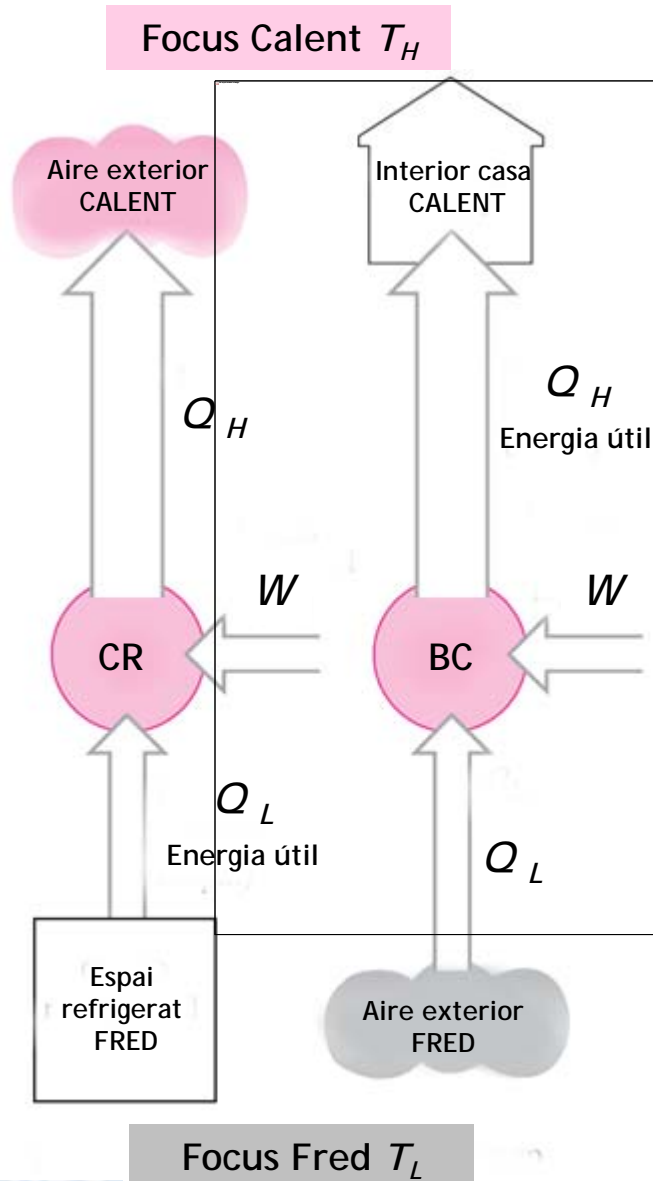


Tema 6. Cicles de refrigeració i bombes de calor



- Cicles inversos: refrigeració i bombes de calor
- Cicle ideal de refrigeració per compressió de vapor
- Cicle real de refrigeració per compressió de vapor
- Propietats dels refrigerants
- Cicles de refrigeració per compressió de vapor en cascada, multietapa i amb dos evaporadors
- Bomba de calor per compressió de vapor
- Vàlvules de 3 i 4 vies. Equips que són a la vegada CR i BC
- Altres cicles de refrigeració/BC. CR/BC basats en un cicle de turbina de gas. CR/BC per absorció

Cicles inversos: de refrigeració i bombes de calor



Cicles inversos: cicle de refrigeració i bomba de calor

1. Dispositius que consumeixen treball per aconseguir refredar (refrigerador) o escalfar (bomba calor)
2. El treball subministrat al cicle de refrigeració s'utilitza per extreure calor de l'espai interior a refrigerar fred i portar-lo a l'exterior calent
3. El treball subministrat a la bomba de calor s'utilitza per extreure calor de l'exterior fred i portar-lo a l'interior que es desitja escalfar

