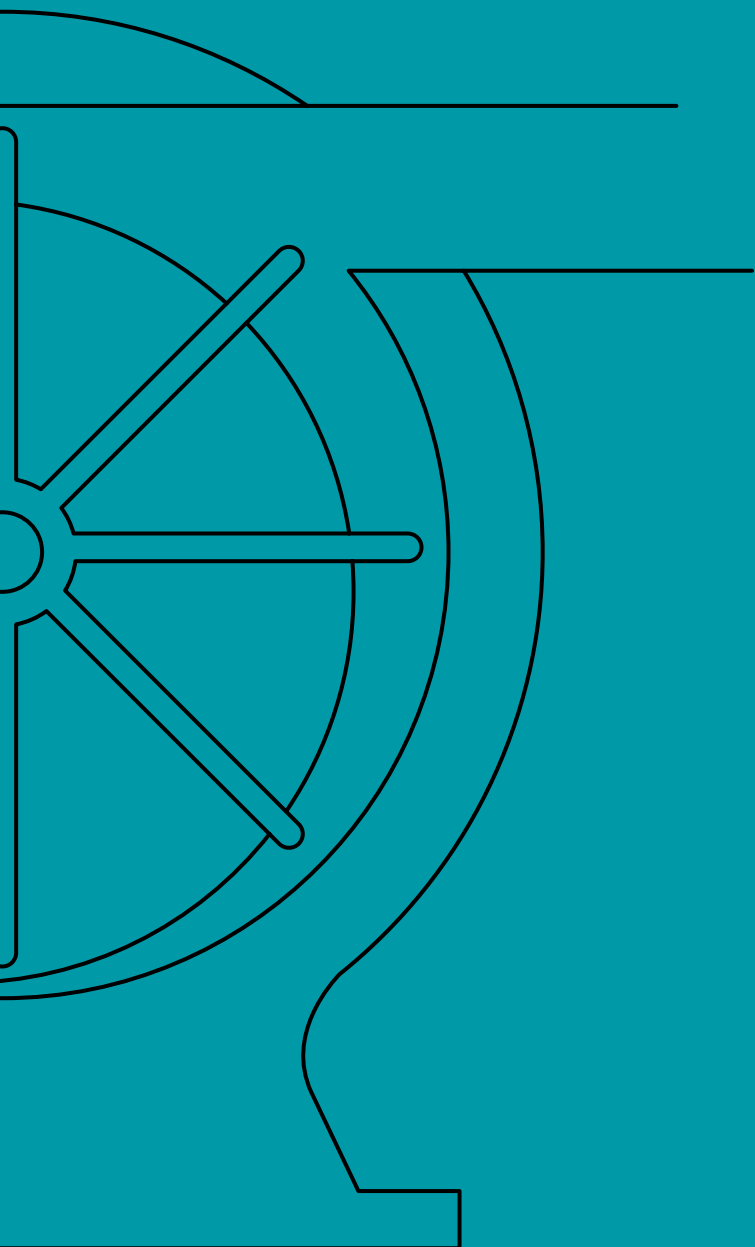
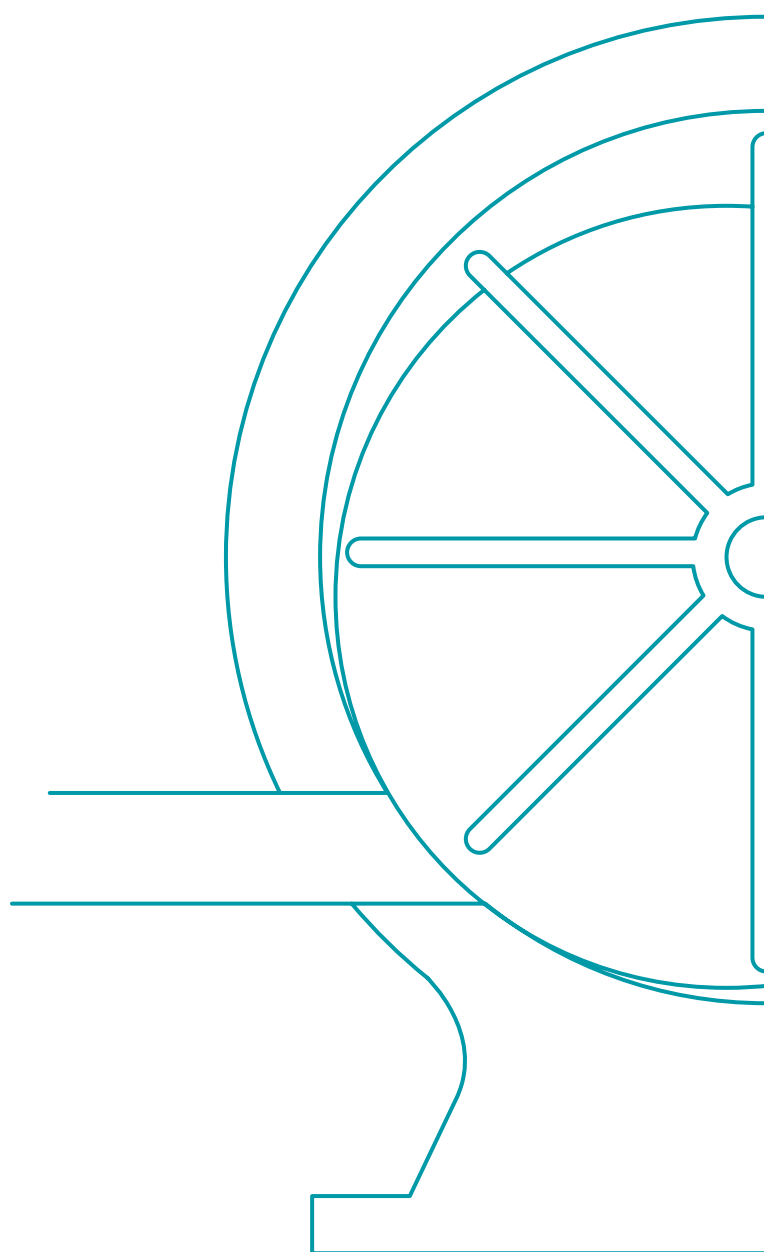


**COL·LECCIÓ**  
**BALANÇ ENERGÈTIC**  
**D'EQUIPS CONSUMIDORS**  
MESURA I CÀLCUL

**COMPRESSORS**

**12**

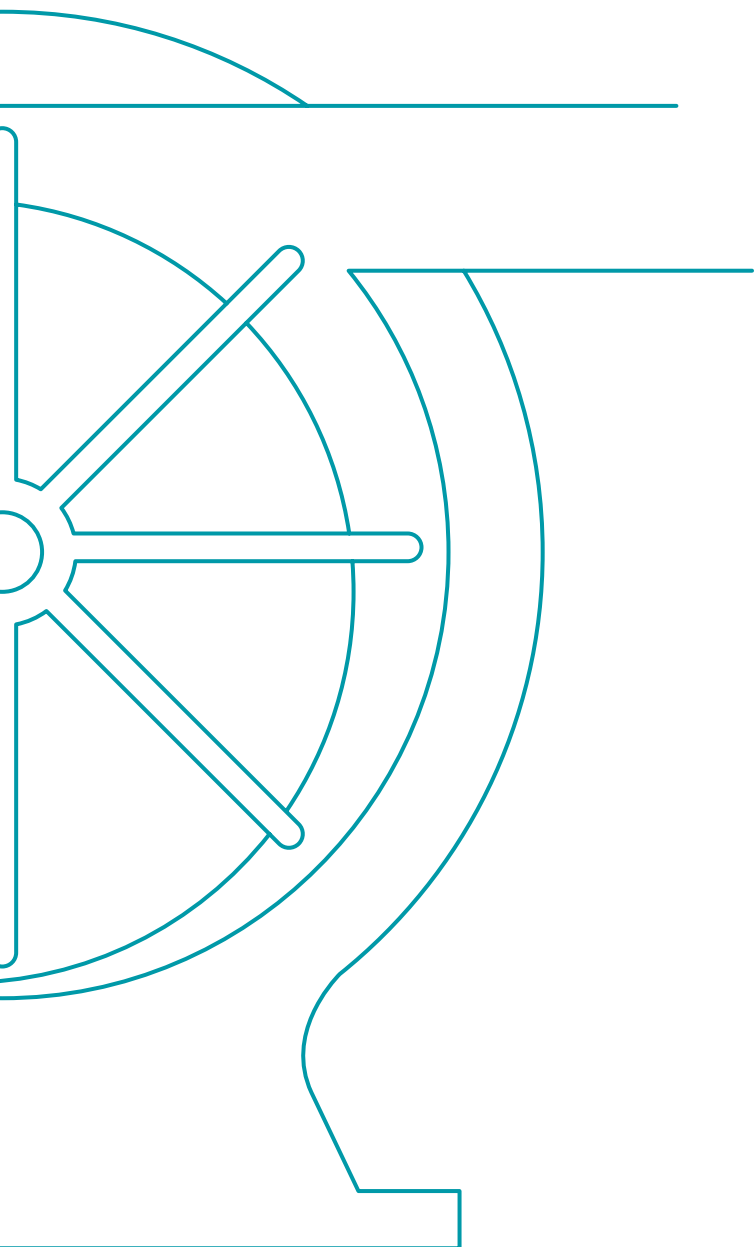




**COL·LECCIÓ**  
**BALANÇ ENERGÈTIC**  
**D'EQUIPS CONSUMIDORS**  
MESURA I CÀLCUL

**COMPRESSORS**

**12**



**Primera edició**

Desembre de 2016

**Autors**

Aquesta col·lecció ha estat redactada per la Universitat Politècnica de Catalunya. Daniel Garcia-Almiñana i Lluïsa F. Cabeza.

