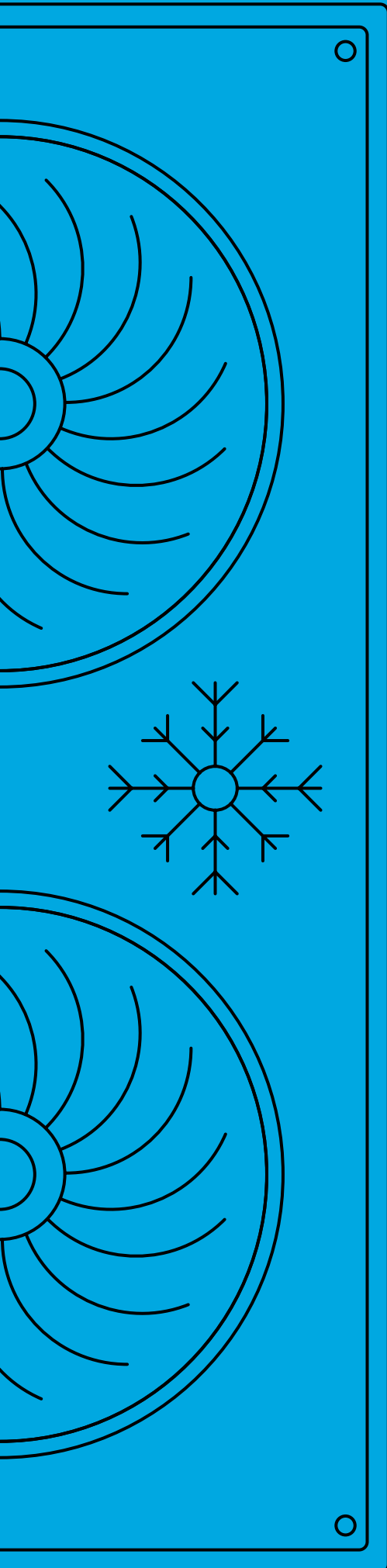


COL·LECCIÓ
BALANÇ ENERGÈTIC
D'EQUIPS CONSUMIDORS
MESURA I CÀLCUL

REFREDADORES

09

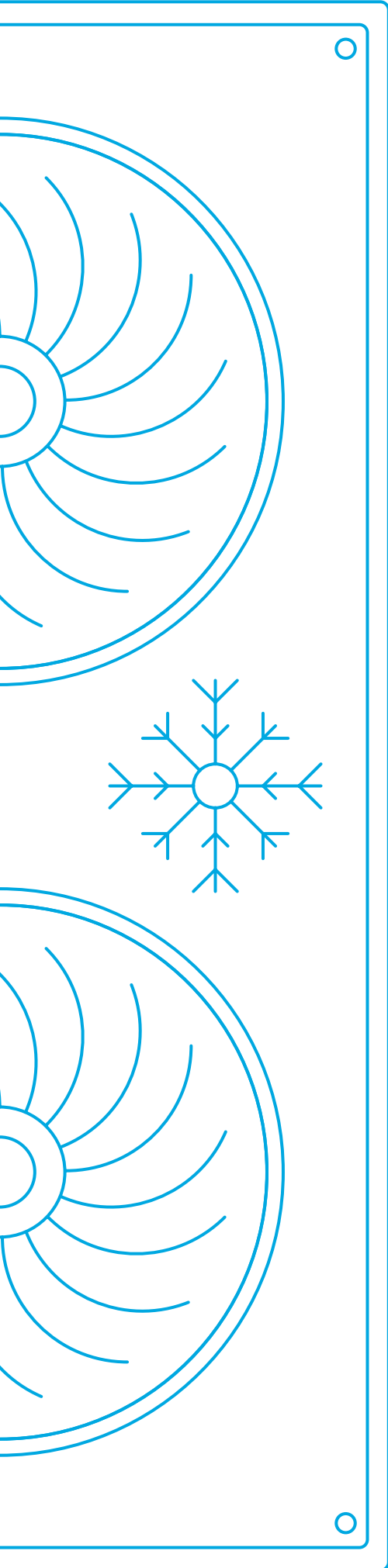




COL·LECCIÓ
BALANÇ ENERGÈTIC
D'EQUIPS CONSUMIDORS
MESURA I CÀLCUL

REFREDADORES

09



Primera edició

Novembre 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^a Granollers - Institut Català d'Energia

Disseny

Eva Sánchez - Institut Català d'Energia

Maquetació

OXIGEN Comunicació gràfica

Versió electrònica

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

0	Pròleg	7
1	Introducció	9
1.1	Justificació del mòdul	9
1.2	Objectiu del mòdul	9
1.3	Abast del mòdul	10
1.4	Dades macroenergètiques	10
2	Descripció del sistema	10
2.1	Definició	10
2.2	Principis de funcionament i paràmetres	10
2.3	Tipologies d'equip	12
2.4	Normativa aplicable	13
2.5	Descripció gràfica	14
3	Definició del balanç energètic	15
3.1	Descripció del balanç energètic	15
3.2	Esquema del balanç energètic	16
4	Bases de càlcul	18
4.1	Formulació	18
4.2	Taules i diagrames	22
5	Planificació de mesures	24
5.1	Dades de què es disposa	24
5.2	Dades a mesurar	24
5.3	Inventari d'aparells de mesura	25
5.4	Seguretat en persones i equips	27
6	Realització de les mesures	28
6.1	Mesura de les temperatures de superfície	28
6.2	Mesura de la temperatura, humitat relativa i velocitat de l'aire	29
6.3	Mesura del cabal de líquids	30
6.4	Mesura de voltatge, intensitat i factor de potència	31
7	Exemple pràctic	32
7.1	Enunciat	32
7.2	Dades	32
7.3	Càlculs i resultat	33
7.4	Comentaris	33
8	Referències	34

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 novè d'aquesta col·lecció que pren com a sistema d'estudi la refredadora. El balanç energètic caracteritza els fluxos d'entrada i sortida de la refredadora per obtenir en un càlcul posterior, el rendiment o COP (Coefficient Of Performance) d'aquesta.

1. Introducció

1.1. Justificació del mòdul

Quan es parla de refredadores, el concepte, la funcionalitat i l'equip en si mateix no és molt diferent de les bombes de calor; senzillament, les bombes de calor es poden considerar com a refredadores actuant en mode invers. Així també podem tenir una refredadora a partir d'una bomba de calor actuant sol en mode refrigeració.

El més habitual és trobar aquests equips en processos industrials on es necessiti refredar a temperatures molt diverses.

La característica d'aquest tipus d'equips és que transporten la calor d'un focus fred a un focus calent, aprofitant l'efecte de la calor latent d'un fluid. Per fer-ho, es necessita l'aportació d'energia, ja que un flux de calor per si sol viatja en sentit invers (1r principi de termodinàmica).

Cal dir que l'eficiència d'aquests equips és superior a la unitat, és a dir, que es produeix més energia de la que es necessita per transportar la calor.

Amb tot, és convenient avaluar energèticament les refredadores per evitar pèrdues d'eficiència energètica en l'equip.

Tal com se cita a *l'Estudi tecnològic del fred industrial i les seves millors tecnologies disponibles en consum d'energia* [1], "l'ús ineficient de l'energia és un malbaratament dels recursos i una contribució a l'escalfament global de la terra que prové majoritàriament del sistema de generació d'energia utilitzat per accionar els sistemes de refrigeració".

Tenint en compte el que es comenta en l'estudi, és necessària la realització d'un balanç energètic en aquests equips amb la finalitat d'avaluar si hi ha problemes que poden ocasionar una pèrdua energètica. Alguns d'aquests problemes poden ser la pèrdua de calor en canonades per un mal aïllament d'aquestes, l'embrutiment de les canonades en l'evaporador/condensador o generador/absorbidor en el cas de màquines d'absorció, o el funcionament erroni de les vàlvules d'expansió i/o del compressor, essent aquests últims els més usats.

1.2. Objectiu del mòdul

L'objectiu d'aquest mòdul és proporcionar unes directrius i unes bases de càlcul per poder realitzar una sèrie de mesures en refredadores, amb la finalitat de dur a terme un balanç energètic en aquests equips i acabar calculant l'eficiència energètica d'aquests.