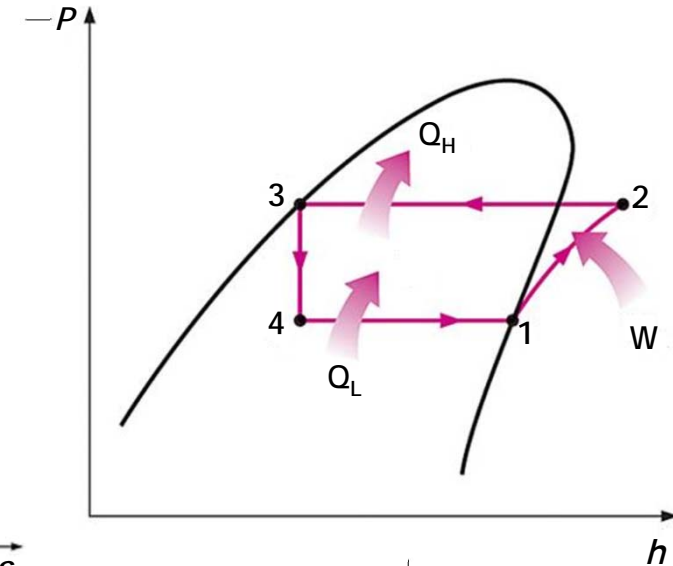
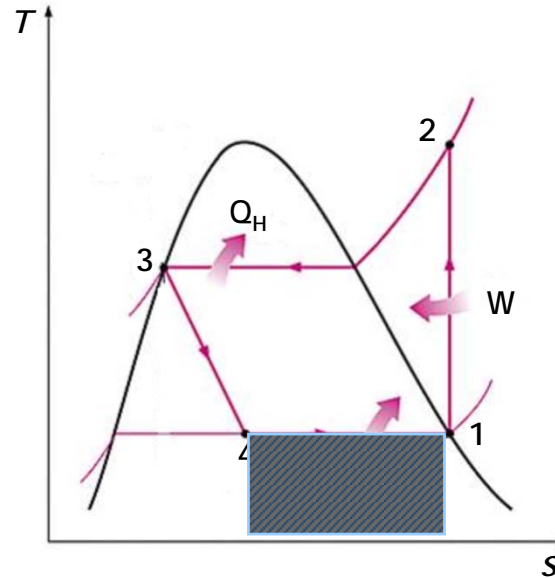
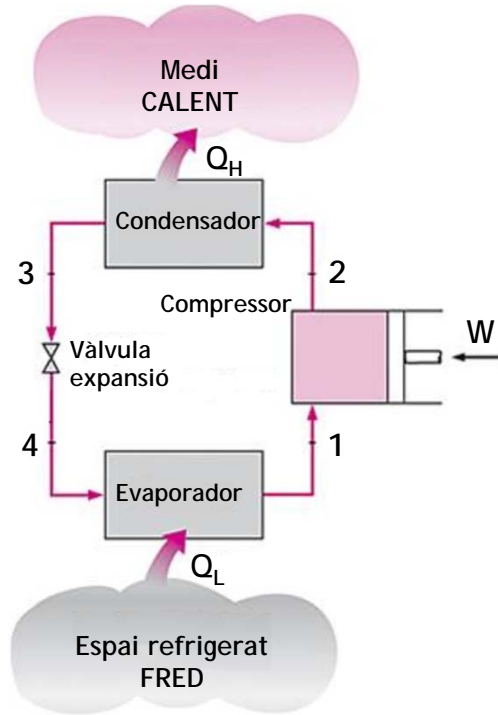
COP = coeficient de funcionament

$$COP_{CR} = \frac{|Q_L|}{|W|} = \frac{|Q_L|}{|Q_H| - |Q_L|} > 1 \quad \text{habitualment}$$

$$COP_{BC} = \frac{|Q_H|}{|W|} = \frac{|Q_H|}{|Q_H| - |Q_L|} > 1 \quad \text{obligatòriament}$$

Relació entre la calor útil i treball consumit

Cicle ideal de refrigeració per compressió de vapor

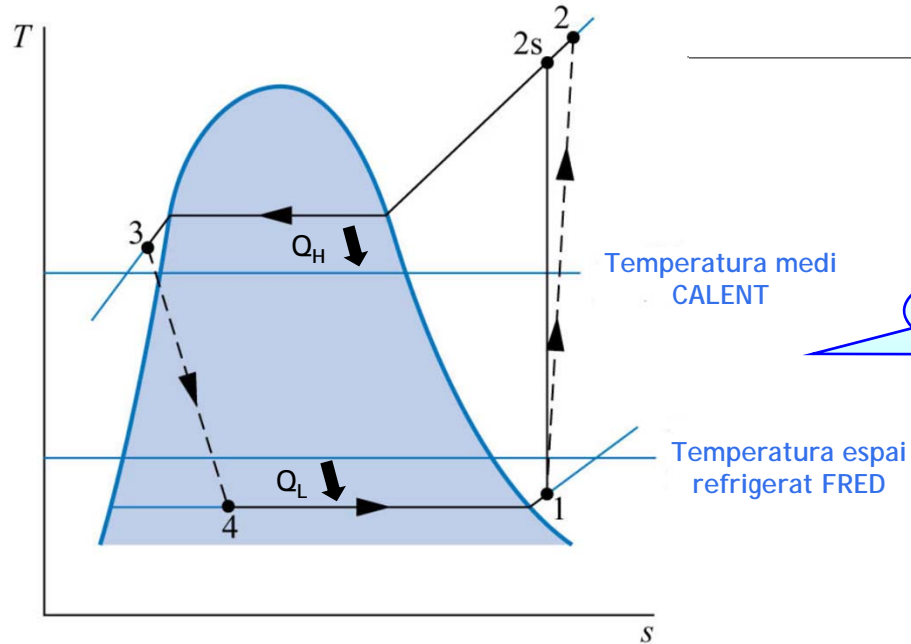


Cicle ideal

- 1-2 compressió adiabàtica reversible, $s=ct$ $|\dot{W}| = \dot{m}(h_2 - h_1)$
- 2-3 cessió de calor a $P=ct$ $|\dot{Q}_H| = \dot{m}(h_2 - h_3)$ potència calorífica
- 3-4 expansió isentàlpica $h=ct$ $h_3 = h_4$
- 4-1 addició de calor a $P=ct$ $|\dot{Q}_L| = \dot{m}(h_1 - h_4)$ potència frigorífica
- Estat 1 vapor saturat, estat 3 líquid saturat, cicle reversible

