

PRÀCTICA 16

MÀQUINES TÈRMiques

OBJECTIUS

Anàlisi del cicle de refrigeració per compressió en un diagrama de Mollier. Determinació de l'eficiència frigorífica per procediments calorimètrics.

MATERIAL NECESSARI

| | |
|------------------------|--------------------|
| Màquina frigorífica | 2 calorímetres |
| Termòmetre digital | Proveta graduada |
| Diagrama $p-h$ (R134A) | Agitador |
| Wattímetre | Vas de precipitats |
| 4 termoparells | Xeringa |
| 2 manòmetres | |

INTRODUCCIÓ TEÒRICA

Les màquines frigorífiques són dispositius que transfereixen energia en forma de calor des d'una substància a una altra que es troba a major temperatura. El dispositiu real que realitza esta transferència de calor requereix el subministrament d'una energia addicional en forma de treball, com indica la Fig. 1. Des del punt de vista termodinàmic no hi ha cap diferència entre un dispositiu refrigerador (o màquina frigorífica) i una bomba de calor (o bomba tèrmica). La diferència està en el propòsit que es pretén aconseguir en este procés.

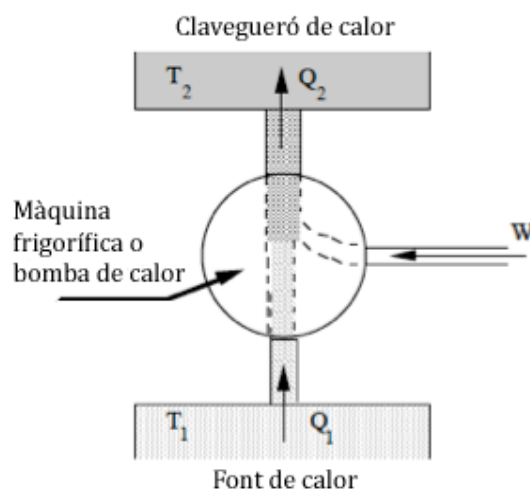


Figura 1.- Esquema d'una màquina frigorífica o bomba de calor.

Sent $T_2 > T_1$ i representant els valors absoluts de les quantitats de calor i el treball per Q_1 , Q_2 i W , respectivament, es compleix que $Q_2 = Q_1 + W$.

Rep el nom d'eficiència (o rendiment) β el quocient de dividir el que es pretén obtenir pel treball que hem de subministrar a la màquina per al seu funcionament. Per tant:

$$\beta_{f\text{ frigorífic}} = \frac{Q_1}{W}, \quad \beta_{bomba} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_1 + W}{W} = \beta_{f\text{ frigorífic}} + 1 \quad (1)$$

El cicle de refrigeració

En la Fig. 2 es mostra el sistema de refrigeració per compressió mecànica del vapor i la representació termodinàmica del cicle en un diagrama T - S . En este sistema existeixen només dos nivells de pressió i consta de quatre elements fonamentals: compressor, condensador, vàlvula d'expansió i evaporador. La calor es cedeix o s'absorbeix a pressió constant dins de la corba de saturació, de manera que el fluid de treball realitza dos canvis d'estat.

El vapor en **b** es comprimeix de p_1 a p_2 , arribant al punt **c** (el compressor realitza un treball W). El vapor es condensa a pressió constant en el condensador, cedint una calor Q_2 . El líquid condensat en el procés isobàric **c-d**, s'expansiona per efecte Joule-Kelvin (J-K), sense cap treball extern, de p_2 a p_1 , i s'assoleix així el punt **a**, que és una mescla amb molt de líquid i poc de vapor. En el procés **a-b**, a pressió i temperatura constants, es produeix l'evaporació de tot el líquid, absorbint-se una calor Q_1 .

