclo frigorífico con R-134a simple etapa</i>	7
1.2.2.2. <i>Ciclo frigorífico con R-134a dobre etapa</i>	8
2. Exercicios relacionados con esta unidade de traballo.....	10
3. Módulos relacionados con esta unidade de traballo	10

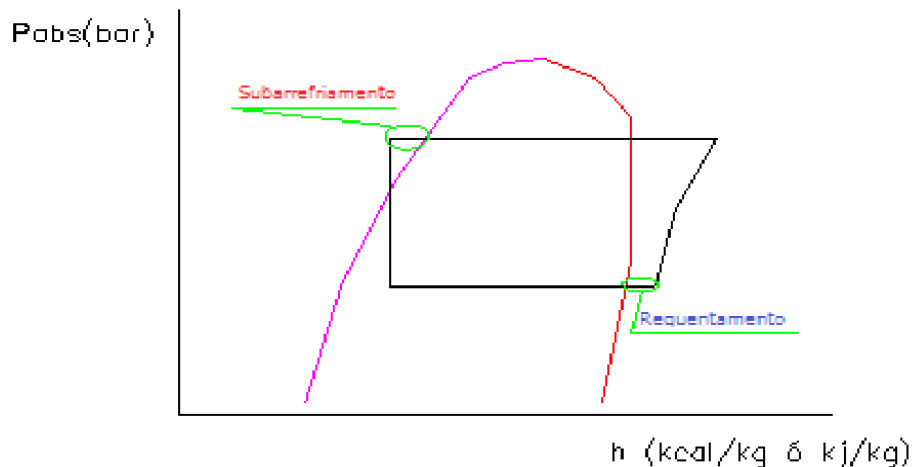
1. Análise de Ciclos frigoríficos para conxelación.

Partimos da base dunha instalación ou planta de conxelación de tamaño pequeno-medio que poderíamos establecer unha potencia frigorífica de ata 100 KW; sendo este valor relativo xa que para a "cualificación" de instalación pequena, media, grande teríamos que ter en conta outros factores como sistema de condensación, distancias entre elementos frigoríficos, número de servizos, número de compresores...

1.1. Consideracións sobre o ciclo frigorífico

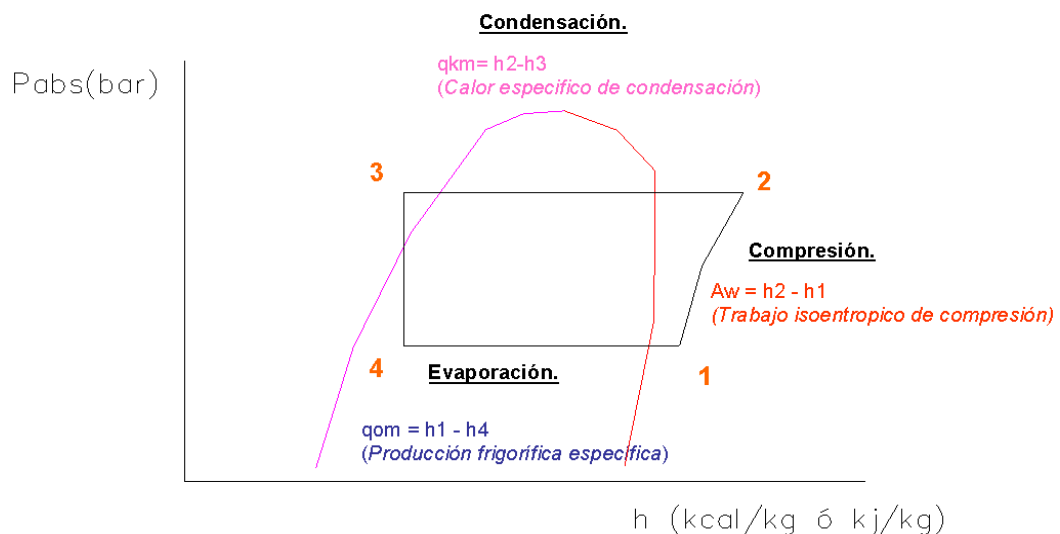
Chamamos subarrefriamento á diferenza entre a temperatura de condensación e a temperatura do líquido refrixerante á súa saída do condensador.