$$COP_{CR} = \frac{|\dot{Q}_L|}{|\dot{W}|}$$

Cicle real de refrigeració per compressió de vapor



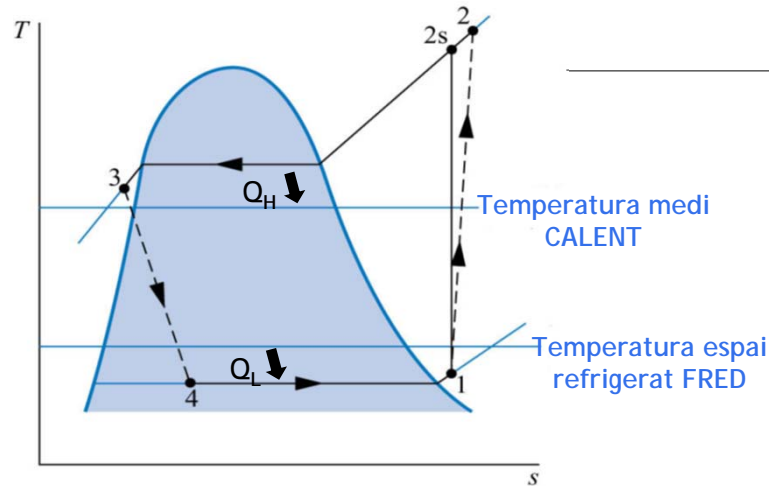
Les temperatures limiten els fluids utilitzats com refrigerants

$$COP_{CR} = \frac{|\dot{Q}_L|}{|\dot{W}|}$$

Cicle real

- 1-2 compressió adiabàtica irreversible $s \uparrow \Rightarrow COP \downarrow$
- Pèrdues de **pressió** a tota la instal·lació $\Rightarrow COP \downarrow$
- **Estat 1** vapor rescalfat, **estat 3** líquid subrefredat \Rightarrow poder frigorífic $Q_L \uparrow$
- Les temperatures de treball estan limitades per T_H i T_L (salt tèrmic 10-20°C)

Propietats dels refrigerants



Nomenclatura refrigerants

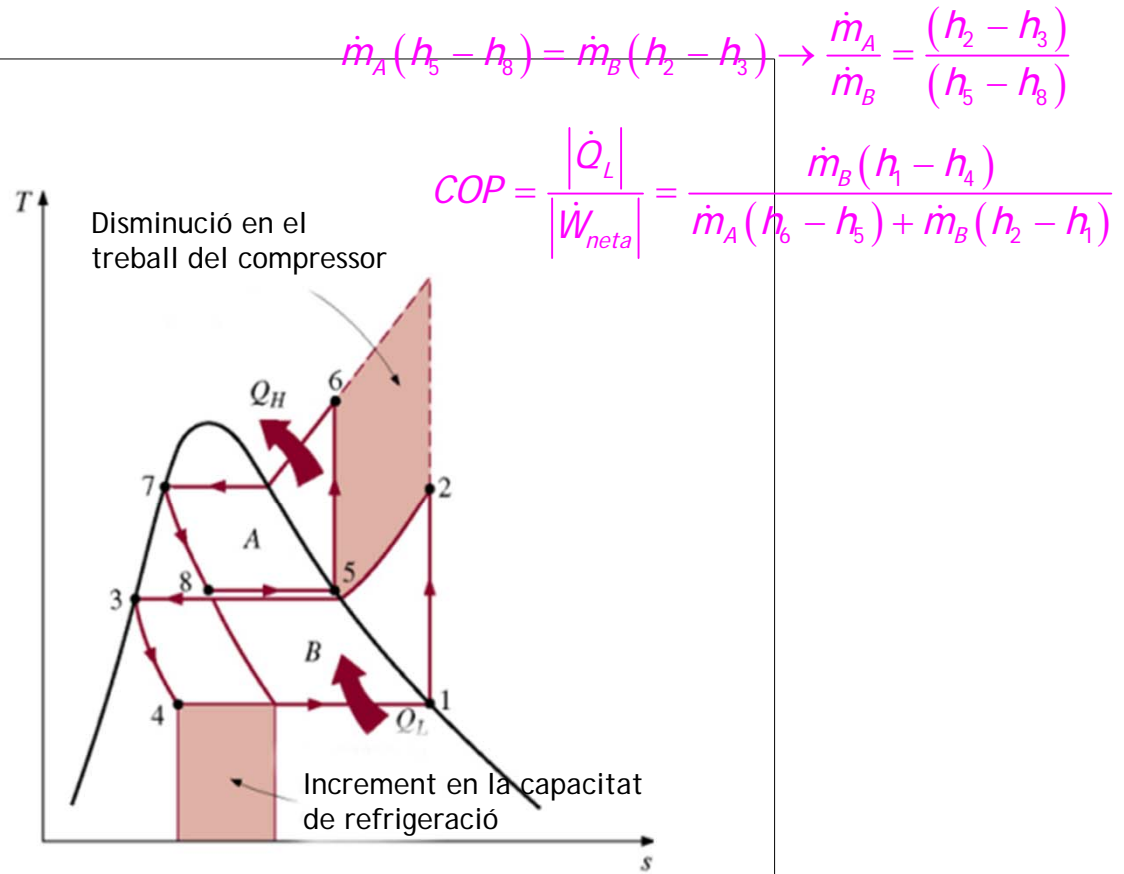
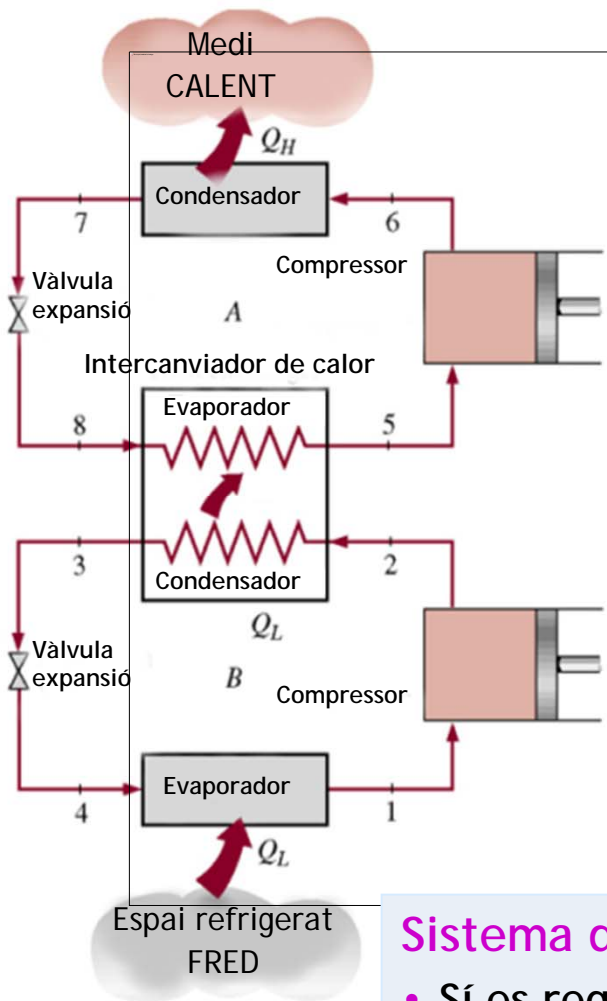
- R-717 (inorgànics, amoníac= 700 + 17)
- R-134a (derivats hidrocarburs CF_3CFH_2)
- R-404A (mescles no azeotròpiques)
- R-502A (mescles azeotròpiques)