1.3. Abast del mòdul

Aquest mòdul se centra bàsicament en les tipologies habituals de refredadores utilitzades sobretot en processos industrials.

Igual que les bombes de calor, les refredadores es poden classificar segons la naturalesa de les fonts freda i calenta, la naturalesa dels fenòmens endotèrmics i exotèrmics, i la font d'energia que utilitzen.

S'ha de tenir present que el sector del fred industrial és molt especialitzat i la quantitat de dissenys o solucions utilitzats és pràcticament infinita. És per això que en l'apartat 2.3 s'ofereix una visió general d'aquestes.

1.4. Dades macroenergètiques

Segons l'*Estudi tecnològic del fred industrial i les seves millors tecnologies disponibles en consum d'energia* [1], al voltant del 15% del consum elèctric mundial s'utilitzava per accionar equips de refrigeració o d'aire condicionat l'any 2005. Dins d'aquest 15%, es troben les màquines i plantes refredadores.

2. Descripció del sistema

2.1. Definició

Les màquines refredadores són màquines tèrmiques que permeten transferir energia en forma de calor d'un focus a un altre, segons es requereixi. Aquests dispositius en concret transporten la calor d'un focus fred a un focus calent amb l'aportació d'energia.

Bàsicament consta de cinc elements que realitzen el cicle de compressió o d'absorció. Aquests són el fluid refrigerant, un evaporador, un compressor, un condensador i una vàlvula d'expansió. En el cas del cicle d'absorció, el compressor és substituït per un absorbidor i un generador.

Gràcies a aquests cinc elements, es realitza la producció de fred.

2.2. Principis de funcionament i paràmetres

Hi ha dos cicles de fred, el mecànic i el químic.

En el cas de cicle de compressió de vapor o cicle mecànic, el cicle s'inicia en l'evaporador, on el fluid refrigerant s'evapora (absorbint calor) a baixa temperatura i a baixa pressió. Tot seguit, el fluid refrigerant entra en el compressor, on es comprimeix i s'augmenten la temperatura i la pressió fins que aquesta última sigui prou elevada per provocar la

condensació a temperatura ambient en el condensador. A continuació, el fluid frigorígen entra en el condensador on es produeix la condensació (cedint calor) d'aquest. Finalment, el fluid condensat entra en una vàlvula d'expansió on es provoca una forta davallada de la pressió, fins a la pressió de treball de l'evaporador, la qual cosa provoca en la majoria de casos una evaporació parcial del refrigerant, i un refredament a causa de la cessione de la calor latent de vaporització.

En el cas del cicle químic, es parla de refredadora per absorció. Aquesta utilitza energia tèrmica en comptes d'energia mecànica per funcionar. Tal com ja s'ha esmentat anteriorment, aquest tipus de refredadores incorporen un absorbidor i un generador en comptes d'un compressor.

En l'absorbidor, hi ha una mescla formada pel fluid refrigerant i un absorbent. La formació d'aquesta mescla és un procés exotèrmic que genera calor. Aquesta barreja és bombejada cap al generador. Dins el generador i amb l'aportació d'energia, se separa la mescla per obtenir d'una banda l'absorbent que es retorna a l'absorbidor, i de l'altra el fluid refrigerant que s'envia al condensador, on condensa, i d'allà torna cap a l'evaporador, on es vaporitza i torna a entrar en l'absorbidor, captat per l'absorbent. D'aquesta manera, es tanca el cicle i, per tant, el procés es reinicia.

Tenint en compte el funcionament de les refredadores i amb l'objectiu de calcular l'eficiència d'aquesta, s'ha de caracteritzar la potència frigorífica que genera i la potència elèctrica o tèrmica que aquesta necessita per funcionar.

En definitiva, els paràmetres que es necessitaran són: el tipus de fluid refrigerant (en el seu defecte, es pot considerar el fluid amb què intercanvia calor), temperatura d'entrada del fluid a la refredadora i temperatura de sortida, cabal volumètric o màssic, així com altres paràmetres com ara el pes específic i la calor específica i la densitat. També és interessant tenir el voltatge, la intensitat de corrent i el factor de potència del compressor.

En el cas que un dels fluids de bescanvi sigui aire, com per exemple passa en refredadores aire-aire, o aire-aigua, s'ha de tenir en compte l'energia associada a l'aigua que conté aquest aire en forma de vapor d'aigua. Per tant, a efectes de poder-ho calcular, s'han de tenir en compte la pressió de vapor, l'entalpia de vapor d'aigua i la humitat relativa i temperatura de l'aire, a més a més dels altres paràmetres anteriorment esmentats.

Finalment, si es tracta d'una refredadora per absorció, s'ha de tenir en compte la potència tèrmica que s'aporta al generador en comptes de la potència elèctrica. Per tant, s'ha de considerar el tipus de fluid que intercanvia calor amb la mescla bicomponent per caracteritzar paràmetres propis del fluid com la calor específica i la densitat. A part, també s'ha de tenir en compte la temperatura d'entrada i sortida d'aquest fluid en el generador i el cabal màssic o volumètric d'aquest.

2.3. Tipologies d'equip

A continuació, es mostren les tipologies de refredadores més utilitzades segons la classificació de l'apartat 1.3.

Segons la naturalesa de les fonts freda i calenta, tenint en compte que en aquesta terminologia en primer lloc s'anomena el fluid que es refreda i en segon lloc el fluid que s'utilitza per fer la condensació, es té:

Refredadores aire-aire. Es tracta d'un tipus de refredadora en què l'extracció i l'addició de calor es fa entre l'aire de diferents ambients, com per exemple, l'aire interior i exterior d'un local a climatitzar, l'aire humit d'un assecador, l'aire preescalfat per a processos industrials etc. Com a problemes, cal destacar la gran variabilitat de l'aire i la formació de gel a temperatures baixes. En cas que es tracti d'aire d'extracció d'un local, un altre problema és la disponibilitat. Aquestes unitats pel cas d'aplicacions en l'AC s'anomenen unitats d'expansió directa (DX).

Refredadores calor aire-aigua. Es tracta d'un tipus de refredadora que s'utilitza fonamentalment per generar aire fred. L'aire com a focus fred pot ser exterior, extret d'un local calefaccionat o aire humit provinent d'assecadors o d'altres processos. Pel que fa a la dissipació de calor en el condensador, es duu a terme intercanviant-la amb aigua. Les màquines que utilitzen aigua per dissipar calor solen tenir més rendiment, però amb el desavantatge d'haver d'utilitzar una torre de refrigeració en el procés. Si s'utilitza aigua de pou (freàtica), llacs o rius per a la condensació en circuit obert, no es fa necessària la torre.

Refredadores aigua-aire. Es tracta d'un tipus de refredadora que s'utilitza per obtenir aigua freda cedint calor en el condensador mitjançant aire. No necessiten d'una torre de refrigeració (figura 9.1).

Refredadores aigua-aigua. Es tracta d'un tipus de refredadora en què l'extracció i l'addició de calor es fa entre l'aigua de diferents emplaçaments. S'utilitza fonamentalment per obtenir aigua freda de procés, cedint calor en el condensador mitjançant el bescanvi entre aigües naturals de rius i llacs o subterrànies en circuit obert, o bé utilitzant una torre de refrigeració (figura 9.3).

Refredadora geotèrmica. Aquest tipus de refredadora dissipa la calor de condensació al sòl. Són refredadores d'aigua o aire, on la condensació es fa a través del subsòl, transferint la calor del condensador a aquest. L'ús d'aigua glicolada és necessari quan volem obtenir temperatures d'aigua inferiors als 0 °C.

Segons la naturalesa dels fenòmens endotèrmics i exotèrmics es té:

Refredadores per compressió. Es tracta d'un tipus de refredadora on els fenòmens endotèrmics en l'evaporador i els fenòmens exotèrmics en el condensador es produeixen

xen mitjançant l'aportació d'energia mecànica. Poden ser de compressió simple, amb compressió per etapes, amb injecció de vapor parcial, amb injecció de vapor total i màquines en cascada.