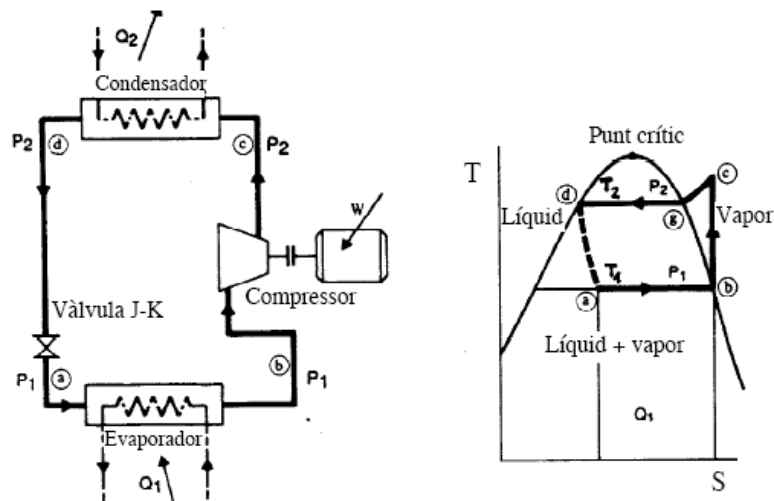


Figura 2.- Cicle de refrigeració per compressió i diagrama T - S del mateix.

El procés d'expansió per efecte J-K és irreversible, i no es pot representar al diagrama T - S , però l'estat del punt final és conegut perquè, en estes condicions, l'entalpia del fluid després de la vàlvula (punt **a**), és la mateixa que tenia abans (punt **d**).

Quan s'aplica l'equació energètica d'un fluid en règim estacionari al procés de compressió adiabàtica, es demostra que tot el treball realitzat sobre el fluid (en valor absolut perquè $W < 0$), és igual a l'increment de l'entalpia del fluid en el dit procés. En valor per unitat de massa m

$$\frac{|W|}{m} = h_c - h_b \quad (2)$$

L'efecte refrigerant és igual a la diferència d'entalpies dels punts extrems del procés d'evaporació a pressió constant (punts **a** i **b**). Així,

$$\frac{Q_1}{m} = h_b - h_a = h_b - h_d \quad (3)$$

Anàlogament, l'efecte calefactor val:

$$\frac{Q_2}{m} = h_c - h_d \quad (4)$$

Diagrama pressió-entalpia (Mollier).

Este diagrama termodinàmic resulta molt adequat per a l'estudi del cicle termodinàmic d'una màquina frigorífica. Es representa en la Fig. 3. El seu avantatge principal és que les quantitats de calor i de treball es mesuren per les distàncies lineals segons l'eix d'abscisses i que els processos isobàrics es representen per línies horitzontals. El cicle de refrigeració es realitza entre dues pressions ben diferenciades. Els punts principals del cicle es localitzen fàcilment en una o una altra de les dos línies de pressió. Ja que l'entalpia és constant en el procés d'expansió J-K, la línia **d-a** es dibuixa de seguida i el punt **a** es localitza fàcilment a partir del punt **d**. En el cicle mostrat en la Fig. 3, resulta evident que les quantitats Q_2 , Q_1 i W compleixen la condició $Q_2 = Q_1 + W$ (en valors absoluts).

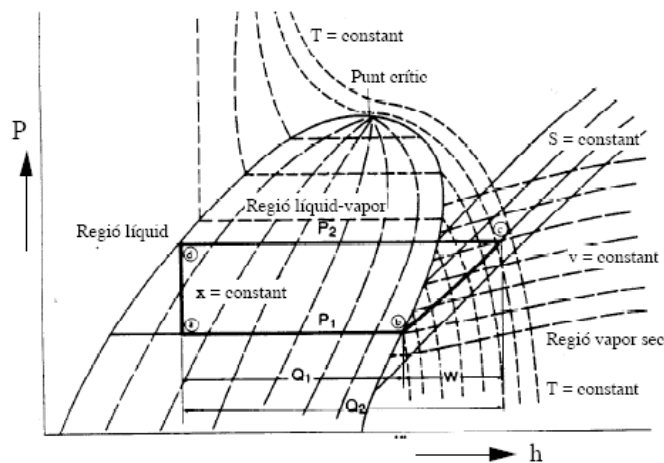


Figura 3.- Cicle de refrigeració en el diagrama pressió-entalpia.