O requeentamento defínese como a diferenza de temperatura entre a temperatura de evaporación e a temperatura dos gases á saída do evaporador.



SUBARREFRIAMENTO E REQUEENTAMENTO NO CICLO FRIGORÍFICO

Coas entalpías dos 4 puntos podemos calcular as enerxías en xogo no ciclo. frigorífico:



ENERXÍAS NO CICLO FRIGORÍFICO

Toda a serie de refrixerantes R-4** e R-5** son substancias mesturas de varias substancias puras. Isto fai que durante o cambio de estado a presión constante a temperatura varie debido á variación da mestura en fase líquida. Isto represéntase no diagrama entálpico do seguinte xeito:

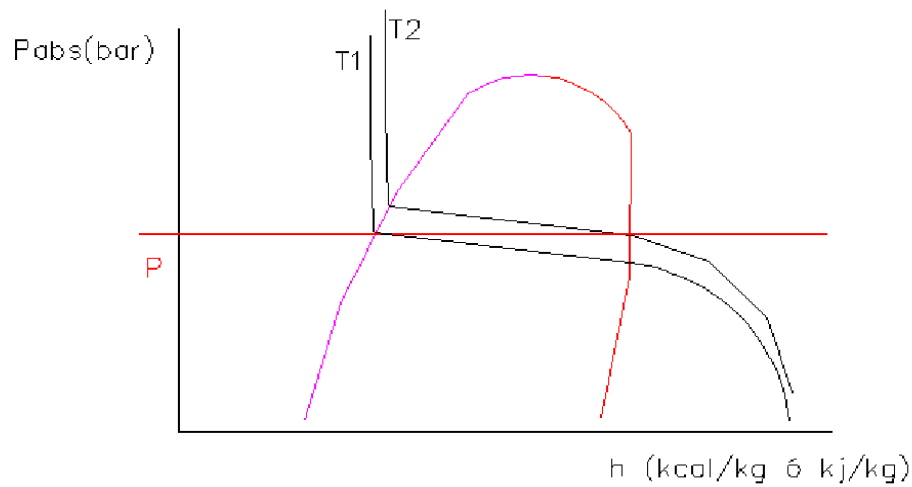
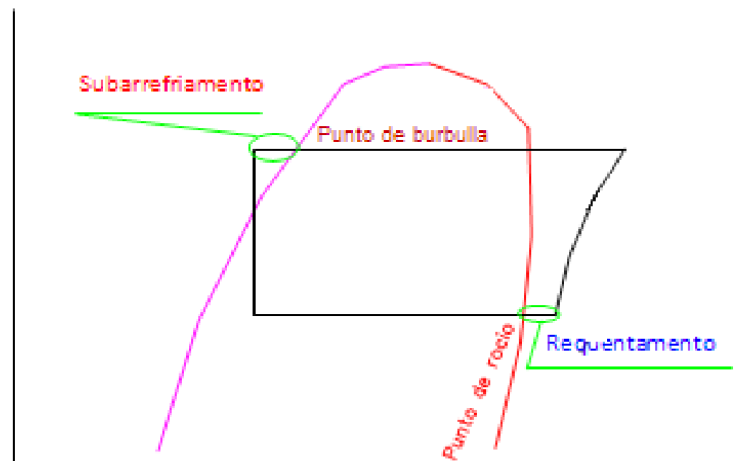


DIAGRAMA ENTÁLPICO PARA REFRIXERANTES MESTURAS

A consecuencia é que á hora de mirar o requentamento e o subarrefriamento teremos que buscar a temperatura de burbulla para a presión de alta e a temperatura de rocío para a presión de baixa tal como se aprecia no diagrama:



REQUENTAMENTO; SUBARREFRIAMENTO EN REFRIXERANTES MESTURAS

Potencia frigorífica neta: É a potencia que se absorbe no evaporador.