Refredadores per absorció. Es tracta d'un tipus de refredadora on la producció frigorífica es fa mitjançant l'aportació d'energia tèrmica. Consta de dues unitats endotèrmiques (evaporador i generador) i dues unitats exotèrmiques (absorbidor i condensador). Les mescles refrigerant i absorbent més utilitzades són amoníac-aigua, aigua-bromur de liti. Poden ser amb una sola etapa o amb dues etapes.

En processos industrials que necessiten temperatures molt baixes, es munten diverses etapes de compressió en cascada o configuracions mixtes amb sistemes de compressió i absorció o sistemes amb sotsrefredament a la sortida del condensador de les diferents etapes.

Segons la font d'energia que utilitzen es té:

- Refredadores amb motor elèctric
- Refredadores a gas i altres combustibles
- Refredadores per absorció accionades per energies renovables com la solar o per calor d'extracció i/o de recuperació de processos.

Les refredadores amb menys potència frigorífica que s'utilitzen bàsicament per a la refrigeració d'espais es poden classificar segons el seu muntatge i, per tant, d'aquesta manera es poden trobar refredadores compactes, partides o *split* i *multi-split*.

2.4. Normativa aplicable

La normativa aplicable en aquest mòdul bàsicament és, el Reglament d'instal·lacions tèrmiques als edificis (RITE) [2] del 2007, segons Reial decret 1027/2007, de 20 de juliol. Hi ha una última modificació segons el Reial Decret 238/2013, de 5 d'abril [3], on es modifiquen alguns articles i instruccions tècniques.

Pel que fa a la pèrdua de calor a través de les canonades de les refredadores, en el reglament present s'exigeix la incorporació d'aïllament en aquestes. També s'exigeix una mínima espessor d'aquell en funció del diàmetre exterior de la canonada i de la diferència de temperatures.

En el reglament present, a la instrucció tècnica IT 1, concretament a l'apartat IT 1.2.4.1 *Generación de calor y frío* es mostren una sèrie d'instruccions amb la finalitat de caracteritzar i quantificar l'exigència d'eficiència energètica en la generació de fred o calor.

En el present apartat, a trets generals es destaca l'exigència d'ajustar el dimensionat de potència dels equips de generació de fred i calor a la demanda tèrmica del local, comptabilitzant les pèrdues de calor que hi poden haver a través de les canonades i els fluids termòfors.

També s'exigeix que la temperatura de sortida en el cas d'aigua refrigerada es mantingui constant excepte en situacions en què es justifiqui el contrari.

El salt de temperatura en els equips de fred serà una funció creixent de la potència del generador o generadors de fred fins al límit establert pel fabricant amb la finalitat d'estalviar energia.

També cal complir el Reial Decret 138/2011, de 4 de febrer, pel qual s'aproven el Reglament de seguretat per a instal·lacions frigorífiques i les seves instruccions tècniques complementàries.

A més, s'haurà de tenir en compte la directiva europea d'ecodisseny (ErP), que entra en vigor el 26 de setembre de 2015, i també l'etiquetatge energètic per a refredadores i bombes de calor.

2.5 Descripció gràfica

De la Figura 9.1 a la Figura 9.4, es pot observar una mostra de les tipologies de refredadores descrites a l'apartat 2.3.

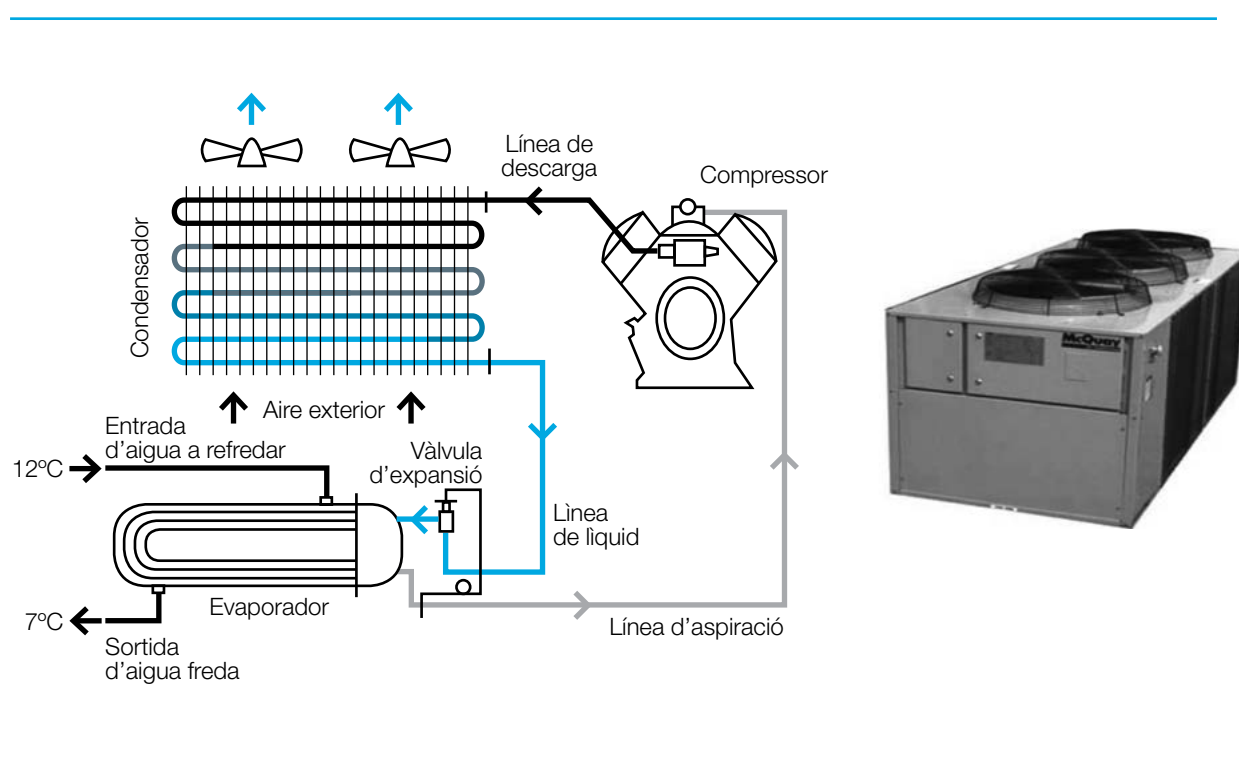


Figura 9.1. Refredadora aigua-aire per compressió.

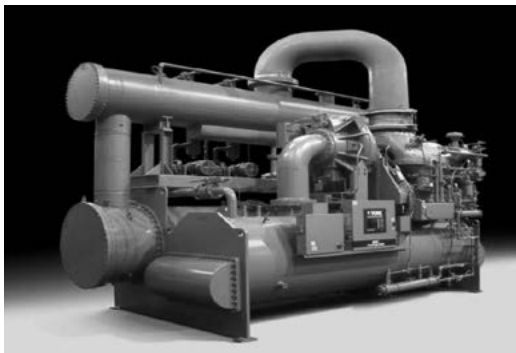


Figura 9.2. Refredadora d'aigua amb vapor accionada per un turbocompressor.

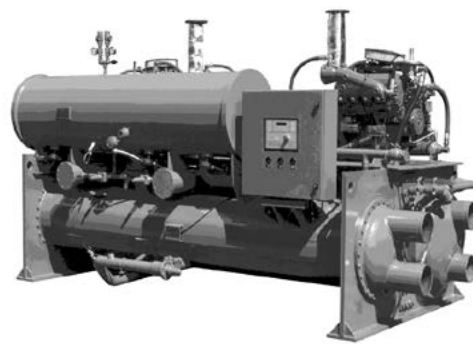


Figura 9.3. Refredadora aigua-aigua amb motor de gas.