La selecció del refrigerant es basa en les temperatures i pressions d'evaporació i condensació d'acord amb les temperatures dels ambients a refredar i escalfar

Altres propietats desitjables d'un fluid refrigerant

- Entalpia vaporització gran
- Relació pressions petita
- Pressió evaporador superior a la pressió atmosfèrica
- Vapors amb volums específics petits
- $T_{\text{evaporador}} > T_{\text{congelació}}$
- Fluids no tòxics i econòmics

Cicle de refrigeració per compressió de vapor en cascada



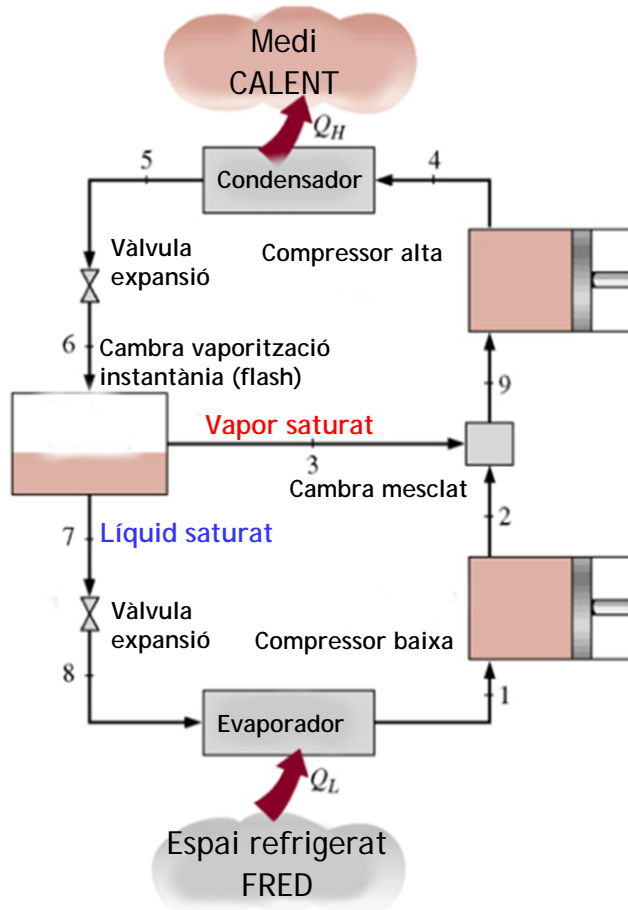
$$\dot{m}_A (h_5 - h_8) = \dot{m}_B (h_2 - h_3) \rightarrow \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_B} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_5 - h_8)}$$

$$COP = \frac{|\dot{Q}_L|}{|\dot{W}_{neta}|} = \frac{\dot{m}_B (h_1 - h_4)}{\dot{m}_A (h_6 - h_5) + \dot{m}_B (h_2 - h_1)}$$

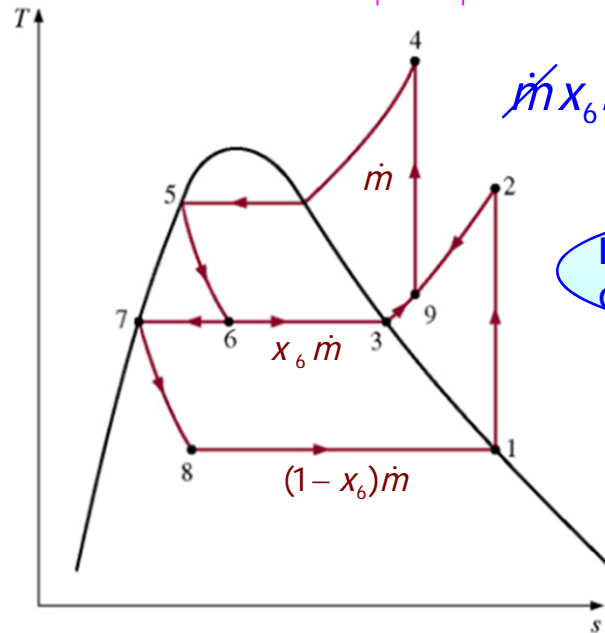
Sistema de refrigeració en cascada

- Sí es requereix temperatures baixes o el salt tèrmic és molt gran
- El refrigerant del dos cicles pot ser el mateix o no
- $W \downarrow, Q_L \uparrow \Rightarrow COP \uparrow$