**Coordinació del document**

Mariona Coll - Institut Català d'Energia

**Revisor del document**

Josep M<sup>a</sup> Piguillem - EFIENER ENGINYERIA SLP

**Disseny**

Eva Sánchez - Institut Català d'Energia

**Maquetació**

OXIGEN Comunicació gràfica

**Versió electrònica**

[icaen.gencat.cat/balancenergetic](http://icaen.gencat.cat/balancenergetic)



Aquesta obra està subjecta a una llicència Reconeixement-No Comercial-SenseObres Derivades 3.0 de Creative Commons. Se'n permet la còpia, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi la font (Institut Català d'Energia) i l'ús concret no inclogui finalitat comercial. S'ha d'informar sobre les condicions sota les que aquest treball pot ser distribuït o comunicat. Tampoc no se'n poden fer obres derivades.

Per veure'n una còpia, visiteu:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>

# Índex

<b>0</b>	<b>Pròleg</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Introducció</b>	<b>9</b>
1.1	Justificació del mòdul	9
1.2	Objectiu del mòdul	9
1.3	Abast del mòdul	9
<b>2</b>	<b>Descripció del sistema</b>	<b>10</b>
2.1	Definició	10
2.2	Principis de funcionament i paràmetres	10
2.3	Tipologies d'equip	11
2.4	Normativa aplicable	14
2.5	Descripció gràfica	14
<b>3</b>	<b>Definició del balanç energètic</b>	<b>16</b>
3.1	Descripció del balanç energètic	16
3.2	Esquema del balanç energètic	16
<b>4</b>	<b>Bases de càlcul</b>	<b>17</b>
4.1	Formulació	17
4.2	Taules i diagrames	19
<b>5</b>	<b>Planificació de mesures</b>	<b>23</b>
5.1	Dades de què es disposa	23
5.2	Dades a mesurar	23
5.3	Inventari d'aparells de mesura	23
5.4	Seguretat en persones i equips	24
<b>6</b>	<b>Realització de les mesures</b>	<b>25</b>
6.1	Mesura de les temperatures de superfície	25
6.2	Mesura de la potència elèctrica	27
<b>7</b>	<b>Exemple pràctic</b>	<b>28</b>
7.1	Enunciat	28
7.2	Dades	28
7.3	Càlculs i resultat	29
7.4	Comentaris	30
<b>8</b>	<b>Referències</b>	<b>31</b>



# 0. Pròleg

La Generalitat de Catalunya va aprovar el 9 d'octubre de 2012 el Pla de l'energia i canvi climàtic de Catalunya 2012-2020 (Pecac 2020), que serveix com a guia per a les polítiques energètiques i de mitigació del canvi climàtic a Catalunya. Un dels eixos principals del pla és promoure i desenvolupar projectes d'estalvi energètic i energies renovables. Les polítiques d'estalvi i eficiència energètica es configuren com un instrument de progrés de la societat, perquè contribueixen al benestar de la població, representen un element de responsabilitat social, projecten les activitats humanes cap al desenvolupament sostenible i estableixen un marc per al desenvolupament de la competitivitat empresarial.

Les auditories energètiques són una peça clau per identificar les oportunitats i potenciar les inversions en projectes d'estalvi energètic i energies renovables. Una auditoria energètica de qualitat aporta la informació necessària a un centre consumidor d'energia, ja sigui un edifici, una indústria o una flota de transport, per tal d'establir un full de ruta amb una estratègia de millora contínua del seu consum energètic.

En aquest sentit, el novembre de 2012 l'Institut Català d'Energia (ICAEN) va publicar la *Guia metodològica per a realitzar auditories energètiques*, on es ressalta el seu paper clau, sempre que es facin de manera meticulosa. El factor de més pes per determinar la qualitat de l'auditoria és l'obtenció del nombre superior possible de dades mesurades al camp de treball.

Arran d'aquella guia, i de la resposta que va tenir entre els professionals, l'Icaen va detectar que calia complementar la guia amb la formació necessària per fer mesures de camp amb instruments portàtils, i posteriorment conèixer el balanç energètic dels sistemes en estudi. També calia dotar els destinataris d'un cert criteri en la interpretació dels valors obtinguts en les mesures amb els instruments portàtils.

D'aquí neix aquesta publicació, pensada com una col·lecció de mòduls amb una estructura similar. En primer lloc, es justifica l'elecció d'aquell equip i la seva importància en l'àmbit macroeconòmic. Després es descriu i delimita el sistema objecte del balanç energètic i la normativa que se li aplica. A partir d'aquí, es defineix el balanç energètic i tots els càlculs necessaris, fórmula a fórmula, amb les taules i diagrames de bibliografia que calguin. Finalment, es detalla la planificació de les mesures, les característiques dels instruments mesuradors i les mesures mateixes, pas a pas. Per últim, s'inclou l'aplicació de la metodologia del mòdul a un cas concret o dos, i es comenta la fiabilitat dels resultats obtinguts.

Val a dir que aquest càlcul és necessari en l'avaluació o diagnòstic que es porta a terme en una auditoria, però també pot formar part del protocol de manteniment d'una instal·lació, i per tant aquestes mesures de camp poden caldre amb certa periodicitat. És per això que aquesta col·lecció s'adreça tant als professionals del sector de la consultoria energètica com als responsables energètics dels centres consumidors d'energia.

El mòdul que ara us presentem és el dotzè d'aquesta col·lecció que pren com a sistema d'estudi el compressor. El balanç energètic, calcula l'eficiència energètica de l'equip a partir de la relació entre la potència útil absorbida pel fluid i la potència elèctrica subministrada al motor.



# 1. Introducció

## 1.1. Justificació del mòdul

En la majoria d'instal·lacions que utilitzen fluids gasosos es fa necessari el transport d'aquests a través de conductes cap a punts d'utilització diferents dels de la seva captació.

En moltes d'aquestes instal·lacions, només es necessita mantenir un flux continu de fluid a certa velocitat i a baixes pressions, i per això s'utilitzen els ventiladors. En altres instal·lacions i de manera molt freqüent, es fa necessari el transport del fluid cap a punts d'utilització on es requereix una pressió d'aquest molt més elevada que en la seva captació. Els equips que possibiliten la situació anterior són els compressors, que proporcionen l'energia suficient perquè el fluid pugui elevar la seva pressió fins a la requerida.

El fet que els compressors provoquin elevats increments de pressió en els fluids fa que no es puguin tractar com a fluids incompressibles i, per tant, l'eficiència energètica dels compressors no es pot calcular de la mateixa manera que en el cas dels ventiladors o les bombes hidràuliques.

Per tant, l'eficiència energètica dels compressors dependrà del tipus de compressor utilitzat en cada cas, del fluid amb què treballa el compressor, del seu règim de funcionament, del correcte funcionament dels accionaments i mecanismes del compressor i, sobretot, del manteniment, control i regulació d'aquest.

És per això que és convenient la realització d'un balanç energètic en compressors per tal de detectar si s'està produint algun problema relacionat amb els aspectes anteriorment descrits, fets que poden ocasionar una pèrdua energètica en els compressors que es tradueix en un augment dels costos energètics i mediambientals

## 1.2. Objectiu del mòdul

L'objectiu d'aquest mòdul és proporcionar una metodologia per poder realitzar una sèrie de mesures en compressors que formen part d'instal·lacions ja existents i també donar unes bases de càlcul per caracteritzar el balanç energètic d'aquests i caracteritzar en un càlcul posterior l'eficiència energètica.

## 1.3. Abast del mòdul

Aquest mòdul se centra bàsicament en tots els tipus de compressors. A l'apartat 2.3, es mostren detalladament les diferents tipologies constructives de compressors segons la forma de comprimir el fluid de treball.