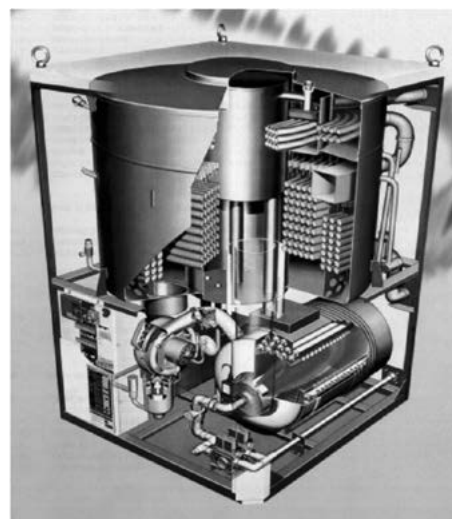
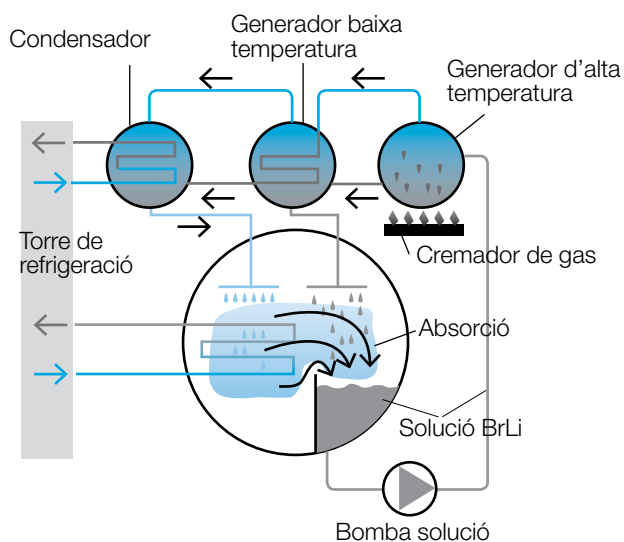


Figura 9.4. Refredadora per absorció de doble efecte amb cremador de gas.

3. Definició del balanç energètic

3.1. Descripció del balanç energètic

En les refredadores, el balanç energètic és exactament el mateix que en les bombes de calor, ja que el principi de funcionament és el mateix.

L'objectiu del balanç se centra bàsicament a caracteritzar els fluxos d'entrada i sortida de la refredadora per obtenir en un càlcul posterior, el rendiment o COP (Coefficient Of Performance) d'aquesta.

El COP és el quocient de l'energia útil que obté la refredadora entre l'energia que cal aportar a la màquina, ja sigui mecànica en la de compressió, o tèrmica en el cas d'absorció. El COP de les refredadores per compressió oscil·la entre 2,5 i 6,5, segons sigui la tecnologia de compressió, i si la condensació es fa per aigua o per aire (per aigua, els COP són més elevats). El COP de les refredadores per absorció oscil·la entre 0,7 i 1,3, en funció si és d'una o diverses etapes.

L'associació de fabricants EUROVENT estandarditza el valor de COP que han de donar els fabricants. Les condicions de càlcul són un factor d'embrutiment (*fouling factor*) de $0,44 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ en l'evaporador i el condensador, i les temperatures següents:

- Condensació per aire: entrada a 12 °C i sortida a 7 °C de l'evaporador, i temperatura exterior de 35 °C.
- Condensació per aigua: entrada a 12 °C i sortida a 7 °C de l'evaporador i entrada a 30 °C i sortida a 35 °C del condensador

En el balanç energètic d'una refredadora per compressió, es comptabilitzen com a entrades la potència tèrmica associada a l'evaporador i la potència consumida pel compressor, i es comptabilitza com a sortida la potència tèrmica associada al condensador.

En les refredadores per absorció, el balanç energètic es realitza de manera diferent. Com a entrades es consideren la potència tèrmica associada a l'evaporador i l'associada al generador, i com a sortides la potència tèrmica associada al condensador i a l'absorbidor.

Cal comentar que el càlcul de la potència consumida en el compressor depèn del tipus d'energia que utilitza per funcionar, ja que pot ser elèctrica, proporcionada per la combustió de combustibles fòssils, etc.

3.2. Esquema del balanç energètic

A la Figura 9.5 es pot observar l'esquema del balanç energètic d'una refredadora de compressió simple. En el cas que l'expansió sigui adiabàtica, que és el que més s'acosta a la majoria de casos, l'Equació 9.1 mostra la relació entre la potència tèrmica de l'evaporador, la potència tèrmica del condensador i la potència elèctrica consumida pel compressor.

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_e + \dot{W}_e \quad \text{Equació 9.1}$$

L'esquema del balanç energètic en la refredadora per absorció es mostra en la Figura 9.6. En l'Equació 9.2 es mostra la relació en el balanç energètic entre la potència tèrmica associada a l'evaporador, absorbidor, generador i condensador, en una refredadora per absorció.

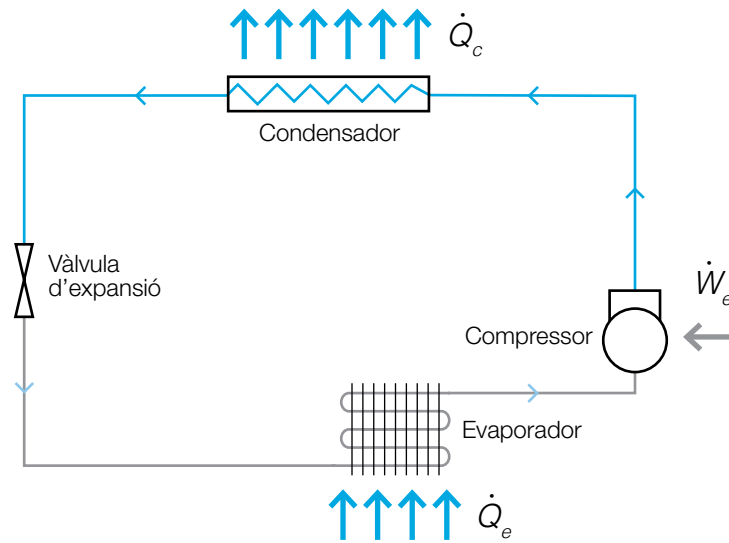


Figura 9.5. Esquema del balanç energètic en una refredadora de compressió simple.

De tota manera, en el cas de les refredadores per a conèixer l'eficiència amb què estan treballant aquests equips, més que el balanç energètic, s'haurà de trobar el rendiment o COP (Coefficient Of Performance) de la refredadora (equacions 9.3 i 9.4).

$$\dot{Q}_c + \dot{Q}_a = \dot{Q}_e + \dot{Q}_g \quad \text{Equació 9.2}$$

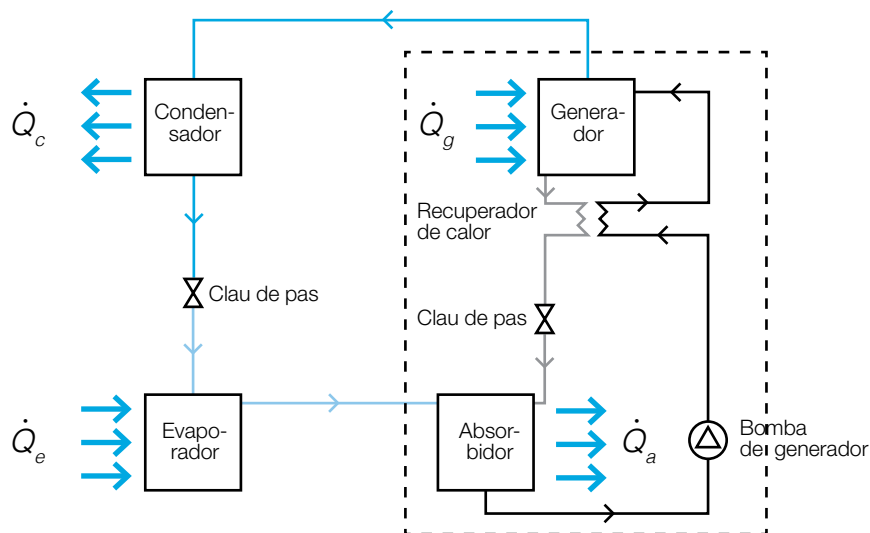


Figura 9.6. Esquema del balanç energètic en una refredadora per absorció de simple etapa.