Cicle de refrigeració per compressió vapor multietapa



$$COP = \frac{|\dot{Q}_L|}{|\dot{W}_{neta}|} = \frac{(1-x_6)\dot{m}(h_1 - h_8)}{(1-x_6)\dot{m}(h_2 - h_1) + \dot{m}(h_4 - h_9)}$$



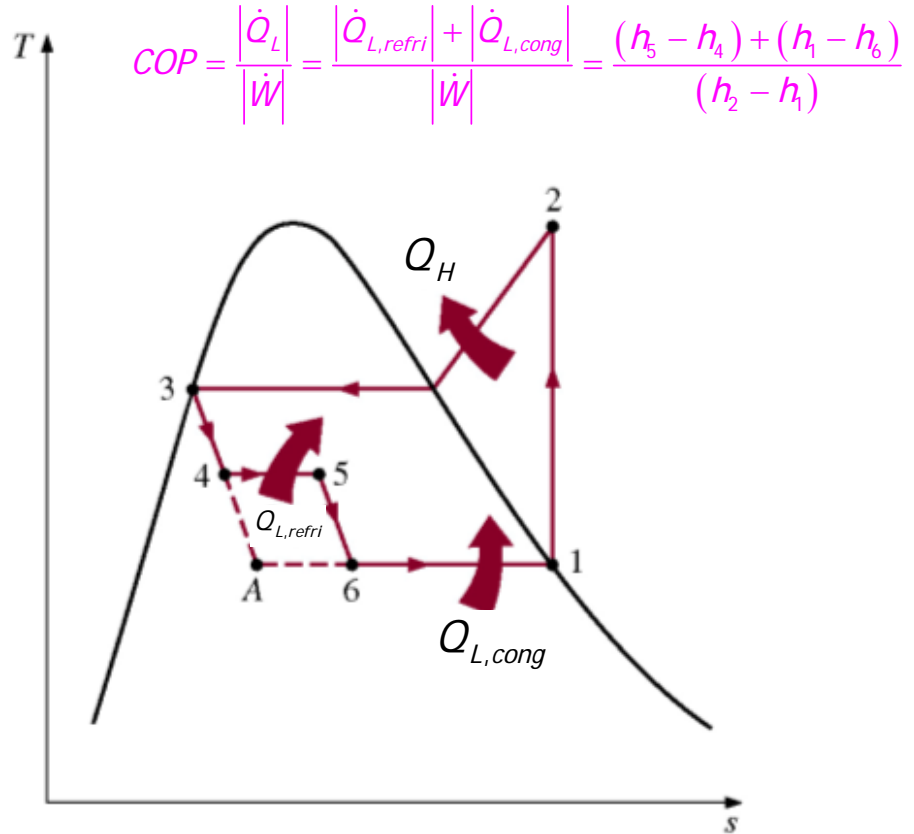
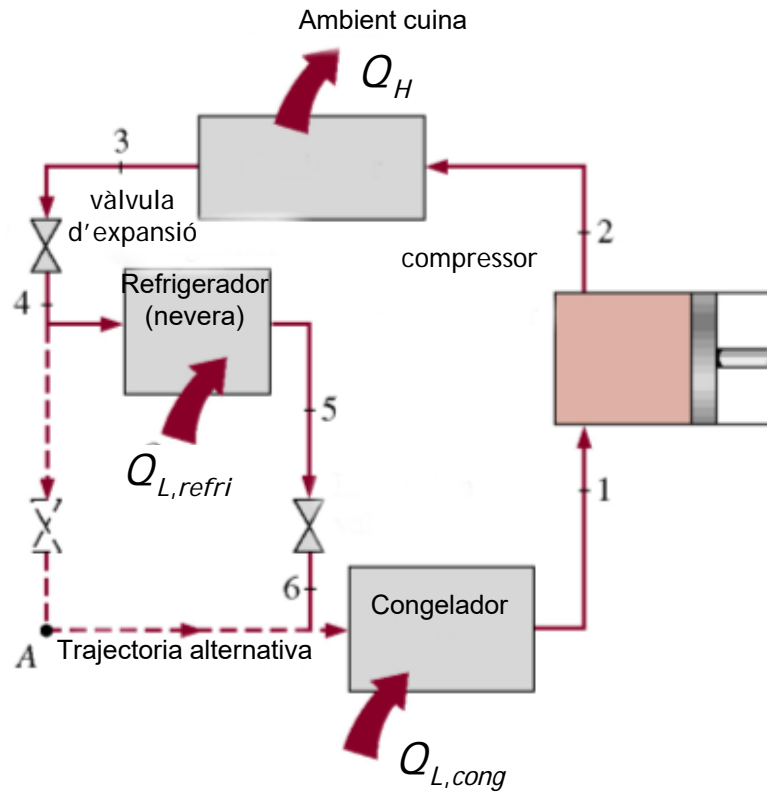
$$\dot{m}x_6 h_3 + (1-x_6)\dot{m}h_2 = \dot{m}h_9$$