## 2. Descripció del sistema

### 2.1. Definició

Un compressor és una màquina que bàsicament s'encarrega de proporcionar l'energia necessària a un fluid gasós per transportar-lo d'un punt a baixa pressió a un altre on es requereix una pressió més elevada.

Hi ha diverses tipologies de compressors per la qual cosa es fa difícil descriure les parts de què consta un compressor. De tota manera, es poden destacar cinc parts que possibiliten el funcionament del compressor i que són: la canonada d'aspiració, l'accionament del compressor, el sistema encarregat de comprimir el gas, la carcassa o elements de tancament que protegeixen el sistema de compressió i defineixen el sistema de circulació interior del gas i la canonada d'impulsió.

Pel que fa a l'accionament del compressor, acostuma a ser un motor elèctric amb aco- blament directe al sistema de compressió o indirecte a través d'arbres de transmissió. I, pel que fa al sistema encarregat de comprimir el gas, aquest depèn del tipus de com- pressor, els quals s'exposen a l'apartat 2.3.

Altres dispositius o sistemes a destacar són: el sistema de lubricació, el sistema de re- frigeració, sistemes de seguretat i buidat, i sistemes de regulació i control. Cal dir que els compressors que utilitzen aire com a fluid de treball acostumen a incorporar un calderí com a dipòsit d'aire comprimit.

Igual que els ventiladors, cal dir que els compressors són un dispositiu molt freqüent en la indústria i en altres sectors, ja que constitueixen un element molt útil i imprescindible per a aplicacions de refrigeració, moviment de mecanismes, processos industrials de pintura i, en general, per a totes les aplicacions pneumàtiques de la indústria.

### 2.2. Principis de funcionament i paràmetres

El principi de funcionament d'un compressor és força senzill si no s'entra en massa de- tall en la manera de comprimir el gas, ja que cada tipologia de compressor eleva la pres- sió del fluid mitjançant mecanismes diferents. En primer lloc, el gas entra a la canonada d'aspiració on és aspirat fins al sistema encarregat d'incrementar-ne la pressió. Gràcies al funcionament del motor elèctric, el mecanisme de compressió del gas es posa en marxa transformant l'energia mecànica del motor en l'energia utilitzada per augmentar la pressió del fluid. A mesura que el fluid es va comprimint, va circulant pel circuit interior del compressor fins a arribar a la canonada d'impulsió.

Finalment el fluid comprimit resultant situat a la canonada d'impulsió posseeix l'energia i el nivell de pressió suficient perquè sigui utilitzat.

Un cop es coneixen els principis de funcionament dels compressors, ja es pot calcular l'eficiència energètica d'aquests, és a dir, la relació entre l'energia útil absorbida pel fluid per augmentar-ne la pressió i l'energia elèctrica subministrada al motor per aconseguir-ho.

Per tant, els paràmetres necessaris per calcular l'eficiència energètica d'un compressor que funciona amb un fluid diferent de l'aire són: el cabal màssic del fluid de treball, la densitat i les pressions i temperatures del fluid de treball a l'entrada i sortida del compressor per avaluar les entalpies d'entrada i sortida. A més a més dels anteriors paràmetres necessaris per calcular la potència absorbida pel fluid al seu pas pel compressor, es necessita també la potència elèctrica subministrada al motor elèctric del compressor.

Si el fluid de treball és aire, s'ha de fer la hipòtesi que aquest es comporta com a gas ideal. Per tant, els paràmetres necessaris per calcular la potència absorbida per l'aire al seu pas pel compressor són: el cabal màssic d'aire i les temperatures d'entrada i sortida de l'aire en el compressor per avaluar les entalpies d'entrada i sortida.

### 2.3. Tipologies d'equip

Tal com s'ha referenciat en l'apartat 1.3, els compressors es poden classificar segons la tipologia constructiva del sistema encarregat de comprimir el gas. Segons aquesta classificació, es troben els següents tipus de compressors:

**Compressors alternatius o de pistó.** En aquest tipus de compressors, l'augment de la pressió del fluid es realitza generant un flux intermitent de gas comprimit a partir del moviment de vaivé d'un mecanisme pistó-biela-manovella. El principi de funcionament és força senzill i similar al funcionament dels motors de combustió dels vehicles. En primer lloc, l'energia proporcionada pel motor elèctric acciona el mecanisme pistó-biela-manovella que provoca el moviment de vaivé del pistó. Quan el pistó baixa, s'obre la vàlvula d'entrada la qual cosa permet que el cilindre on s'ubica el pistó s'ompli de gas. Seguidament, es tanca la vàlvula d'entrada i el pistó comença a pujar comprimint el gas i permet que el gas comprimit surti per la vàlvula de sortida prèviament oberta. Finalment, el pistó torna a baixar i torna a començar un nou cicle de compressió.

Aquest tipus de compressors estan sotmesos a un gran desgast producte del fregament dels pistons amb el cilindre i per això han d'estar contínuament lubricats. Amb tot i amb això actualment són el tipus de compressor més utilitzat.

**Compressors de paletes.** Són compressors rotatius, als quals l'augment de la pressió del fluid es realitza a partir de moviment giratori d'un rodets que gira de manera excèntrica respecte al cilindre de la carcassa del compressor.

En els compressors de paletes, el rodet incorpora al llarg del seu perímetre un o més encaixos en els quals s'ubica el fluid gasós i unes paletes acoblades que es troben en constant contacte amb la paret del cilindre.

El principi de funcionament és similar a les bombes hidràuliques de paletes. En primer lloc, gràcies al gir excèntric del rodet respecte al cilindre, es redueix l'espai entre aquests i obliga les paletes a desplaçar-se cap a l'interior dels encaixos, cosa que provoca la compressió del gas situat en l'interior d'aquests. Posteriorment, quan el gas ja ha sortit per la canonada d'impulsió, l'espai entre les paletes i les parets de cilindre augmenta i torna a començar el cicle de compressió.

**Compressors d'ungles (*tooth*).** Altres compressors rotatius que es fan servir són els compressors d'ungles (*tooth*). Els elements compressors són dos rotors que giren en direccions oposades dins de la cambra de compressió.

El procés de compressió es divideix en aspiració, compressió i sortida. Durant la fase d'admissió, l'aire entra a la cambra de compressió fins que els rotors bloquegen l'entrada d'aire. Durant la fase de compressió, l'aire introduït és comprès dins de la cambra de compressió, la qual es fa cada vegada més petita a mesura que els rotors giren. Un dels rotors bloqueja la sortida durant aquesta fase, mentre que l'entrada s'obre per permetre l'entrada de nou aire en la secció oposada a la cambra de compressió. La descàrrega es produeix quan un dels rotors obre la sortida i l'aire comprès és forçat a sortir de la cambra de compressió.

Ambdós rotors són sincronitzats mitjançant un conjunt d'engranatges. El rati màxim de pressió que es pot obtenir amb un compressor d'ungles sense oli és limitat per la diferència de temperatura límit entre l'entrada i la descàrrega. Conseqüentment, diverses etapes amb refredament intermedi són requerides per arribar a pressions superiors.

**Compressors centrífugs.** En aquest tipus de compressors, l'augment de la pressió del fluid gasós es realitza mitjançant el moviment giratori d'un rodet que incorpora una sèrie d'àleps al llarg del seu perímetre.

El funcionament d'un compressor centrífug és gairebé igual al d'una electrobomba centrífuga. En primer lloc, entra el fluid al compressor per mitjà de la canonada d'aspiració; tot seguit, el fluid circula fins a la part central del rodet on, gràcies al moviment de rotació d'aquest i al dels àleps, experimenta un canvi de direcció i guanya energia de pressió i de velocitat. Posteriorment, el fluid es fa passar per un difusor on es disminueix la velocitat i s'augmenta la pressió. I, finalment, el fluid comprimit és transportat a través de la canonada d'impulsió.

**Compressors helicoïdals.** En aquest tipus de compressors, l'augment de la pressió del fluid gasós es fa mitjançant el moviment giratori de dos o més rodets en forma de cargol helicoïdal. Aquests cargols helicoïdals encaixen perfectament generant un espai entre ells que es va reduint al llarg dels cargols i per on circula el gas a baixa pressió. Per efecte del moviment giratori dels cargols i pel fet que l'espai per on circula el gas és cada vegada més reduït, s'aconsegueix la compressió del fluid. El fluid totalment comprimit s'obté a l'altra banda dels cargols.

**Compressors d'espiral (*scroll*).** En aquest tipus de compressors, l'augment de la pressió del fluid gasós es realitza mitjançant el moviment de dues peces en forma d'espiral, una fixa i l'altra mòbil. El centre de rotació de l'espiral mòbil està descentrat respecte a l'espiral fixa, de tal manera que les dues peces constitueixen un espai tancat on s'ubica el gas a comprimir.