Potencia frigorífica bruta: É a total da máquina frigorífica (evaporador+liña de aspiración+outros)

Rendemento volumétrico(η_v): Representa a diminución no volume de aspiración do compresor debido aos espazos mortos do mesmo.

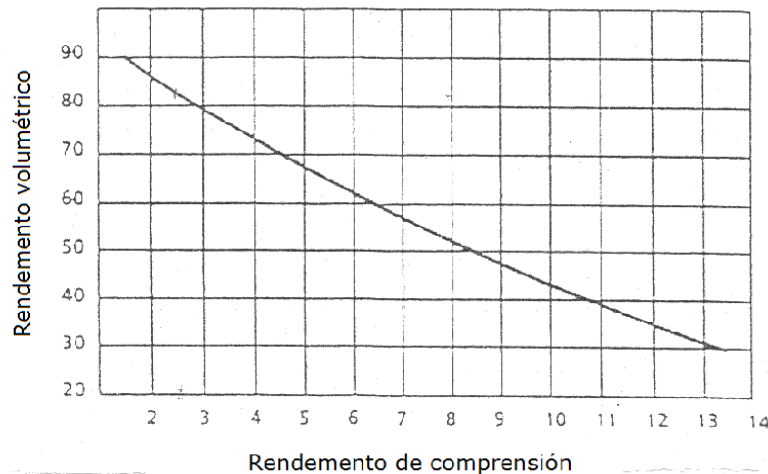
$$\eta_v = 1 - 0,70 \left[\left(\sqrt[8]{\frac{P_{abs-cond}}{P_{abs-evap}}} \right) - 1 \right]$$

O valor constante (0,70) para o cálculo pode variar de 0,55 a 0,98 segundo modelo e fabricante do compresor

Tamén pódese usar a fórmula:

$$\eta_v = 1 - \left[0,05 \frac{P_{abs-cond}}{P_{abs-evap}} \right]$$

Os gráficos facilitados polos fabricantes son métodos máis reais para o seu cálculo:



RENDEMENTO VOLUMÉTRICO PARA COMPRESORES ALTERNATIVOS (DOSSAT,1980)

Rendemento indicado(η_i): Representa o incremento no traballo de compresión debido aos rendementos do compresor. Nel inflúen tanto o rendemento volumétrico(η_v) como o rendemento eléctrico(η_e) e o rendemento mecánico(η_m).

$$\eta_i = \eta_v * \eta_m * \eta_e$$

O punto de descarga teórico do compresor (2) pasa a ser punto de descarga real (2').

$$A_w(\text{real}) = \frac{A_w(\text{teórico})}{\eta_i} \quad \rightarrow \quad h_{2'} = h_1 + A_w(\text{real})$$

Perda de carga en aspiración: Adóitase indicar en °C e diminúe a presión no punto de aspiración do compresor de 1 (punto de aspiración teórico) a 1' (punto de aspiración real).

Para achar este punto 1' baixamos a presión de aspiración nos graos indicados pola perda de carga e onde se corte coa isoterma da temperatura en aspiración teremos o punto 1'.

Nos varia a liña de compresión isoentrópica, a entalpía da aspiración do compresor e o volume específico dos gases de aspiración; co que a consecuencia que leva consigo é unha diminución de potencia frigorífica producida polo compresor.

Perda de carga en alta presión: Indícase en °C pasados á variación de presión correspondente para o refrixerante co que se traballe.

1.2. Comparativa entre o refrixerante R-507A e o R-134a

Nesta comparativa trataremos dous refrixerantes: O R-507A que é o usado actualmente neste tipo de instalacións e o R-134a que o formulamos como alternativa para plantas frigoríficas destas potencias.