4. Bases de càlcul

4.1. Formulació

Per calcular el COP d'una refredadora s'ha de trobar la potència tèrmica del flux que intercanvia calor amb l'evaporador, ja que en tots dos casos constitueix el numerador d'aquest coeficient (equació 9.3). Si la refredadora és per compressió, com a denominadora caldrà trobar la potència elèctrica consumida en el compressor (equació 9.14). Per contra, si la refredadora és per absorció, com a denominador caldrà trobar la calor bescanviada en el generador de manera similar de com s'ha fet per l'evaporador.

En primer lloc, s'ha de tenir en compte de quin tipus de refredadora es tracta pel que fa a la naturalesa de les fonts freda i calenta i segons els fenòmens endotèrmics i exotèrmics.

Tot seguit, es pot calcular la potència tèrmica associada al flux que intercanvia calor amb l'evaporador.

Per a fluids diferents de l'aire, es calcula mitjançant l'Equació 9.3:

$$\dot{Q}_e = \dot{V}_e \cdot \rho_e \cdot c_{pe} \cdot \Delta T \quad \text{Equació 9.3}$$

On:

\dot{Q}_e [W] correspon a la potència tèrmica del fluid que intercanvia calor amb l'evaporador.

\dot{V}_e [m³/s] correspon al cabal volumètric del fluid que intercanvia calor amb l'evaporador.

ρ_e [kJ/kg·°C] correspon a la calor específica del fluid que intercanvia calor amb l'evaporador. Valor extret de taules de propietats tèrmiques de fluids.

c_{pe} [kg/m³] correspon a la densitat del fluid que intercanvia calor amb l'evaporador. Valor extret de taules de propietats tèrmiques de fluids.

ΔT [°C] correspon a la diferència de temperatures entre l'entrada i la sortida del fluid a l'evaporador.

En el cas que un dels fluids sigui aire, s'ha de tenir en compte l'energia tèrmica associada al vapor d'aigua que aquest conté. Per tant, per calcular la potència tèrmica de l'aire humit sense tenir en compte la condensació de l'aigua, s'utilitzarà l'Equació 9.4

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = \dot{V}_{\text{aire}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot \Delta h_{\text{aire}} \quad \text{Equació 9.4}$$

On:

\dot{Q}_{aire} [W] correspon a la potència tèrmica de l'aire.

\dot{V}_{aire} [m³/s] correspon al cabal volumètric d'aire. Es calcula segons l'Equació 9.5.

ρ_{aire} [kg/m³] correspon a la densitat de l'aire. Valor extret de la Taula 9.2, avaluat a la temperatura mitjana de l'aire.

Δh_{aire} [kJ/kg] correspon a l'increment d'entalpia específica de l'aire humit a les temperatures d'entrada i sortida del bescanviador.

$$\dot{V}_{aire} = v_{aire} \cdot S \quad \text{Equació 9.5}$$

On:

v_{aire} [m/s] correspon a la velocitat de l'aire.

S [m²] correspon a la secció de la canonada per on circula l'aire.

La variable Δh_{aire} es pot calcular fent la diferència d'entalpies calculades per cada una de les temperatures segons l'Equació 9.6:

$$h_{aire} = c_{p,aire} \cdot T_{aire} + r (h_v + c_{pv} \cdot T_{aire}) \quad \text{Equació 9.6}$$

On:

h_{aire} [kJ/kg] correspon a l'entalpia específica de l'aire humit.

$c_{p,aire}$ [kJ/kg·°C] correspon a la calor específica a pressió constant de l'aire. Valor extret de la Taula 9.2, avaluat a la temperatura mitjana de l'aire.

T_{aire} [°C] correspon a la temperatura de l'aire.

r [kg_{aigua}/kg_{aire}] correspon a la humitat específica de l'aire. Es calcula segons l'Equació 9.7.

h_v [kJ/kg] correspon a l'entalpia específica de vapor saturat. Valor extret de la Taula 9.1 avaluat a la temperatura mitjana de l'aire.

c_{pv} [kJ/kg·°C] correspon a la calor específica del vapor d'aigua. Valor extret de la Taula 9.1 avaluat a la temperatura mitjana de l'aire.

$$r = 0,6215 \frac{P_v}{P_{aire} - P_v} \quad \text{Equació 9.7}$$

On:

P_v [kPa] correspon a la pressió de vapor d'aigua a la temperatura de l'aire en °C. Es calcula segons l'Equació 9.8.

P_{aire} [kPa] correspon a la pressió de l'aire que es pot considerar com la pressió atmosfèrica de 101,325 kPa.

$$P_v = \frac{HR}{100} \cdot P_{vs} \quad \text{Equació 9.8}$$

On:

P_{vs} [kpa] correspon a la pressió del vapor saturat a la temperatura de l'aire. Es calcula segons l'Equació 9.9.

HR [%] correspon a la humitat relativa de l'aire.

$$P_{vs} = \frac{6,11 \cdot e^{\left[\frac{17,27 \cdot T_{aire}}{237,3 + T_{aire}} \right]}}{10} \quad \text{Equació 9.9}$$

Una altra manera de calcular l'entalpia específica de l'aire humit (h_{aire}) és mitjançant el diagrama psicromètric de la Figura 9.7, a partir de la temperatura exterior, i la humitat relativa. Aleshores, ja no caldrà aplicar les equacions de 9.6 fins a 9.9.

Per calcular el COP de la refredadora, també es necessita la potència elèctrica consumida pel compressor, calculada amb l'Equació 9.10 per a un compressor trifàsic i amb l'Equació 9.11 per a un compressor monofàsic.

$$\dot{W}_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad \text{Equació 9.10}$$

On:

\dot{W}_e [W] correspon a la potència elèctrica consumida pel compressor.

V [V] correspon al voltatge de la instal·lació elèctrica que alimenta el compressor.

I [A] correspon a la intensitat de corrent de la instal·lació elèctrica que alimenta el compressor.

$\cos\varphi$ [-] correspon al factor de potència de la instal·lació elèctrica que alimenta el compressor.

$$\dot{W}_e = V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad \text{Equació 9.11}$$

En el cas de la refredadora per unitat d'absorció s'ha de calcular la calor bescanviada en el generador, \dot{Q}_g , en comptes de la potència elèctrica del compressor.

El càlcul es realitza de diferent manera segons el fluid que intercanvia calor amb el generador, si és un líquid per l'Equació 9.3 o per l'Equació 9.12 per als casos en què la calor és aportada per gasos d'escapament de motors de combustió, com en les cogeneracions.

$$\dot{Q}_{gas} = \dot{V}_{gas} \cdot \rho_{gas} \cdot \Delta h_{gas} \quad \text{Equació 9.12}$$

Finalment, mitjançant l'Equació 9.13 es pot calcular el COP de la refredadora per compressió i amb l'Equació 9.14 el COP de la refredadora per absorció.

$$COP_F = \frac{\dot{Q}_e}{W_e} \quad \text{Equació 9.13}$$

On:

COP_F [-] correspon al coeficient d'eficiència energètica de la refredadora per compressió.

$$COP_{a,F} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g} \quad \text{Equació 9.14}$$

On:

$COP_{a,F}$ [-] correspon al coeficient d'eficiència energètica de la refredadora per absorció.

4.2. Taules i diagrames

A la Taula 9.1 es mostren les propietats físiques i termodinàmiques de l'aigua saturada en funció de la temperatura.