Gràcies al moviment relatiu descentrat entre l'espiral fixa i la mòbil, s'obliga els espais que contenen gas a desplaçar-se cap a la zona de descàrrega situada al centre del dispositiu. Durant aquest procés, es redueix cada vegada més l'espai entre les espirals i, per tant, s'obliga el gas a reduir el seu volum o, dit d'una altra manera, a comprimir-se.

En aquest tipus de compressors, el flux de gas comprimit és continu i, per tant, no són necessàries vàlvules d'aspiració ni de descàrrega. Només es fa necessari incorporar vàlvules antiretorn per evitar que el gas comprimit reculi cap a l'interior del compressor.

**Tecnologia lliure d'oli (*oil-free*).** La utilització d'oli com a element lubricant implica un percentatge de contaminació al fluid comprès. Per tal de respondre a les aplicacions que requereixen un fluid més pur, es van desenvolupar compressors on el lubricant no entra en contacte amb l'element compressor. En general, tenen el desavantatge de més desgast de les peces i més pèrdua d'energia per calor. Aquesta tecnologia es pot aplicar a qualsevol tipus de compressor.

**Tecnologia de levitació magnètica.** La levitació magnètica permet anular el contacte entre rotor i coixinets, fent servir coixinets magnètics que fan *levitar* al rotor. Als extrems de l'eix, hi ha rodaments convencionals per als cicles de parada.

La levitació magnètica permet estalviar l'ús de lubricant (per tant, es pot considerar *oil-free*) i redueix el soroll i les vibracions generades. Aquesta tecnologia es pot aplicar a qualsevol tipus de compressor.

**Variació de freqüència.** L'aplicació de variadors de freqüència als motors que mouen els compressors permet una adaptació més eficient a les situacions de càrrega parcial. Altres avantatges són el menor càstig al motor i les peces mecàniques del compressor, el control més precís de la pressió i baixa corrent d'engegada. Aquesta tecnologia es pot aplicar a qualsevol tipus de compressor.

## 2.4. Normativa aplicable

La normativa aplicable en aquest mòdul és bàsicament el Reglament d'equips a pressió [1] i les seves instruccions tècniques complementàries, la instrucció ITC-MIE-AP17 *Instalaciones de tratamiento y almacenamiento de aire comprimido* i el Reial decret 187/2011 [2], corresponent a la transposició espanyola de la Directiva d'ecodisseny 2009/125/CE [3], i d'aplicació als productes relacionats amb l'energia (ErP), ja sigui pel seu consum directe d'energia com pel fet que afecta el consum d'altres aparells. Aquesta normativa es materialitza en reglaments específics per a cada família de productes, els quals fixen els requeriments d'ecodisseny mínims que els productes han de complir per poder disposar del marcat CE.

A tall de consulta, també es pot utilitzar l'Estudi tecnològic del fred industrial i les seves millors tecnologies disponibles en consum d'energia [4] i el Manual tècnic sobre compressors i sistemes de distribució d'aire comprimit [5] proporcionat per l'IDAE.

## 2.5. Descripció gràfica

Des de la Figura 12.1 fins a la Figura 12.8 es mostren les diferents tipologies de compressors esmentades a l'apartat 2.3.

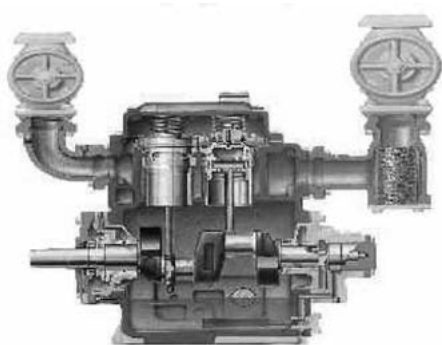


Figura 12.1. Compressor alternatiu o de pistó.

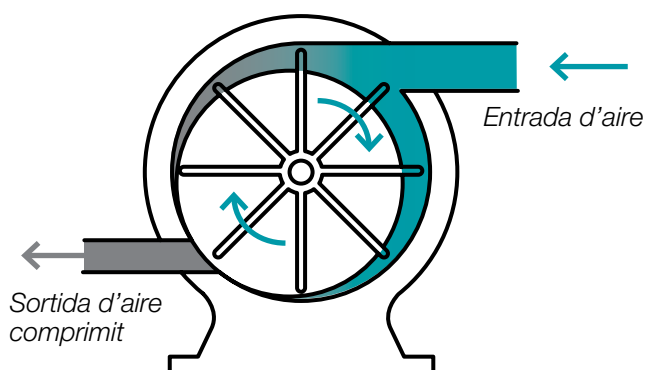


Figura 12.2. Esquema d'un compressor rotatiu.

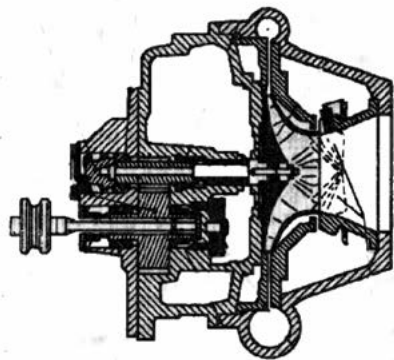


Figura 12.3. Esquema d'un compressor centrífug.

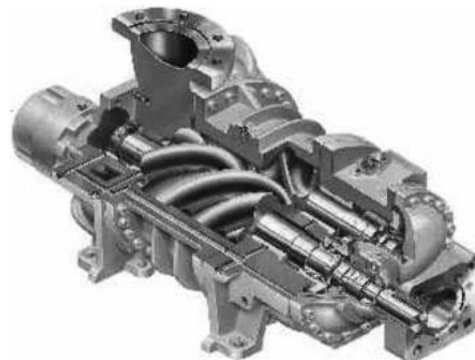


Figura 12.4. Compressor helicoidal o de cargol.



Figura 12.5. Compressor d'espiral o scroll.

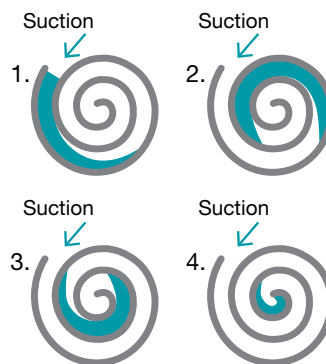


Figura 12.6. Esquema del funcionament d'un compressor d'espiral o scroll.



Figura 12.7. Compressor d'aire amb calderí.

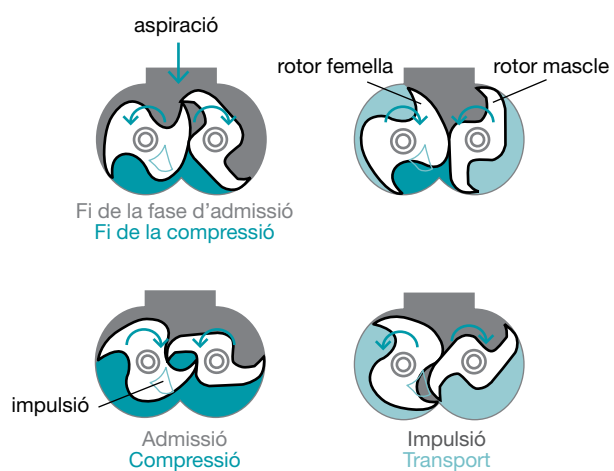


Figura 12.8. Compressor d'ungles (tooth).

## 3. Definició del balanç energètic

### 3.1. Descripció del balanç energètic

Amb l'objectiu d'obtenir informació pel que fa al comportament energètic d'un compressor, s'han d'analitzar els fluxos energètics d'entrada i sortida i igualar-los per tal d'obtenir el balanç energètic.

En compressors, es consideraran com a entrades la potència associada al fluid gasós a l'entrada del compressor i la potència elèctrica subministrada al motor que acciona el compressor. I, com a sortides, es consideraran la potència associada al fluid gasós a la sortida del compressor i les pèrdues energètiques que es puguin presentar en el compressor i accionaments com són les pèrdues associades al motor elèctric i als mecanismes de transmissió, les pèrdues mecàniques per fregament en el compressor, les pèrdues per transferència de calor i altres pèrdues que hi pugui haver.

Un cop es té caracteritzats els fluxos d'entrada i sortida, relacionant la potència útil absorbida pel fluid i la potència elèctrica subministrada al motor, s'obté l'eficiència energètica del compressor.