Consideraremos compresores alternativos; ao non dispoñer de datos dos fabricantes, en canto ao rendemento indicado destes, usaremos fórmula teórica para o rendemento volumétrico:

$$\eta_v = 1 - 0,70 \left[\left(\sqrt[3]{\frac{P_{abs-cond}}{P_{abs-evap}}} \right) - 1 \right]$$

Ao ser compresores herméticos ou semiherméticos, nos cales as perdas do motor eléctrico son disipadas no cárter do propio compresor, supoñeremos un rendemento eléctrico do 0,85. O rendemento mecánico supoñerémolo 0,9; co que o rendemento indicado o calcularemos como:

$$\eta_i = \eta_v * \eta_m * \eta_e$$

O erro que poidamos cometer ao aplicar este rendemento nos 2 tipos de instalacións non alterará o resultado final comparativo.

Para afinar correctamente os valores, na súa captura dos diagramas entálpicos, usaremos o programa informático COOLPACK versión 1.49 (Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark). Tamén compararemos valores cos datos facilitados por un fabricante de refrixerantes fluorados (DuPont) a través do programa informático SOLKANE na súa versión 6.0.

A continuación acharemos en rendemento do ciclo frigorífico (COP) como:

$$COP = \frac{q_{om}}{A_{w,real}}$$

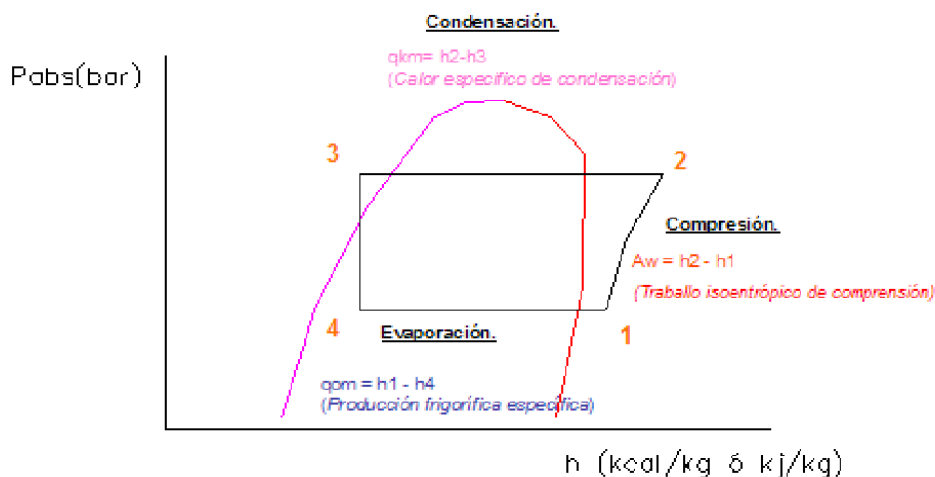
1.2.1. Ciclo frigorífico con R-507A

Cos datos de partida o primeiro é achar o rendemento indicado. Mirando en táboas presión-temperatura a presión de baixa absoluta [$T_0 = -25^\circ\text{C} \rightarrow P_{0ab} = 2,6\text{bar}$]; a presión de alta absoluta [$T_k = 40^\circ\text{C} \rightarrow P_{kab} = 18,8\text{bar}$]; co que o rendemento indicado será:

$$\eta_v = 1 - 0,70 \left[\left(\sqrt[3]{\frac{P_{abs-cond}}{P_{abs-evap}}} \right) - 1 \right] = 1 - 0,70 \left[\left(\sqrt[3]{\frac{18,8}{2,6}} \right) - 1 \right] = 0,804$$

$$\eta_i = \eta_v * \eta_m * \eta_e = 0,804 * 0,9 * 0,85 = 0,615$$

A numeración que vamos a seguir na toma de datos é a seguinte:



Pechamos o ciclo frigorífico no programa informático obtendo os seguintes valores:

DATOS SACADOS DO CICLO DE R-507A

	Temperatura	Presión	Volume	Entalpía
Punto1	-15°C	2,62bar	0,07696 m³/kg	359,95 kJ/kg
Punto 2	91,1°C	18,8bar	0,01368 m³/kg	429,28 kJ/kg
Punto 3	35°C	18,8bar	0,00100 m³/kg	244,81 kJ/kg
Punto 4	-25°C	2,62bar	0,03459 m³/kg	244,81 kJ/kg

Co que o rendemento neste caso quedanos:

$$\text{COP} = \frac{q_{\text{om}}}{A_{\text{w real}}} = \frac{115,14 \text{ kJ/kg}}{69,33 \text{ kJ/kg}} = 1,66$$

1.2.2. Ciclo frigorífico con R-134a

Neste caso estableceremos dous solucións técnicas; unha simple etapa como no caso do R-507A; e unha dobre etapa inxección parcial que a efectos de montaxe frigorífico da instalación simplemente diferencíase en 2 compresores en serie cun arrefriamento en intermedia con inxección de líquido refrixerante.

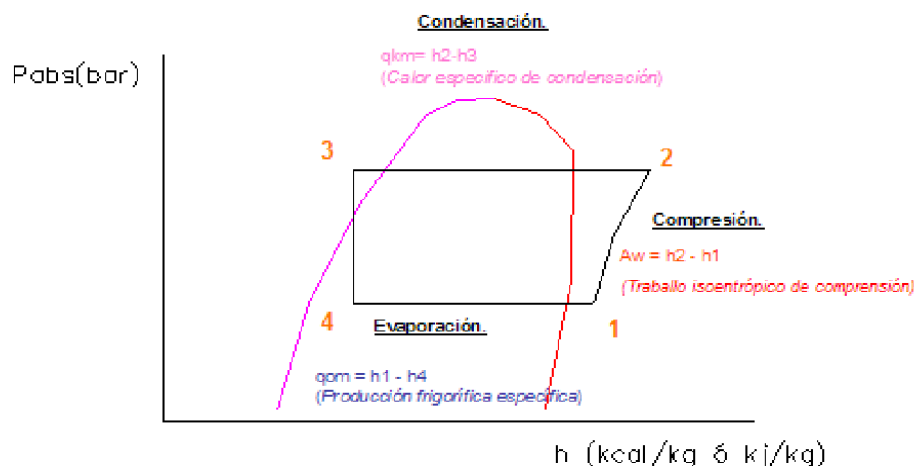
1.2.2.1. Ciclo frigorífico con R-134a simple etapa.

Cos datos de partida o primeiro é dar co rendemento indicado. Mirando en táboas presión-temperatura a presión de baixa absoluta [$T_0 = -25^\circ\text{C} \rightarrow P_{0\text{ab}} = 1,06\text{bar}$]; a presión de alta absoluta [$T_k = 40^\circ\text{C} \rightarrow P_{k\text{ab}} = 10,16\text{bar}$]; co que o rendemento indicado será:

$$\eta_v = 1 - 0,70 \left[\left(\sqrt{\frac{P_{\text{abs-cond}}}{P_{\text{abs-evap}}}} \right) - 1 \right] = 1 - 0,70 \left[\left(\sqrt{\frac{10,16}{1,06}} \right) - 1 \right] = 0,771$$

$$\eta_i = \eta_v * \eta_m * \eta_e = 0,771 * 0,9 * 0,85 = 0,59$$

A numeración que vamos a seguir na toma de datos é a seguinte:



NUMERACIÓN DE PUNTOS NO CICLO FRIGORÍFICO

Pechamos o ciclo frigorífico no programa informático obtendo os seguintes valores:

DATOS SACADOS DO CICLO DE R-134A SIMPLE ETAPA

	Temperatura	Presión	Volume	Entalpía
Punto1	-15°C	1,06bar	0,19017 m³/kg	391,34 kJ/kg
Punto 2	92,57°C	10,16bar	0,02628 m³/kg	475,20 kJ/kg
Punto 3	35°C	10,16bar	0,00086 m³/kg	249,08 kJ/kg
Punto 4	-25°C	1,06bar	0,06924 m³/kg	249,08 kJ/kg