Determinació h_9 a la sortida de la cambra mesclat

Cicle de refrigeració per compressió de vapor multietapa

- Sí s'utilitza un sol refrigerant en un cicle amb cascada, l'intercanviador de calor es pot substituir per una cambra vaporització instantània
- Compressió interrefredada $\Rightarrow W \downarrow, COP \uparrow$

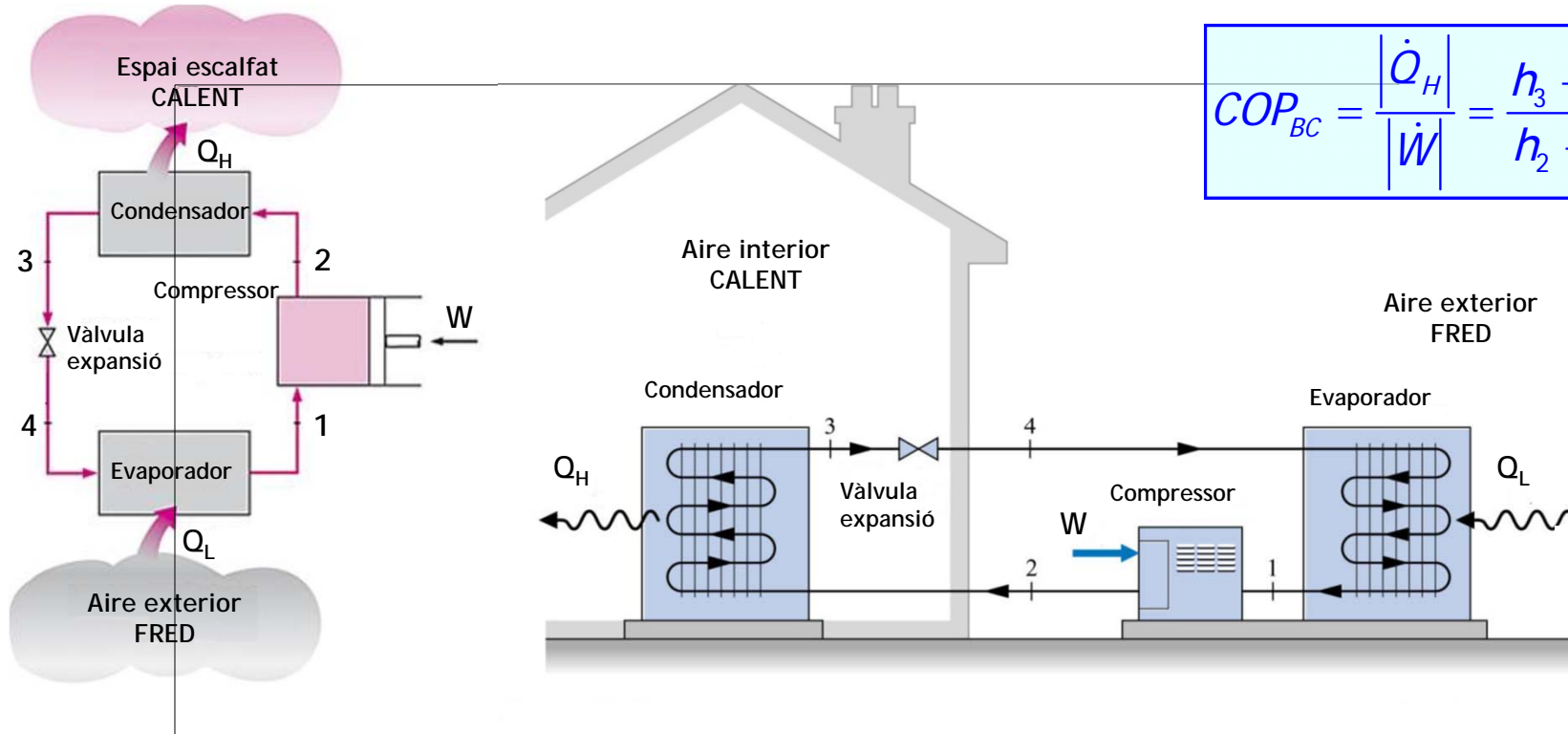
Cicle de refrigeració amb dos evaporadors



Cicle de refrigeració amb dos evaporadors

- Sistemes amb necessitats de refrigeració a varies temperatures
- Habitual en neveres-congeladors amb un sol compressor