### 3.2. Esquema del balanç energètic

En l'Equació 12.1, es mostra la relació entre els fluxos d'entrada i de sortida en un compressor i a la figura 12.9, l'esquema del balanç energètic.

$$P_{fluid, in} + P_e = P_{fluid, out} + P_{pèrdues} \quad \text{Equació 12.1}$$

On:

$P_{fluid, in}$  [W] o [kW] correspon a la potència associada al fluid a l'entrada del compressor.

$P_e$  [W] o [kW] correspon a la potència elèctrica subministrada al motor del compressor.

$P_{fluid, out}$  [W] o [kW] correspon a la potència associada al fluid a la sortida del compressor.

$P_{pèrdues}$  [W] o [kW] correspon a la potència de pèrdues en el compressor.



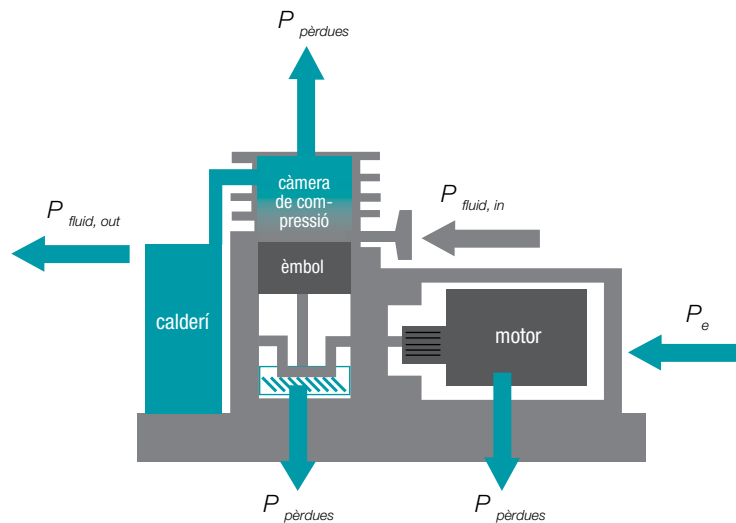


Figura 12.9. Esquema del balanç energètic en un compressor

## 4. Bases de càlcul

### 4.1. Formulació

En primer lloc, s'ha de calcular la potència útil absorbida pel fluid de treball al seu pas pel compressor. Per a fluids de treball diferents de l'aire, es calcula mitjançant l'Equació 12.2:

$$P_{fluid, u} = \dot{V}_{fluid} \cdot \rho_{fluid} (\Delta h_{fluid}) \quad \text{Equació 12.2}$$

On:

$P_{fluid, u}$  [W] o [kW] correspon a la potència útil absorbida pel fluid de treball al seu pas pel compressor.

$\dot{V}_{fluid}$  [m<sup>3</sup>/s] correspon al cabal volumètric del fluid de treball a l'entrada o sortida del compressor.

$\rho_{fluid}$  [kg/m<sup>3</sup>] correspon a la densitat del fluid de treball calculada a la temperatura i pressió del fluid del punt on s'ha mesurat el cabal volumètric. Valor extret dels diagrames P-h realitzant la inversa del volum específic. Per al cas del fluid refrigerant R134a es pot consultar la Figura 12.10.

$\Delta h_{fluid}$  [kJ/kg] correspon a l'increment d'entalpia específica que experimenta el fluid de treball al seu pas pel compressor. Valor extret de diagrames P-h en funció de la pressió i temperatura a l'entrada i sortida del compressor. Per al cas del fluid refrigerant R134a es pot consultar la Figura 12.10.

En el cas que el fluid de treball sigui aire, la potència útil absorbida per aquest al seu pas pel compressor es calcularà mitjançant l'Equació 12.3, i s'assumirà que l'aire es comporta com un gas ideal. En realitat l'aire no es comporta com un gas ideal ja que s'ha de tenir en compte que el vapor d'aigua que aquest conté no és un gas ideal.

$$P_{aire, u} = \dot{m}_{aire} \cdot (\Delta h_{aire}) \quad \text{Equació 12.3}$$

On:

$P_{aire}$  [W] o [kW] correspon a la potència útil absorbida per l'aire al seu pas pel compressor.

$\dot{m}_{aire}$  [kg/s] correspon al cabal màssic d'aire en el compressor.

$\Delta h_{aire}$  [°C] correspon a l'increment d'entalpia específica de l'aire en el compressor<sup>1</sup>.

Un cop calculada la potència útil absorbida pel fluid de treball al seu pas pel compressor, s'ha de calcular la potència elèctrica subministrada pel motor si no es pot mesurar directament. Per a motors monofàsics, es calcula mitjançant l'Equació 12.4 i per a motors trifàsics, mitjançant l'Equació 12.5.

$$P_e = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad \text{Equació 12.4}$$

On:

$P_e$  [W] correspon a la potència elèctrica subministrada al compressor.

$V$  [V] correspon al voltatge del motor que alimenta el compressor.

$I$  [A] correspon a la intensitat del motor que alimenta el compressor.

$\cos \phi$  [-] correspon al factor de potència del motor que alimenta el compressor.

$$P_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \quad \text{Equació 12.5}$$

Un cop es té calculada la potència elèctrica subministrada al compressor, se'n pot calcular el rendiment mitjançant l'Equació 12.6 (fluids diferents de l'aire):

<sup>1</sup> Amb la hipòtesi considerada que l'aire es comporta com un gas ideal, la pressió no influeix en l'entalpia.

$$\eta_c = \frac{P_{fluid, u}}{P_e} \cdot 100 \quad \text{Equació 12.6}$$

On:

$\eta_c$  [%] correspon a l'eficiència energètica del ventilador compressor.

Per a l'aire també es farà servir l'Equació 12.6, però substituint la potència útil del fluid per la de l'aire.

## 4.2. Taules i diagrames

A la Figura 12.10 es mostra el diagrama P-h del refrigerant R134a.

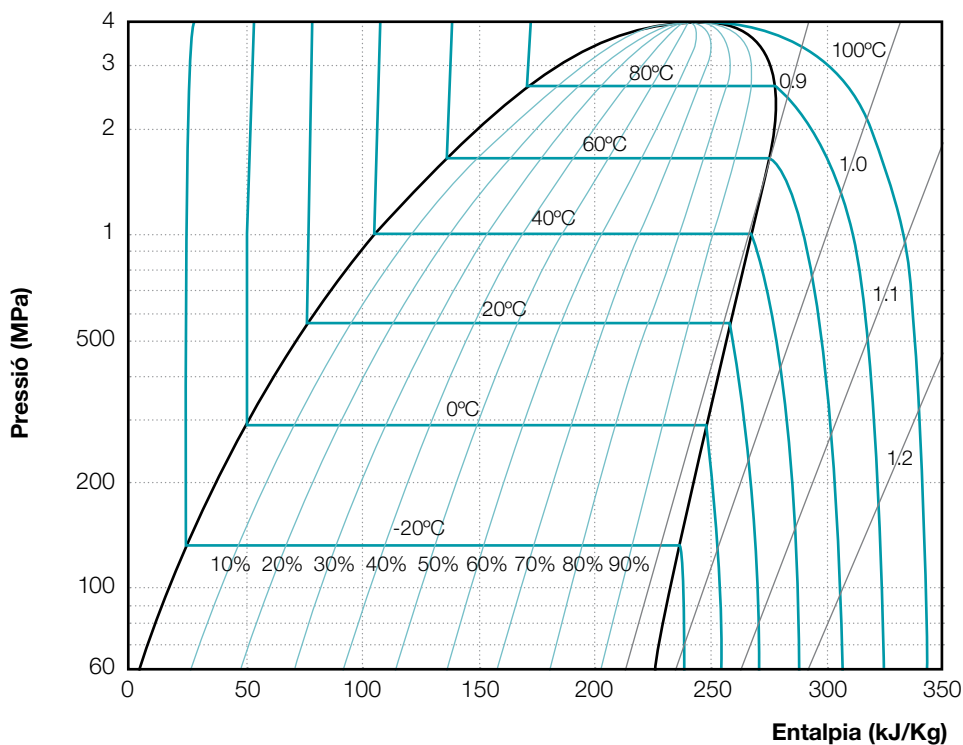


Figura 12.10. Diagrama P-h del fluid refrigerant R134a [6].

A la Taula 12.1 es mostren les propietats de l'aire com a gas ideal en funció de la temperatura d'aquest.