Temperatura °C	Pressió de saturació kPa	Densitat kg/m ³		Entalpia kJ/kg			Calor específic J/kg·°C	
		ρ		hl	hlv	hv	Cp	
		Líquid	Vapor	Líquid	Vaportització	Vapor	Líquid	Vapor
12	1,403	999,0	0,011	50,40	2472	2522,8	4192	1862
15	1,706	999,0	0,013	62,97	2465	2528,3	4186	1863
20	2,339	998,0	0,017	83,90	2543	2537,4	4182	1867
30	4,246	996,0	0,030	125,72	2430	2555,5	4178	1875
40	7,384	992,1	0,051	167,52	2407	2573,5	4179	1885
45	9,593	990,1	0,065	188,42	2395	2582,4	4180	1892
50	12,35	988,1	0,083	209,33	2383	2591,3	4181	1900
55	15,76	985,2	0,104	230,25	2371	2600,1	4183	1908
60	19,94	983,3	0,13	251,18	2359	2608,8	4185	1916
65	25,03	980,4	0,161	272,11	2346	2617,46	4187	1926
70	31,19	977,5	0,198	293,07	2334	2626,1	4190	1936
75	38,58	974,7	0,242	314,02	2321	2634,5	4193	1948
80	47,39	971,8	0,293	335,01	2309	2643	4197	1962
85	57,83	968,1	0,354	356,01	2296	2651,23	4201	1977
90	70,14	965,3	0,423	377,04	2283	2659,5	4206	1993
95	84,55	961,5	0,504	398,08	2270	2667,5	4212	2010
100	101,33	957,9	0,598	419,17	2257	2675,6	4217	2029
110	143,27	950,6	0,826	461,41	2230	2690,9	4229	2071
120	198,53	943,4	1,121	503,81	2203	2705,9	4244	2120
130	270,1	934,6	1,496	646,39	2174	2720	4263	2177
140	361,3	921,7	1,965	589,16	2145	2733,4	4286	2244
150	475,8	916,6	2,546	632,21	2114	2746,1	4311	2314
160	617,8	907,4	3,256	675,47	2083	2757,4	4340	2420
170	791,7	897,7	4,119	719,14	2050	2768,5	4370	2490

Taula 9.1. Propietats físiques [4] i termodinàmiques [7] de l'aigua a la saturació.

A la Taula 9.2 es mostren les propietats tèrmiques de l'aire a 1 atm de pressió.

En el cas que un dels fluids sigui aire, es pot calcular l'entalpia específica de l'aire humit per quilogram d'aire sec en funció de la temperatura i la humitat relativa de l'aire mitjançant el diagrama psicromètric de la Figura 9.7

Temperatura K	Densitat kg/m ³	Calor específic J/kg·°C
280	1,271	1004
290	1,224	1005
300	1,177	1005
310	1,143	1006
320	1,11	1005
330	1,076	1007
340	1,043	1007
350	1,009	1008
400	0,883	1013
450	0,785	1020
500	0,706	1029
550	0,642	1039
600	0,589	1051

Taula 9.2. Propietats físiques de l'aire a 1 atm de pressió [5].

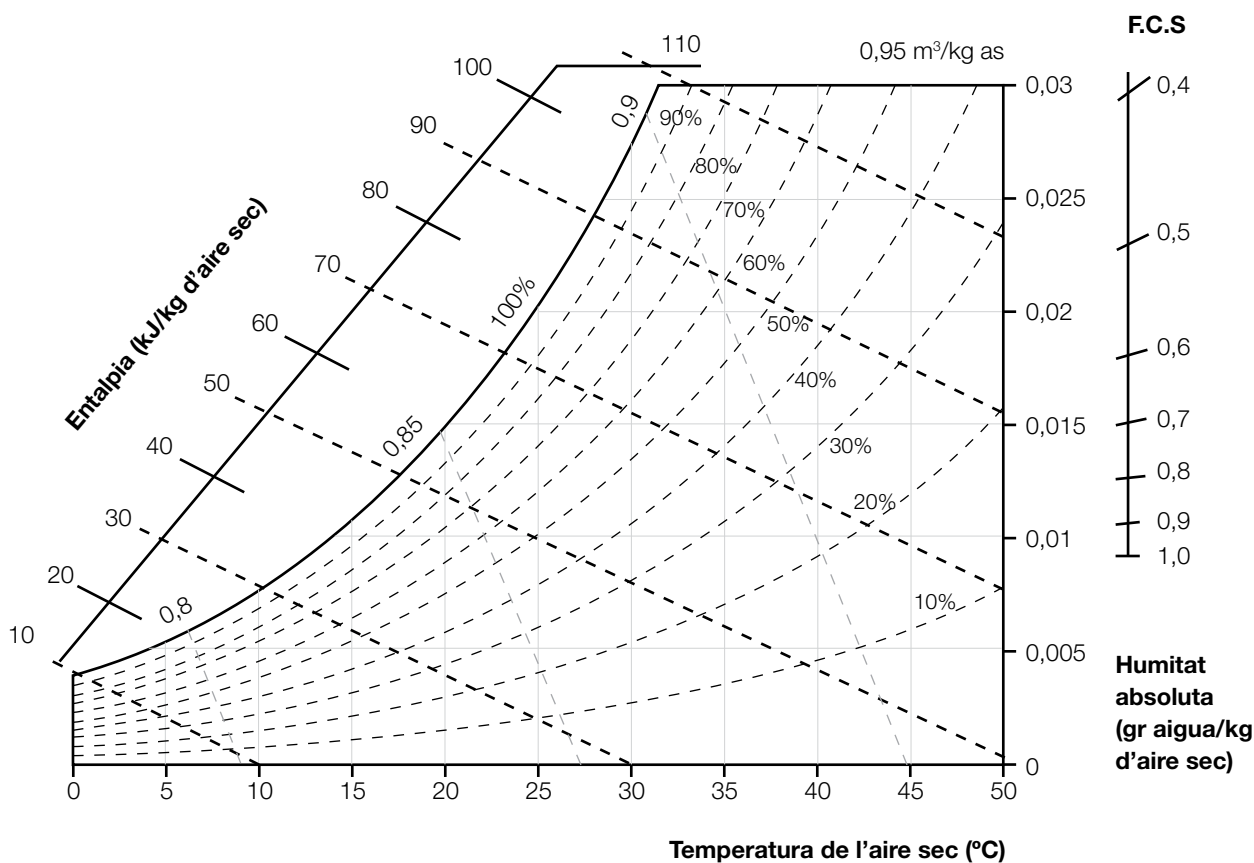


Figura 9.7. Diagrama psicromètric a pressió atmosfèrica (101,325 kPa) [6].

5. Planificació de mesures

5.1. Dades de què es disposa

Per a fluids diferents de l'aire:

- Densitat del fluid que intercanvia calor amb l'evaporador (mode refrigeració): ρ_e [kg/m³]
- Calor específica del fluid que intercanvia calor amb l'evaporador (mode refrigeració): c_{pe} [kJ/kg·°C]
- Densitat del fluid que intercanvia calor amb el generador (refredadora per absorció): ρ_g [kg/m³]
- Calor específica del fluid que intercanvia calor amb el generador (refredadora per absorció): c_{pg} [kJ/kg·°C]

Per a l'aire:

- Densitat de l'aire: ρ_{aire} [kg/m³]
- Calor específica de l'aire: $c_{p,aire}$ [kJ/kg·°C]
- Entalpia específica de vapor d'aigua: h_v [kJ/kg]
- Calor específica del vapor d'aigua: c_{pv} [kJ/kg·°C]
- Pressió de l'aire: P_{aire} [kPa]
- Dimensions de la secció per on circula l'aire en [m²]

5.2. Dades a mesurar

Per a fluids diferents de l'aire:

- Temperatura del fluid a l'entrada de l'evaporador: $T_{e,in}$ [°C]
- Temperatura del fluid a la sortida de l'evaporador: $T_{e,out}$ [°C]
- Temperatura del fluid a l'entrada del generador (refredadora per absorció): $T_{g,in}$ [°C]
- Temperatura del fluid a la sortida del generador (refredadora per absorció): $T_{g,out}$ [°C]
- Cabal volumètric del fluid a l'evaporador: \dot{V}_e [m³/s]
- Cabal volumètric del fluid al generador (refredadora per absorció): \dot{V}_g [m³/s]

Per a l'aire:

- Temperatura entrada: $T_{aire,in}$ [°C]
- Temperatura sortida: $T_{aire,out}$ [°C]
- Humitat relativa entrada : HR_{in} [%]
- Humitat relativa sortida : HR_{out} [%]
- Velocitat de l'aire: v_{aire} [m/s]

Altres dades a mesurar en refredadors o bombes de calor per cycle de compressió:

- Tensió de la instal·lació elèctrica que alimenta el compressor: V [V]
- Corrent de la instal·lació elèctrica que alimenta el compressor: I [A]
- Factor de potència de la instal·lació elèctrica que alimenta el compressor: $\cos\varphi$ [-]

5.3. Inventari d'aparells de mesura

- Termòmetre de contacte/Termòmetre d'infraroig (Figura 9.8 i Figura 9.9 respectivament).