Co que o rendemento neste caso nos queda:

$$\text{COP} = \frac{q_{om}}{A_{w \text{ real}}} = \frac{142,26 \text{ kJ/kg}}{83,86 \text{ kJ/kg}} = 1,70$$

1.2.2.2. Ciclo frigorífico con R-134a dobre etapa.

Como no apartado anterior partimos dos datos:

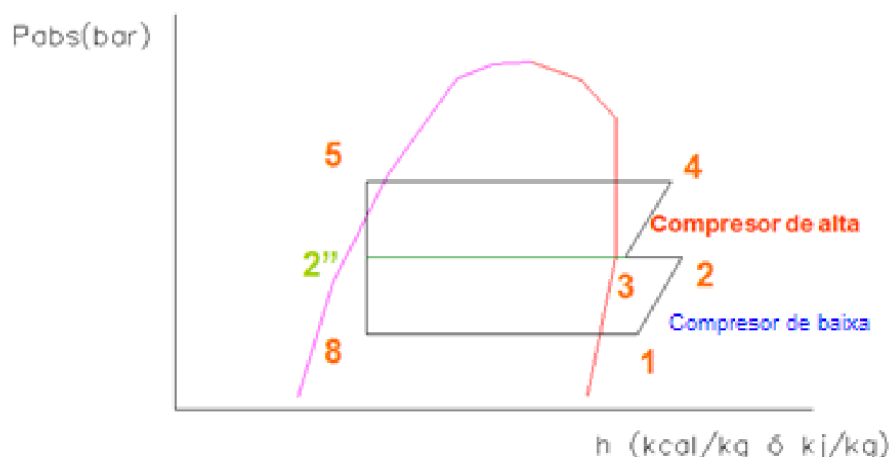
A presión de baixa absoluta [$T_0 = -25^\circ\text{C} \rightarrow P_{0ab} = 1,06 \text{ bar}$]; a presión de alta absoluta [$T_k = 40^\circ\text{C} \rightarrow P_{kab} = 10,16 \text{ bar}$]. Neste caso o primeiro será achar a presión de intermedia para que os 2 compresores presenten a mesma relación de compresión e así o máximo rendemento posible. Para elo usaremos a fórmula:

$$P_{\text{intermedia-abs}} = \sqrt{P_{\text{abs-alta}} * P_{\text{abs-baja}}} = \sqrt{10,16 * 1,06} = 3,28 \text{ bar}$$

Co que o rendemento indicado para o compresor de baixa será:

$$\eta_v = 1 - 0,70 \left[\left(\sqrt[8]{\frac{P_{\text{abs-cond}}}{P_{\text{abs-evap}}}} \right) - 1 \right] = 1 - 0,70 \left[\left(\sqrt[8]{\frac{3,28}{1,06}} \right) - 1 \right] = 0,894$$

$$\eta_i = \eta_v * \eta_m * \eta_e = 0,894 * 0,9 * 0,85 = 0,68$$



NUMERACIÓN DE PUNTOS NO CICLO FRIGORÍFICO DOBRE ETAPA

Se facemos os cálculos para o compresor de alta daranos o mesmo resultado; co que:

$$\eta_{i\text{-alta}} = \eta_{i\text{-baja}} = 0,68$$

A numeración que imos seguir na toma de datos é a seguinte:

Pechamos o ciclo frigorífico no programa informático supoñendo un requeamento nos gases de aspiración do compresor de alta de 5°C obtendo os seguintes valores:

DATOS SACADOS DO CICLO DE R-134A SIMPLE ETAPA

	Temperatura	Presión	Volume	Entalpía
Punto1	-15°C	1,06bar	0,19017 m³/kg	391,34 kJ/kg
Punto 2	22,9°C	3,28bar	0,06826 m³/kg	418,03 kJ/kg
Punto 3	13,17°C	3,28bar	0,06527 m³/kg	409,29 kJ/kg
Punto 4	56,24°C	10,17bar	0,02214 m³/kg	437,02 kJ/kg
Punto 5	35°C	10,17bar	0,00086 m³/kg	249,08 kJ/kg
Punto 8	-25°C	1,06bar	0,06924 m³/kg	249,08 kJ/kg