T (K)	h (kJ/kg)	Pressió relativa	u (kJ/kg)	Volum específic relatiu	So (kJ/kg)
200	199,97	0,3363	142,56	1707	1,29559
210	209,97	0,3987	149,69	1512	1,34444
220	219,97	0,469	156,82	1346	1,39105
230	230,02	0,5477	164	1205	1,43557
240	240,02	0,6355	171,13	1084	1,47824
250	250,05	0,7329	178,28	979	1,51917
260	260,09	0,8405	185,45	887,8	1,55848
270	270,11	0,959	192,6	808	1,59634
280	280,13	1,0889	199,75	738	1,63279
285	285,14	1,1584	203,33	706,1	1,65055
290	290,16	1,2311	206,91	676,1	1,66802
295	295,17	1,3068	210,49	647,9	1,68515
300	300,19	1,386	214,07	621,2	1,70203
305	305,22	1,4686	217,67	596	1,71865
310	310,24	1,5546	221,25	572,3	1,73498
315	315,27	1,6442	224,85	549,8	1,75106
320	320,29	1,7375	228,42	528,6	1,7669
325	325,31	1,8345	232,02	508,4	1,78249
330	330,34	1,9352	235,61	489,4	1,79783
340	340,42	2,149	242,82	454,1	1,8279
350	350,49	2,379	250,02	422,2	1,85708
360	360,58	2,626	257,24	393,4	1,88543
370	370,67	2,892	264,46	367,2	1,91313
380	380,77	3,176	271,69	343,4	1,94001
390	390,88	3,481	278,93	321,5	1,96633
400	400,98	3,806	286,16	301,6	1,99194
410	411,12	4,153	293,43	283,3	2,01699
420	421,26	4,522	300,69	266,6	2,04142
430	431,43	4,915	307,99	251,1	2,06533
440	441,61	5,332	315,3	236,8	2,0887
450	451,8	5,775	322,62	223,6	2,11161
460	462,02	6,245	329,97	211,4	2,13407
470	472,24	6,742	337,32	200,1	2,15604
480	482,49	7,268	344,7	189,5	2,1776
490	492,74	7,824	352,08	179,7	2,19876
500	503,02	8,411	359,49	170,6	2,21952
510	513,32	9,031	366,92	162,1	2,23993
520	523,63	9,684	374,36	154,1	2,25997
530	533,98	10,37	381,84	146,7	2,27967

Taula 12.1. Propietats de gas ideal de l'aire [7].

T (K)	h (kJ/kg)	Pressió relativa	u (KJ/kg)	Volum específic relatiu	So (kJ/kg)
540	544,35	11,1	389,34	139,7	2,29906
550	555,74	11,86	396,86	133,1	2,31809
560	565,17	12,66	404,42	127	2,33685
570	575,59	13,5	411,97	121,2	2,35531
580	586,04	14,38	419,55	115,7	2,37348
590	596,52	15,31	427,15	110,6	2,3914
600	607,02	16,28	434,78	105,8	2,40902
610	617,53	17,3	442,42	101,2	2,42644
620	628,07	18,36	450,09	96,92	2,44356
630	638,63	19,44	457,78	92,84	2,46048
640	649,22	20,64	465,5	88,99	2,47716
650	659,84	21,86	473,25	85,34	2,49364
660	670,47	23,13	481,01	81,89	2,50985
670	681,14	24,46	488,81	78,61	2,52589
680	691,82	25,85	496,62	75,5	2,54175
690	702,52	27,29	504,45	72,56	2,55731
700	713,27	28,8	512,33	69,76	2,57277
710	724,04	30,38	520,23	67,07	2,5881
720	734,82	32,02	528,14	64,53	2,60319
730	745,62	33,72	536,07	62,13	2,61803
740	756,44	35,5	544,02	59,82	2,6328
750	767,29	37,35	551,99	57,63	2,64737
760	778,18	39,27	560,01	55,54	2,66176
780	800,03	43,35	576,12	51,64	2,69013
800	821,95	47,75	592,3	48,08	2,71787
820	843,98	52,59	608,59	44,84	2,74504
840	866,08	57,6	624,95	41,85	2,7717
860	888,27	63,09	641,4	39,12	2,79783
880	910,56	68,98	657,95	36,61	2,82344
900	932,93	75,29	674,58	34,31	2,84856
920	955,38	82,05	691,28	32,18	2,87324
940	977,92	89,28	708,08	30,22	2,89748
960	1000,55	97	725,02	28,4	2,92128
980	1023,25	105,2	741,98	26,73	2,94468
1000	1046,04	114	758,94	25,17	2,9677
1020	1068,89	123,4	776,1	23,72	2,99034
1040	1091,85	133,3	793,36	23,29	3,0126
1060	1114,86	143,9	810,62	21,14	3,03449
1080	1137,89	155,2	827,88	19,98	3,05608
1100	1161,07	167,1	845,33	18,896	3,07732



T (K)	h (kJ/kg)	Pressió relativa	u (KJ/kg)	Volum específic relatiu	So (kJ/kg)
1120	1184,28	179,7	862,79	17,886	3,09825
1140	1207,57	193,1	880,35	16,946	3,11883
1160	1230,92	207,2	897,91	16,064	3,13916
1180	1254,34	222,2	915,57	15,241	3,15916
1200	1277,79	238	933,33	14,47	3,17888
1220	1301,31	254,7	951,09	13,747	3,19834
1240	1324,93	272,3	968,95	13,069	3,21751
1260	1348,55	290,8	986,9	12,435	3,23638
1280	1372,24	310,4	1004,76	11,835	3,2551
1300	1395,97	330,9	1022,82	11,275	3,27345
1320	1419,76	352,5	1040,88	10,747	3,2916
1340	1443,6	375,3	1058,94	10,247	3,30959
1360	1467,49	399,1	1077,1	9,78	3,32724
1380	1491,44	424,2	1095,26	9,337	3,34474
1400	1515,42	450,5	1113,52	8,919	3,362
1420	1539,44	478	1131,77	8,526	3,37901
1440	1563,51	506,9	1150,13	8,153	3,39586
1460	1587,63	537,1	1168,49	7,801	3,41247
1480	1611,79	568,8	1186,95	7,468	3,42892
1500	1635,97	601,9	1205,41	7,152	3,44516
1520	1660,23	636,5	1223,87	6,854	3,4612
1540	1684,51	672,8	1242,43	6,569	3,47712
1560	1708,82	710,5	1260,99	6,301	3,49276
1580	1733,17	750	1279,65	6,046	3,50829
1600	1757,57	791,2	1298,3	5,804	3,52364
1620	1782	834,1	1316,96	5,574	3,53879
1640	1806,46	878,9	1335,72	5,355	3,55381
1660	1830,96	925,6	1354,48	5,147	3,56867
1680	1855,5	974,2	1373,24	4,949	3,58335
1700	1880,1	1025	1392,7	4,761	3,5979
1750	1941,6	1161	1439,8	4,328	3,6336
1800	2003,3	1310	1487,2	3,994	3,6684
1850	2065,3	1475	1534,9	3,601	3,7023
1900	2127,4	1655	1582,6	3,295	3,7354
1950	2189,7	1852	1630,6	3,022	3,7677
2000	2252,1	2068	1678,7	2,776	3,7994
2050	2314,6	2303	1726,8	2,555	3,8303
2100	2377,7	2559	1775,3	2,356	3,8605
2150	2440,3	2837	1823,8	2,175	3,8901
2200	2503,2	3138	1872,4	2,012	3,9191
2250	2566,4	3464	1921,3	1,864	3,947

## 5 Planificació de mesures

### 5.1 Dades de què es disposa

- Dades nominals del compressor i tipus de fluid de treball que utilitza
- Densitat del fluid de treball:  $\rho_{fluid}$  [kg/m<sup>3</sup>]
- Cabal volumètric del fluid de treball:  $\dot{V}_{fluid}$  [m<sup>3</sup>/s]
- Entalpia específica del fluid a l'entrada del compressor:  $h_{fluid, in}$  [kJ/kg]
- Entalpia específica del fluid a la sortida del compressor:  $h_{fluid, out}$  [kJ/kg]
- Cabal màssic d'aire en el compressor:  $\dot{m}_{aire}$  [kg/s]
- Entalpia específica de l'aire a l'entrada del compressor:  $h_{aire, in}$  [kJ/kg]
- Entalpia específica de l'aire a la sortida del compressor:  $h_{aire, out}$  [kJ/kg]

### 5.2 Dades a mesurar

- Pressió del fluid a l'entrada del compressor:  $P_{in}$  [MPa] o [bar]
- Pressió del fluid a la sortida del compressor:  $P_{out}$  [MPa] o [bar]
- Temperatura del fluid a l'entrada del compressor:  $T_{fluid, in}$  [°C]
- Temperatura del fluid a la sortida del compressor:  $T_{fluid, out}$  [°C]
- Temperatura de l'aire a l'entrada del compressor:  $T_{aire, in}$  [°C]
- Temperatura de l'aire a la sortida del compressor:  $T_{aire, out}$  [°C]
- Potència elèctrica:  $P_e$  [W]
- Voltatge del motor que alimenta el compressor:  $V$  [V]
- Intensitat del motor que alimenta el compressor:  $I$  [A]
- Factor de potència del motor que alimenta el compressor:  $\cos\phi$  [-]

### 5.3. Inventari d'aparells de mesura

- Termòmetre de contacte/Termòmetre d'infraroig (Figura 12.11 i Figura 12.12 respectivament).