– Variable mesurada: $T_{e,in}$, $T_{e,out}$, $T_{g,in}$, $T_{g,out}$



Figura 9.8. Multímetre + Sonda de superfície.



Figura 9.9. Termòmetre d'infrarojos

- Termohigròmetre (Figura 9.10):

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



Figura 9.10. Multímetre + Sonda tèrmica de velocitat de fil calent.

- Anemòmetre (Figura 9.11):
 - Variables mesurades: v_{aire}



Figura 9.11. Multímetre + Sonda de velocitat tipus molinet.

- Cabalímetre ultrasònic no invasiu per líquids (figura 9.12):
 - Variables mesurades: \dot{V}_e, \dot{V}_g



a) Cabalímetre



b) Transductors



c) Maleta de transport cabalímetre i accessoris

Figura 9.12. Cabalímetre FLEXIM Fluxus F601 + Accessoris.

- Analitzador de xarxes elèctriques (Figura 9.13):
 - Variable mesurada: V , I , $\cos\varphi$, \dot{W}_e , Desequilibri de fases

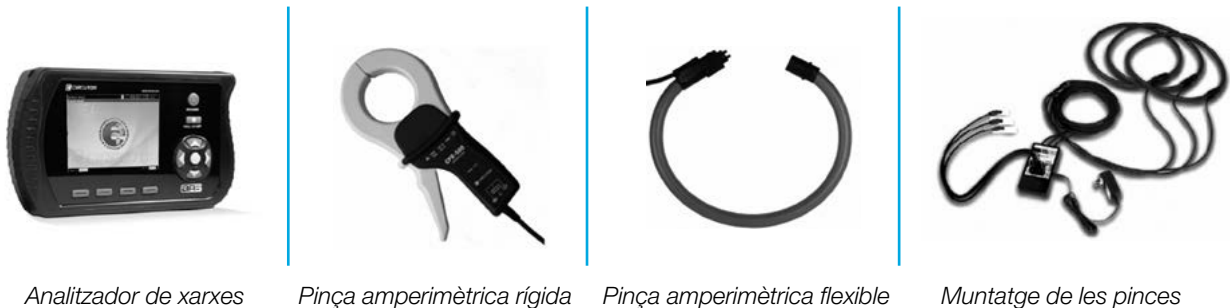


Figura 9.13. Analitzador elèctric AR6 + Accessoris.

5.4 Seguretat en persones i equips

Abans de fer 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 $T_{e,in}$, $T_{e,out}$, $T_{g,in}$, $T_{g,out}$ es fa sobre la superfície de la canonada. En conseqüència, és aconsellable portar guants de protecció tèrmica per protegir-se contra possibles cremades, tant si es tracta de canonades que transporten fluids a alta temperatura com a baixa.

Per a la mesura de les variables $T_{aire,in}$, $T_{aire,out}$, HR_{in} , HR_{out} , v_{aire} s'ha de tenir en compte certa prudència i mantenir una distància suficient per evitar ràfegues d'aire calent o fred.

En la mesura de les variables \dot{V}_e , \dot{V}_g cal tenir en compte que el muntatge del cabalímetre es fa sobre la canonada. Per tant, per realitzar aquesta mesura també és convenient portar guants de protecció tèrmica.

En la mesura de les variables \dot{V} , I , $\cos\varphi$ i altres paràmetres elèctrics, s'ha de tenir en compte que es realitza sobre xarxes elèctriques en funcionament i, com a tal, la mesura ha de ser feta per un tècnic expert amb carnet d'electricista que no treballi mai sol, que disposi d'elements de protecció com guants i calçat 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, les sondes i el cabalímetre. S'han de realitzar les mesures tenint en compte certes distàncies de seguretat amb els elements mòbils.

Sobretot s'ha d'evitar fugues de líquids corrosius a prop dels transductors del cabalímetre; també s'ha d'evitar muntar en superfícies molt dures o amb temperatures extremes, així com els xocs amb altres objectes. És convenient realitzar una bona fixació d'aquests amb la canonada, comprovar l'estat de les abraçadores que els subjecten i tractar de manera suau els connectors amb el cabalímetre ja que són la part més fràgil.

6. Realització de les mesures

6.1. Mesura de les temperatures de superfície

1. S'ha d'accedir a una zona representativa de la canonada d'entrada d'aigua, de la canonada de sortida de vapor i de la canonada d'entrada de combustible líquid o gasós.
2. 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.
3. S'ha d'esperar fins que el valor s'estabilitzi i anotar la mesura o guardar-la.
4. S'ha de repetir el procediment en diversos punts de les canonades.

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

1. S'ha d'ajustar l'emissivitat amb la tecla "Mode" en relació amb el material de la canonada segons la Taula 9.3.
2. Segons des de quina distància es mesuri, s'ha d'ajustar la mesura mitjançant l'interruptor lliscant de què disposa el termòmetre. Fins a 2 metres, s'ha de fer lliscar l'interruptor endavant i fins a 10 metres, endarrere.
3. S'ha d'accedir a una zona de la canonada representativa.
4. 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.
5. 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 9.3. Emissivitat de diferents materials

* Oxidat ** Opac *** Natural

6.2. Mesura de la temperatura, humitat relativa i velocitat de l'aire

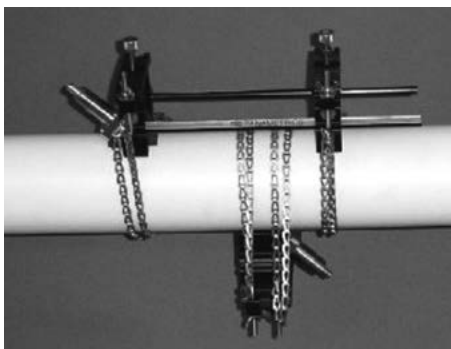
1. S'ha de connectar la sonda de velocitat tèrmica de fil calent al multímetre i engegar l'aparell.
2. S'ha de col·locar la sonda de velocitat tèrmica en el conducte per on circula l'aire, procurant que el punt de mesura s'ubiqui al centre del flux d'aire. Automàticament, a l'aparell ja es visualitzarà les mesures de temperatura, humitat relativa i velocitat.
3. S'ha de mesurar a l'entrada i sortida del circuit per on passa l'aire.
4. S'ha d'esperar fins que els valors s'estabilitzin i anotar o guardar les dades.

En el cas que es tracti d'una sortida d'aire sense conducte, es recomana muntar un conducte provisional de cartró o material similar per laminar el flux d'aire.

La variable v_{aire} també es pot mesurar amb un anemòmetre realitzant els mateixos passos, però amb la sonda de velocitat tipus molinet.

6.3. Mesura del cabal de líquids

1. En el menú principal del cabalímetre, s'ha de seleccionar *Parámetros*.
2. S'ha de seleccionar l'opció *Para el canal A*. S'han d'entrar les dades del tipus de canonada: material, diàmetre exterior i l'espessor de la canonada en mm. Si el cabalímetre disposa d'un mesurador de gruix, caldrà determinar-lo d'aquesta manera. En cas contrari, s'han d'utilitzar dades tabulades estàndard. Cal entrar també les dades del fluid. El cabalímetre disposa d'una base de dades de diferents líquids.
3. En el menú principal del cabalímetre, se selecciona *Medición* i prémer.
4. S'ha de seleccionar *Canal A* i especificar la longitud de trajectòria, la longitud axial, el nombre de travesses (una o dues en aquest cas) i l'espaiament entre transductors.
5. S'han de muntar els transductors sobre la canonada a una o dues travesses segons la Figura 9.14, aplicant greix entre els transductors i la canonada. És aconsellable, en el cas que es pugui, fer el muntatge a dues travesses.
6. Es fa la mesura en trams rectes de canonades evitant colzes, vàlvules o altres elements que puguin provocar turbulències en el fluid. Si és possible, s'ha de deixar un espai de 10 diàmetres abans del punt de mesura i 5 diàmetres després del punt de mesura. Si no és possible aquesta configuració, s'ha de deixar 2/3 abans i 1/3 després.
7. S'ha d'anotar o guardar la mesura quan el valor d'aquesta s'estabilitzi.



a) A una travessa.



b) A dues travesses.