Bomba de calor per compressió de vapor

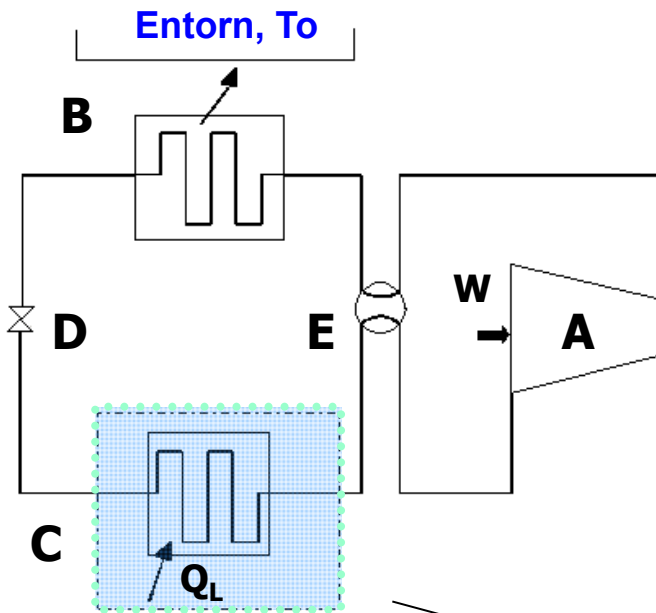


Bomba de calor per compressió de vapor

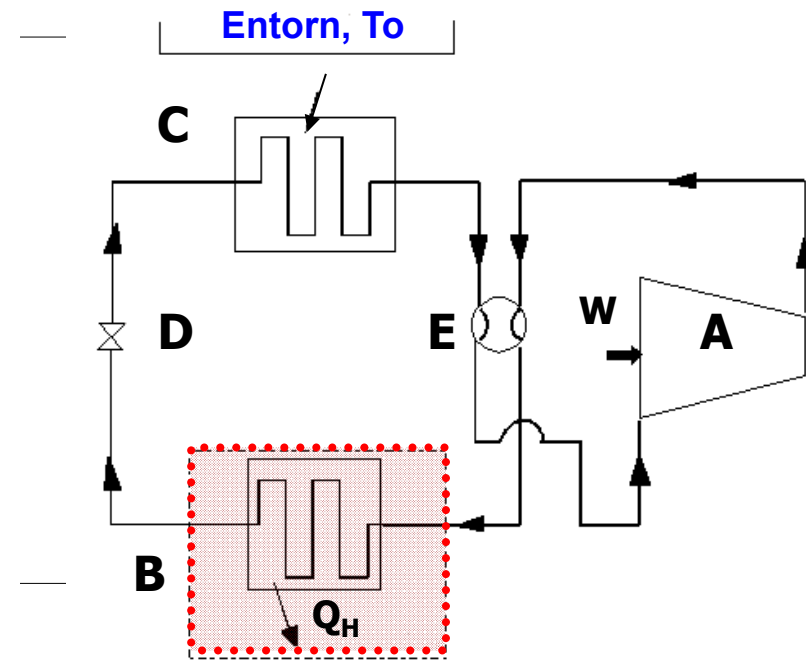
- Té els mateixos components que un cicle de refrigeració per compressió de vapor
- El COP es sempre superior a la unitat
- La majoria de bombes de calor són dels tipus aire-aire invertibles per a poder funcionar també com a cicles de refrigeració