– Variables mesurades:  $T_{fluid, in}$ ,  $T_{fluid, out}$ ,  $T_{aire, in}$ ,  $T_{aire, out}$



Figura 12.11. Multímetre TESTO 435 + Sonda de superfície.



Figura 12.12. Termòmetre d'infrarojos TESTO 845.

Les temperatures  $T_{\text{aire, in}}$  i  $T_{\text{aire, out}}$  no es mesuren directament amb el termohigròmetre, com en els altres mòduls, ja que es tracta de circuits pressuritzats.

- Analitzador de xarxes elèctriques (Figura 12.13):
  - Variables mesurades:  $V$ ,  $I$ ,  $\cos \phi$ ,  $P_e$ , desequilibri entre fases



Figura 12.13. Analitzador elèctric Circutor AR6 + Accessoris. a) Analitzador de xarxes, b) Pinça amperimètrica rígida CPRG-500, c) Pinces amperimètriques flexibles AMS54-FLEX

Per a la mesura de les variables  $P_{\text{in}}$  i  $P_{\text{out}}$ , la majoria d'instal·lacions on opera un compressor incorporen un manòmetre per a la pressió de baixa a l'entrada del compressor i un altre per a la pressió d'alta a la sortida d'aquest. En aquest cas, la mesura d'aquestes variables s'obtindrà per lectura directa en aquests manòmetres. S'ha de tenir en compte que si es tracta d'una mesura de pressió relativa s'haurà de sumar la pressió atmosfèrica en aquest valor per tal d'obtenir la pressió absoluta que és precisament la que s'utilitza als diagrames P-h.

## 5.4 Seguretat en persones i equips

Abans de realitzar qualsevol mesura, és necessari i imprescindible llegir les instruccions d'ús de l'aparell o dispositiu de mesura.

**Seguretat per a les persones.** Prèviament a la realització de les mesures, s'ha de tenir en compte que la mesura de les temperatures  $T_{\text{fluid, in}}$ ,  $T_{\text{fluid, out}}$ ,  $T_{\text{aire, in}}$ ,  $T_{\text{aire, out}}$  es fa sobre la superfície de les canonades. En conseqüència, és aconsellable portar guants de protecció tèrmica per protegir les mans contra possibles cremades, tant si es tracta de canonades que transporten fluids a alta temperatura com a baixa.



En la mesura de les variables  $V$ ,  $I$ ,  $\cos\phi$ ,  $P_e$  i altres paràmetres elèctrics, s'ha de tenir en compte que es realitza sobre xarxes elèctriques en funcionament i, com a tal, la mesura l'ha de fer un tècnic expert amb carnet d'electricista que no treballi mai sol, que disposi d'elements de protecció com guants, pantalla facial i calcçat aïllant, que utilitzi eines normalitzades, que hagi fet un curs de seguretat industrial per tal de tenir recursos preventius i que conegui en la mesura del possible el Pla específic de riscos laborals de l'empresa.

**Seguretat en equips.** És aconsellable no tractar de manera brusca el multímetre, el termòmetre d'infrarojos i les sondes. S'han de realitzar les mesures tenint en compte certes distàncies de seguretat amb els elements mòbils.

De la mateixa manera que amb el multímetre és aconsellable no tractar de manera brusca l'analitzador de xarxes i els accessoris. Cal evitar tot ajustament, manteniment o reparació que impliqui l'obertura de l'equip; només es pot obrir l'equip per personal qualificat.

Abans de qualsevol operació, modificació de les connexions, canvi, manteniment o reparació, cal desconnectar l'aparell de tota font d'alimentació. Quan se sospiti d'un funcionament erroni o fallada de l'equip o de la protecció, aquest ha de deixar-se fora de servei per assegurar-se que no es pugui produir cap connexió accidental.

## 6. Realització de les mesures

### 6.1. Mesura de les temperatures de superfície

1. S'ha de connectar la sonda de superfície al multímetre i engegar l'aparell.
2. S'ha d'accedir a una zona representativa de la canonada d'entrada i sortida del compressor.
3. S'ha d'aplicar pasta tèrmica al punt de mesura escollit per tal de facilitar la transmissió de calor cap a l'element sensor i incrementar la rapidesa de la mesura.
4. Cal esperar fins que el valor s'estabilitzi i anotar la mesura o guardar-la.
5. S'ha de repetir el procediment en diversos punts de la canonada.

En el cas que es treballi amb el termòmetre d'infrarojos, s'han de seguir els passos següents:

1. S'ha de connectar el termòmetre d'infrarojos.

2. S'ha d'ajustar l'emissivitat amb la tecla *Mode* en relació amb el material de la canonada. Veure els valors a la Taula 12.2.

3. Segons des de quina distància es mesuri, s'ha d'ajustar la mesura mitjançant l'interroptor lliscant de què disposa el termòmetre. Fins a 2 metres, s'ha de fer lliscar l'interroptor endavant i fins a 10 metres, endarrere.

4. S'ha d'accedir a una zona representativa de la canonada d'entrada i sortida del compressor.

5. S'ha de prémer el gallet i dirigir el raig làser a la zona en qüestió on es vol mesurar la temperatura. Cal esperar fins que el valor s'estabilitzi i anotar-lo o guardar-lo.

6. S'ha de repetir la mesura en diversos punts de la canonada.

Material	Emissivitat
Aigua	0,67 a 0,99
Acer **	0,80
Aliment congelat	0,96
Alumini *	0,03 a 0,30
Amiant	0,95
Asfalt	0,95
Basalt	0,70
Carbó	0,85 a 0,96
Cautxú	0,95
Ceràmica	0,90 a 0,95
Ciment	0,96
Cotó	0,77
Coure **	0,95
Cuiro	0,75 a 0,80
Formigó	0,94 a 0,95
Fusta	0,90 a 0,94
Ferro *	0,70
Gel	0,96 a 0,98
Guix	0,80 a 0,90
Laca	0,80 a 0,95
Llautó *	0,50
Marbre	0,94

Material	Emissivitat
Neu	0,83 a 0,90
Morter	0,89 a 0,91
Oli	0,97
Òxids de crom	0,81
Òxids de coure, ferro	0,78 a 0,82
Plàstic	0,85 a 0,95
Paper	0,94 a 0,97
Pedra calcària	0,98
Pell humana	0,98
Pintura	0,93
Porcellana	0,92
Plàstic	0,94
Plom *	0,50
Pols	0,94
Rajola	0,90 a 0,96
Sorra	0,90
Suro	0,70
Teula (negra)	0,98
Tèxtil	0,90 a 0,94
Transformador pintat	0,94
Vidre	0,85 a 1,00

Taula 12.2. Emissivitat de diferents materials.

\* Oxidat \*\* Opac \*\*\* Natural

## 6.2. Mesura de potència elèctrica

1. S'han de connectar les preses de tensió i les pinces amperimètriques segons el tipus d'instal·lació, tal com s'indica en la Figura 12.14, en el quadre elèctric on estigui connectat el compressor. Cal tenir en compte les normes de seguretat del manual i les referències en l'apartat 5.4.
2. S'ha d'engegar l'aparell i seleccionar el tipus de mesura a realitzar prement la icona [ANÁLISIS DE MEDIDAS]. Un cop s'obri la llista amb les diferents mesures disponibles, s'ha de seleccionar mitjançant el cursor gris el tipus de mesura a realitzar segons les configuracions presentades a la Figura 12.14.
3. Un cop seleccionada la mesura a realitzar, s'ha de prémer la tecla dinàmica [ACCIONES] i seleccionar [REGISTROS]. S'obrirà una pantalla on es podran visualitzar els paràmetres principals de la connexió a analitzar.
4. S'han de llegir les mesures, guardar-les o anotar-les. És convenient deixar l'analitzador connectat durant el temps en què es realitzen les altres mesures perquè integri tot el període.