Figura 9.14. Muntatge dels transductors.

6.4. Mesura de voltatge, intensitat i factor de potència.

1. S'han de connectar les preses de tensió i les pinces amperimètriques segons el tipus d'instal·lació, tal com s'indica a la Figura 9.15, en les connexions del motor elèctric del compressor. S'han de 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 que s'ha de realitzar segons les configuracions presentades en la Figura 9.15.
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.

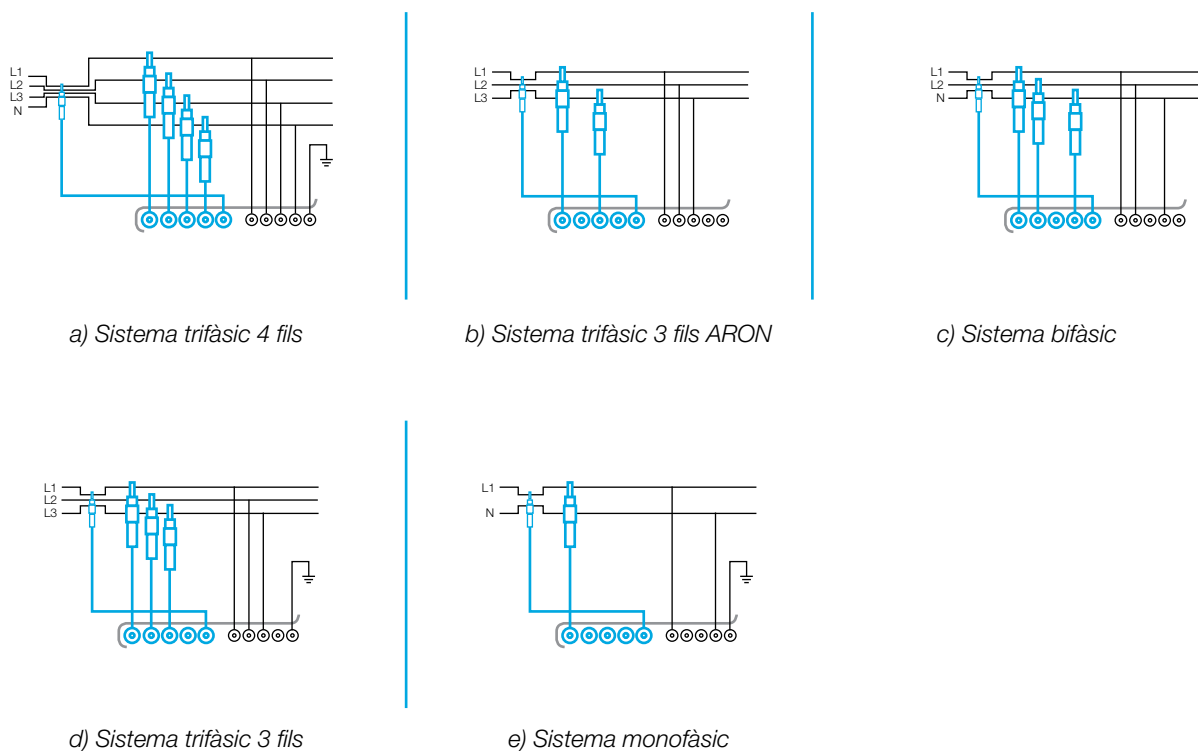


Figura 9.15. Tipus de configuracions a les xarxes elèctriques.

7. Exemple pràctic

7.1. Enunciat

Es vol avaluar el balanç d'una refredadora que subministra aigua freda per refredar uns motlles a una indústria. La refredadora és aigua-aire i funciona amb un compressor semihermètic accionat per un motor elèctric trifàsic. El fabricant ens dóna una potència nominal frigorífica de 350 kW i un COP 2,8.

7.2. Dades

A la Taula 9.4 es mostra el recull de valors extrets de la taula 9.1 a partir de les temperatures mesurades a l'entrada i a la sortida de l'aigua en la refredadora per compressió.

Paràmetres	Unitats	Dada
Densitat de l'aigua (7-12°C)	kg/m ³	999,7
Calor específica de l'aigua (7-12°C)	kJ/kg·°C	4,194

Taula 9.4. Dades de què es disposa en la refredadora sobre el fluid que bescanvia calor amb l'evaporador.

A la taula 9.5 es recullen els valors dels paràmetres mesurats en la refredadora.

Paràmetres	Unitats	Dada
Temperatura d'entrada de l'aigua	[°C]	12,4
Temperatura de sortida de l'aigua	[°C]	7,2
Cabal volumètric	m ³ /s	0,0104
Voltatge del motor elèctric del compressor	V	403,2
Intensitat del motor elèctric del compressor	A	184,6
Factor de potència del motor elèctric del compressor	-	0,816

Taula 9.5. Dades mesurades en la refredadora.

7.3. Càlculs i resultat

A partir de les dades referenciades a la Taula 9.4 i Taula 9.5, es pot calcular la potència frigorífica associada a l'aigua al seu pas per l'evaporador:

$$\dot{Q}_e = \dot{V}_e \cdot \rho_e \cdot c_{p,e} \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_e = 0,0104 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 999,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,194 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (12,4 - 7,2)^\circ\text{C} = 226,7 \text{ kW}$$

I la potència activa consumida pel motor del compressor:

$$\dot{W}_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi = \sqrt{3} \cdot 403,2 \text{ V} \cdot 184,6 \text{ A} \cdot 0,816 = 105,2 \text{ kW}$$

Finalment amb aquests dos valors es pot calcular el COP de la refredadora:

$$\text{COP}_F = \frac{Q_e}{W_e} = \frac{226,7 \text{ kW}}{105,2 \text{ kW}} = 2,155 \approx 2,15$$

7.4. Comentaris

El COP de la refredadora proporcionat pel fabricant és de 2,8; en canvi, l'obtingut en la realització del balanç energètic és de 2,15. Suposant que el fabricant realitza les proves d'eficiència en condicions preestablertes sota paràmetres ambientals fixats, el COP obtingut es troba dins els valors lògics per aquest equip en qüestió.

Aquesta diferència pot ser deguda a pèrdues energètiques a través de les canonades, la qual cosa es tradueix en un sobreescalfament del refrigerant a l'aspiració del compressor, a l'embrutiment de l'evaporador o condensador, a un excés de potència reactiva en el motor del compressor que caldria compensar amb una bateria de condensadors i a la càrrega de treball del motor, ja que en general els motors elèctrics tenen més factor de potència a plena càrrega.

S'aconsella estudiar la màquina durant un cert període de temps per obtenir el rendiment d'explotació anual o SPF (Seasonal Performance Factor) i, consegüentment, tenir una idea més real del funcionament d'aquesta. El SPF és la mitjana dels COP al llarg de tot l'any, i aquest és més representatiu, ja que la temperatura exterior és el factor de més incidència en el COP.

8. Referències

- [1] 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
- [2] Reial decret 1027/2007. Reglament d'instal·lacions tèrmiques en edificis. BOE, 29 d'agost de 2007.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820>
- [3] Reial decret 238/2013, de 5 d'abril
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-3905>
- [4] YUNUS A. ÇENGEL (1998). Heat transfer. A practical approach. WCB/McGraw-Hill. Taula A-9, pàg. 958-959.
- [5] YUNUS A. ÇENGEL (1998). Heat transfer. A practical approach. WCB/McGraw-Hill. Taula A-11, pàg. 961.
- [6] ASHRAE HANDBOOK (1997). Fundamentals, SI Edition. ASHRAE Psychometric chart No 1, capítol 6.11.
- [7] ASHRAE HANDBOOK (1997). Fundamentals, SI Edition. Taula 3, capítol 6.5-6.7.
- [8] Grea - Documentació curs formació. Curs d'ús d'instruments per a la realització d'auditories energètiques. Annexos, pàg.147. Juliol de 2008.