Equips que a la vegada són CR i BC

EQUIP ACTUANT COM A CICLE DE REFRIGERACIÓ



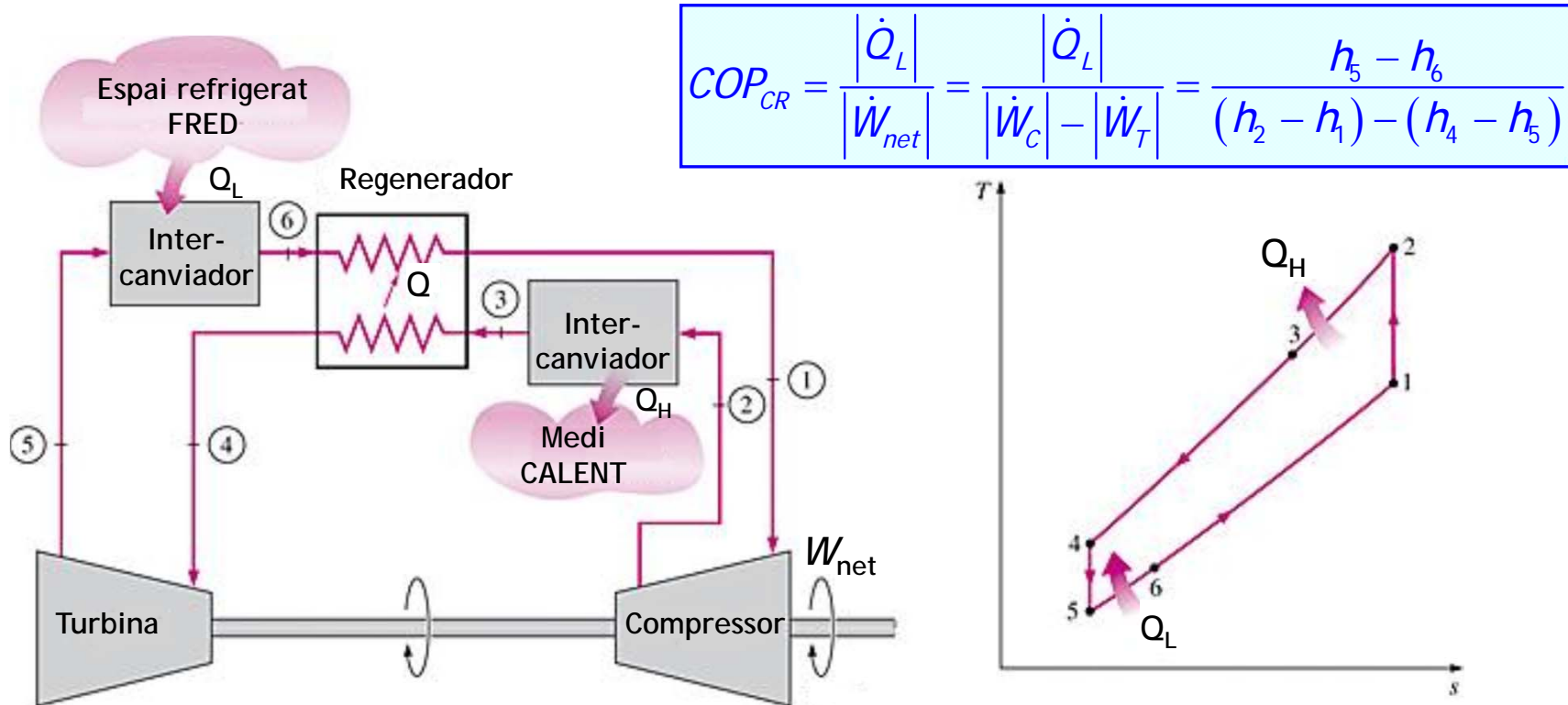
EQUIP ACTUANT COM A BOMBA DE CALOR



- A. COMPRESSOR
- B. CONDENSADOR
- C. EVAPORADOR
- D. VÀLVULA D'ESTRANGULAMENT
- E. VÀLVULA DE 3/4 VIES

RECINTE ON ES PRODUEIX L'EFECTE ÚTIL

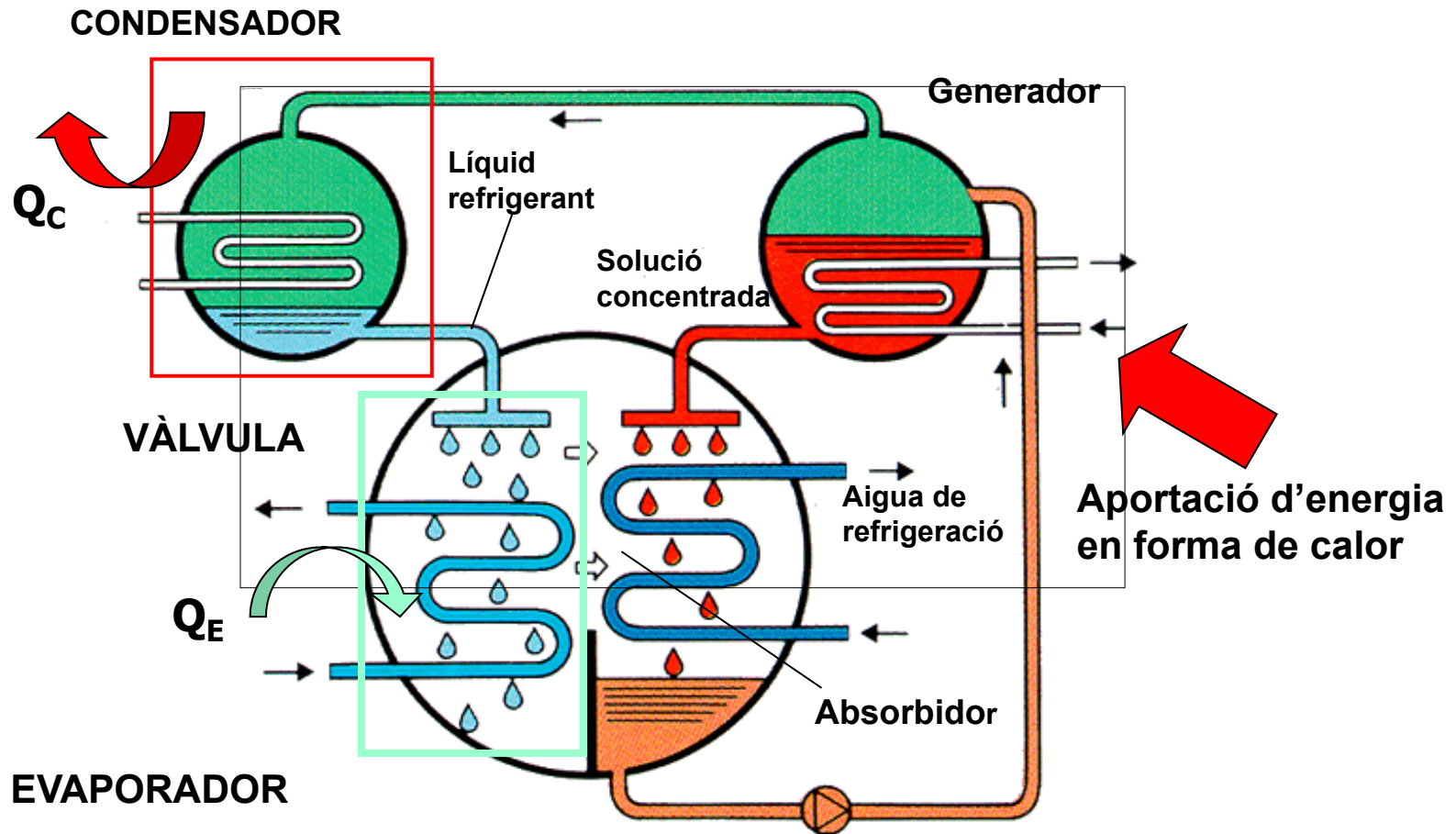
CR/ BC per gas amb regenerador



Cicle de Brayton invers (refrigeració per gas)

- Es reemplaça la vàlvula per una turbina (rentable W_T gran)
- S'assoleixen temperatures molt baixes (sense regeneració T_3 es l'ambient)
- Aplicacions en líquefacció de gasos i climatització de cabines avions
- Poden existir irreversibilitats. Habitualment funcionen amb aire estàndard

CR/BC per absorció



- Fluids refrigerants : Dissolució d'amoníac-aigua o Dissolució de BrLi-aigua
- Aportació d'energia primària en forma de calor
- A igualtat de potència, són equips molt més voluminosos que els sistemes per compressió