PROCEDIMENT EXPERIMENTAL

Dispositiu experimental

El dispositiu experimental utilitzat es pot veure en la Fig. 4. El grup motor-compressor funciona a 220-240 V, 50 Hz i 100 W. Disposa de boca de succió, **B**, eixida de pressió, **A**, i vàlvula de càrrega de refrigerant, **C**. Condensador i evaporador estan constituïts per serpents de coure que funcionen com a intercanviadors de calor. El tub de coure està enrotllat en forma helicoidal. En el circuit s'ha instal·lat un filtre absorbent del vapor d'aigua per a evitar la formació de gel en el procés d'expansió. Com a vàlvula d'estrenyiment s'utilitza un tub de coure de 1 mm de diàmetre interior.

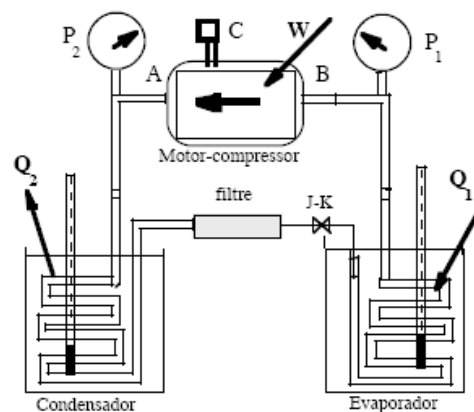


Figura 4.- Dispositiu experimental.

Es mesuren les pressions p_1 (baixa) i p_2 (alta) amb els corresponents manòmetres i les temperatures tant a l'entrada com a l'eixida de cada dels serpentins, utilitzant sensors constituïts per termoparells tipus K (crómel-alúmel) de lectura digital.

Realització dels mesuraments

Es col·loca en els dos calorímetres la quantitat d'aigua necessària (en els dos igual) per a cobrir completament els dos serpentins, anotant i mesurant la dita quantitat amb la proveta graduada. Pren nota de la temperatura de l'aigua amb el termòmetre de resistència de platí (T_1 i T_2). S'anoten finalment els valors inicials indicats pels diferents sensors que hi ha en el dispositiu experimental: els manòmetres (p_1 y p_2) i els termoparells col·locats a l'entrada i a l'eixida de condensador i evaporador (T_a, T_b, T_c y T_d).

Després d'esta primera mesura, es connecta el compressor i es mesura cada dos minuts (fins a un màxim de 10 min) la temperatura de l'aigua, agitant-la metòdicament i, en especial, abans de cada lectura. També s'anotaran els valors de la potència del compressor, així com les pressions i les lectures dels termoparells.

Es repeteix tot el procés anterior tres vegades, buidant cada vegada l'aigua dels calorímetres amb ajuda de la xeringa. És important assegurar-se de tornar a la temperatura inicial i de tindre la mateixa temperatura en l'aigua dels dos calorímetres abans de tornar a començar (per a això potser serà necessari tornar a canviar l'aigua, per estalviar temps). Tal vegada serà necessari no tindre en compte la primera tanda de mesures a la vista dels resultats (la màquina ha d'assolir un règimen de treball adequat). Amb els valors mitjans de les temperatures de l'aigua es calcularà l'eficiència frigorífica i calefactora, tenint en compte que la calor cedida o absorbida pel condensador i evaporador, respectivament, corresponen a la calor absorbida o cedida per l'aigua, $mc \Delta T$.

A partir dels valors mitjans de les pressions i temperatures mesurades en els punts principals del cicle, es dibuixarà sobre el diagrama de Mollier el cicle ideal que s'assemble més a les condicions experimentals. A partir d'este diagrama, llegint en l'eix d'abscisses els valors de l'entalpia en cada punt, es calcularan també les eficiències corresponents.

PRESENTACIÓ DE RESULTATS

- (a) Taula amb els valors de la potència, la temperatura de l'aigua en els calorímetres, la temperatura dels termoparells i les pressions mesurades (amb els seus errors) en funció del temps.
- (b) Gràfica temperatura-temps per a T_1 i T_2 . Comentaris.
- (c) Valors de la calor absorbida i cedida per l'aigua en els calorímetres per unitat de temps, així com la potència calculada com a diferència d'eixos valors.
- (d) Representació del cicle ideal en el diagrama de Mollier i taula amb els valors de pressió, temperatura i entalpia (amb els seus errors) llegits a partir del diagrama.
- (e) Eficiències obtingudes a partir de las mesures calorimètriques i del diagrama $p-h$ (amb els seus errors). Comentaris sobre las diferències obtingudes.