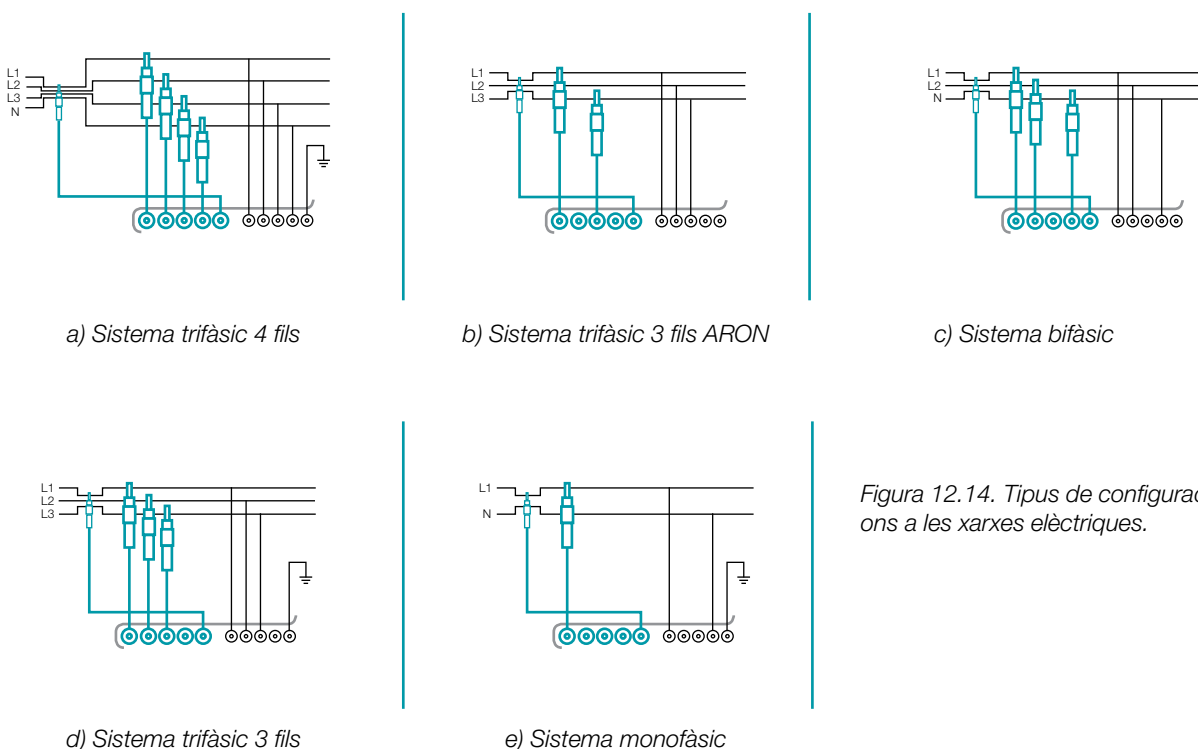


Figura 12.14. Tipus de configuracions a les xarxes elèctriques.

## 7. Exemple pràctic

### 7.1. Enunciat

El compressor alternatiu o de pistó de la Figura 12.15 es troba situat en un sistema de refrigeració d'una petita cambra de congelació. Aquest proporciona el salt de pressió necessari al fluid refrigerant R134a perquè aquest pugui assolir la pressió requerida pel condensador. El present compressor funciona amb un motor trifàsic de 12 kW de potència nominal i va acoblat directament a l'eix de gir del compressor.

Tenint en compte l'esmentat anteriorment, es demana calcular l'eficiència energètica del compressor.



*Figura 12.15. Compressor alternatiu o de pistó operant en un sistema de refrigeració d'una petita cambra de congelació.*

### 7.2. Dades

A la Taula 12.3 es recullen les dades de la placa del compressor, i les trobades al diagrama P-h de la figura 12.10 a partir de les pressions i temperatures del fluid de treball mesurades.

Paràmetres	Unitats	Dada
Fluid de treball del compressor	-	R134a
Potència nominal del motor que acciona el compressor	kW	12
Rendiment a potència nominal del motor que acciona el compressor	%	85
Cabal volumètric del fluid de treball a l'entrada del compressor	m <sup>3</sup> /s	0,0194
Densitat del fluid de treball a l'entrada del compressor	kg/m <sup>3</sup>	9,128
Entalpia específica del fluid a l'entrada del compressor <sup>1</sup>	kJ/kg	410
Entalpia específica del fluid a la sortida del compressor <sup>1</sup>	kJ/kg	463

Taula 12.3. Dades de què es disposa sobre el condensador i el fluid de treball.

A la Taula 12.4 es mostra el recull de dades mesurades en el compressor.

Paràmetres	Unitats	Dada
Pressió del fluid a l'entrada del compressor <sup>2</sup>	MPa	0,2
Pressió del fluid a la sortida del compressor <sup>2</sup>	MPa	1
Temperatura del fluid a l'entrada del compressor	°C	10
Temperatura del fluid a la sortida del compressor	°C	80
Potència elèctrica subministrada al motor	kW	11,735

Taula 12.4. Dades mesurades en el compressor.

## 7.3 Càlculs i resultat

Inicialment, mitjançant el rendiment del motor mostrat a la Taula 12.3, es procedeix a calcular el rendiment del conjunt dels accionaments que possibiliten el funcionament del compressor.

<sup>1</sup> L'entalpia específica del fluid es troba pel diagrama P-h de la figura 12.10 a partir de la temperatura i la pressió del fluid.

<sup>2</sup> Dada obtinguda a partir dels pressòstats d'alta i baixa del compressor .

$$\eta = \eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{transmissió}}$$

$$\eta = 0,85 \cdot 1 = 0,85 \rightarrow 85\%$$

Pel que fa al valor de la variable  $\eta_{\text{transmissió}}$ , s'ha considerat la unitat ja que es tracta d'un compressor amb acoblament directe al motor.

Tot seguit, es procedeix a calcular el rendiment global del compressor a partir de les dades referenciades a la Taula 12.3 i Taula 12.4.

Primerament, es calcula la potència útil absorbida pel fluid refrigerant R134a al seu pas pel compressor.

$$P_{\text{fluid, u}} = \dot{V}_{\text{fluid}} \cdot \rho_{\text{fluid}} (\Delta h_{\text{fluid}})$$

$$P_{\text{fluid, u}} = 0,0194 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 9,128 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (463-410) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 9,385 \text{ kW} \approx 9,4 \text{ kW}$$

Posteriorment, relacionant la potència útil absorbida pel refrigerant R134a i la potència elèctrica mesurada, s'obté l'eficiència energètica del compressor.

$$\eta_c = \frac{P_{\text{fluid, u}}}{P_e} \cdot 100$$

$$\eta_c = \frac{9,4 \text{ kW}}{11,735 \text{ kW}} \cdot 100 = 80 \%$$

## 7.4. Comentaris

Com es pot observar, el rendiment del compressor obtingut en el càlcul correspon al 80%, cosa que indica que el compressor és l'adequat pel procés en què s'utilitza i també indica el correcte funcionament d'aquest.

Per altra banda, s'observa que el rendiment global dels accionaments del compressor correspon al 85% si el motor treballa a plena càrrega. Tenint en compte això, es pot observar directament que el compressor només presenta un 5% de pèrdues energètiques, mentre que el motor presenta el 15% restant.

Per tant, s'arriba a la conclusió que si cal millorar energèticament el sistema s'haurà d'estudiar sobretot el comportament energètic del motor del compressor.

## 8. Referències

**[1]** Reial decret 2060/2008. Reglament d'equips a pressió i les seves instruccions tècniques complementàries. BOE, 5 de febrer de 2009.

[http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2009-1964](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2009-1964)

**[2]** Reial decret 187/2011, relatiu a l'establiment de requisits de disseny ecològic aplicables als productes relacionats amb l'energia. BOE, 3 de març de 2011.

[http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-4038](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-4038)

**[3]** Directiva 2009/125/CE, per la qual s'instaura un marc per a l'establiment de requisits de disseny ecològic aplicable als productes relacionats amb l'energia.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:es:PDF>

**[4]** Informes i estudis tecnològics encarregats per l'Institut Català d'Energia. Estudi tecnològic del fred industrial i les seves millors tecnologies en consum d'energia. Gener de 2005.

[http://icaen.gencat.cat/web/.content/10\\_ICAEN/17\\_publicacions\\_informes/08\\_guies\\_informes\\_estudis/informes\\_i\\_estudis/arxius/200501\\_informe\\_fred\\_industrial.pdf](http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/08_guies_informes_estudis/informes_i_estudis/arxius/200501_informe_fred_industrial.pdf)

**[5]** IDAE. *Manuales técnicos y de instrucción para la conservación de la energía. Compresores. Sistemas de distribución de aire comprimido*. Madrid, 1983.

**[6]** Diagrama P-h del fluid refrigerant R134a.

<https://www.google.es/search?q=diagrama+ph+del+fluid+refrigerante+r134a&espv=2&biw=1920&bih=971&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwinnuKqNs9bKAhWFcRQKHauCCIMQ7AkIOA&dpr=1#imgrc=slAScVVMLb7bAM%3A>

**[7]** *Propiedades del aire como gas ideal (calor específico variable)*.

<http://navarrof.orgfree.com/Docencia/Termodinamica/Auxiliares/tablaaire.htm>