Co que o rendemento neste caso nos queda:

$$\text{COP} = \frac{q_{\text{om}}}{A_{\text{wreal-baja}} + A_{\text{wreal-alta}}} = \frac{142,26 \text{ kJ/kg}}{(26,69 + 27,73) \text{ kJ/kg}} = 2,61$$

2. Exercicios relacionados con esta unidade de traballo

1.- Temos una máquina frigorífica que traballa con R134a. O manómetro de alta marca 10,16 bar. O manómetro de baixa marca 1,06 bar. Mídense as temperaturas de saída do vaporizador, e da -15°C e a de saída do condensador, e da 35°C .

Pídesse:

- Graos de Requecemento e Subarrefriamento.
- Obter todos os efectos.
- Se a potencia da máquina é de 100 kilovatios, calcular o caudal máxico de refrixerante.
- Obter todas as potencias.
- Obter a eficiencia do ciclo como máquina frigorífica e como bomba de calor.

2.- Unha máquina de compresión mecánica que opera con R-134 pretende refrixerar un recinto de xeito que a T^a do vaporizador é de -25°C e a T^a do condensador é de 40°C . A potencia frigorífica que se pretende acadar é de 100 Kw. Para o compresor, o $\mu_{\text{isoe}}nt$ será o indicado segundo a gráfica do μ volumétrico

Calcula o efecto frigorífico, o traballo do compresor, o calor intercambiado polo condensador e o COP da máquina para os casos indicados e compara os resultados:

- Máquina de compresión simple segundo un ciclo ideal de compresión de vapor
- Máquina de compresión simple con requecemento de 10°C controlado por válvula de expansión e subarrefriamento de 5°C provocado pola ganancia de calor na tubaxe de líquido
- Máquina de compresión dobre que traballa a igualdade de relacións de compresión, con requecemento de 10°C , sen desrequecemento intermedio
- Máquina de compresión dobre que traballa a igualdade de relacións de compresión, con requecemento de 10°C con desrequecemento ata saturación por axente externo (valorar se o aire é posible)
- Máquina de compresión dobre que traballa a igualdade de relacións de compresión, con requecemento de 10°C con inxección de líquido ata requecemento igual ó compresor de baixa
- Máquina de compresión dobre que traballa a igualdade de relacións de compresión, con requecemento de 10°C con expansión escalonada e inxección parcial de líquido con intercambiador pechado ata requecemento igual ó compresor de baixa
- Máquina de compresión simple con requecemento de 10°C logrado con un intercambiador ILV (intercambiador líquido-vapor)

3. Módulos vencellados con esta unidade de traballo

Ciclo superior de mantemento de instalacións térmicas e de fluídos

- 0121-Equipos e instalacións térmicas
- 0134-Configuración de Instalacións térmicas e de fluídos
- 0135-Mantemento de instalacións frigoríficas e de climatización

Ciclo superior de desenrolo de proxectos de instalacións térmicas e de fluídos

- 0121-Equipos e instalacións térmicas
- 0126-Configuración de instalacións frigoríficas
- 0126-Configuración de instalacións frigoríficas

Ciclo superior en eficiencia enerxética e enerxía solar térmica

- 0121-Equipos e instalacións térmicas

0349-Eficiencia enerxética de instalacións

Ciclo medio instalacións frigoríficas e de climatización

0036- Máquinas e equipamentos térmicos

0039- Configuración de instalacións de frío e climatización.

0040- Montaxe e mantemento de equipamentos de refrixeración comercial.

0041- Montaxe e mantemento de instalacións frigoríficas industriais.

Ciclo medio de produción de calor

0036- Máquinas e equipamentos térmicos