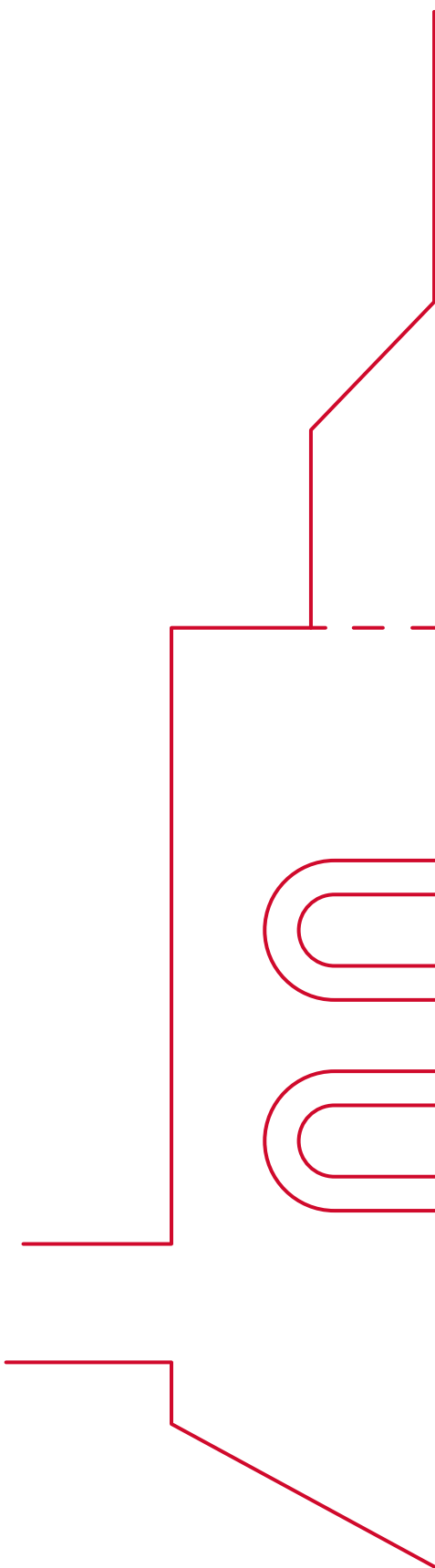




COL·LECCIÓ
BALANÇ ENERGÈTIC
D'EQUIPS CONSUMIDORS
MESURA I CÀLCUL

CALDERES
D'AIGUA
CALENTA
I FLUIDS
TÈRMICS

06





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

CALDERES
D'AIGUA
CALENTA
I FLUIDS
TÈRMICS

06

Primera edició

Setembre 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

Albert Salas - 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	10
1.3	Abast del mòdul	10
2	Descripció del sistema	10
2.1	Definició	10
2.2	Principis de funcionament i paràmetres	11
2.3	Tipologies d'equip	12
2.4	Normativa aplicable	14
2.5	Descripció gràfica	16
3	Definició del balanç energètic	17
3.1	Descripció del balanç energètic	17
3.2	Esquema del balanç energètic	18
4	Bases de càlcul	19
4.1	Formulació	19
4.2	Taules i diagrames	21
5	Planificació de mesures	23
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	26
6	Realització de les mesures	26
6.1	Mesura de les temperatures de superfície	26
6.2	Mesura del cabal de líquids	28
6.3	Mesura de la potència d'escalfament i de bombeig del combustible líquid	29
7	Exemple pràctic	30
7.1	Enunciat	30
7.2	Dades	30
7.3	Càlculs i resultat	31
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 sisè d'aquesta col·lecció que pren com a sistema d'estudi la caldera d'aigua calenta. El balanç energètic calcula el rendiment de la caldera contrastant la calor que guanya i el fluids tèrmics que s'escalfa en ella amb la calor que aporta el combustible emprat en aquest procés.

1. Introducció

1.1. Justificació del mòdul

Des de la revolució industrial, el vapor i l'aigua calenta s'han utilitzat com a mitjans de transport de l'energia tèrmica en aplicacions cinemàtiques en moviment de màquines o en sistemes de calefacció i aigua calenta sanitària (ACS).

Actualment, l'aigua calenta o el vapor s'utilitzen en moltes aplicacions industrials, en aparells domèstics i en molts processos de la indústria química, farmacèutica, tèxtil, alimentària, etc. A més a més, s'empren altres fluids tèrmics com poden ser mesclades de sals orgàniques, fluids tèrmics sintètics, silicats orgànics, alguns tipus de benzè, mesclades de diverses substàncies amb òxids i olis tèrmics. Els olis tèrmics són molt utilitzats a banda de l'aigua calenta i el vapor.

L'aigua esdevé un medi molt versàtil pel transport d'energia tèrmica, ja que no és tòxica, és relativament barata i accessible en molts països, permet un fàcil ajust de la temperatura d'operació i transporta grans quantitats d'energia amb poca massa. Per altra banda, l'aigua no és aconsellable en aplicacions d'alta temperatura (més de 150 °C), ja que, per aconseguir les temperatures d'operació, s'han d'assolir pressions molt elevades que suposen un elevat cost de les instal·lacions. Per tant, en aplicacions d'alta temperatura, el més lògic és que s'utilitzin olis tèrmics, sals orgàniques o vapor.

A les instal·lacions tèrmiques que utilitzen aquests fluids, es destaca com a element principal la caldera, la qual és l'encarregada de proporcionar l'energia necessària per elevar el nivell tèrmic del fluid amb què opera.

L'eficiència energètica de les instal·lacions tèrmiques que utilitzen aquests fluids depèn molt de les condicions d'operació d'aquestes, de la pressió i temperatura d'operació, del funcionament dels accessoris, del filtrat d'impureses i dels tractaments previs dels fluids. Però sobretot cal destacar l'eficiència energètica de la caldera com a factor més important en l'eficiència global de la instal·lació.

És per això que és convenient fer un balanç energètic en aquest tipus de calderes per evitar pèrdues energètiques que s'acaben traduint en costos energètics i mediambientals. També cal comentar que és important estudiar l'aïllament en les canonades, així com l'estat dels accessoris.

1.2. Objectiu del mòdul

L'objectiu d'aquest mòdul és proporcionar una metodologia i unes bases de càlcul per poder realitzar mesures per caracteritzar un balanç energètic en calderes d'aigua calenta i d'altres fluids tèrmics.

1.3. Abast del mòdul

Aquest mòdul se centra bàsicament en tres tipus de calderes: les calderes piro-tubulars, aquo-tubulars i compostes. També es fa referència a tres tipologies de calderes segons el tipus de combustió de què disposen.

A l'apartat 2.3 es poden observar algunes de les característiques més importants d'aquests tres tipus de calderes.

Tot i que aquest mòdul s'anomena balanç energètic de calderes d'aigua calenta, tot el que inclou és aplicable a calderes amb altres fluids tèrmics. No obstant això, per facilitar-ne la lectura moltes vegades s'ometrà l'alternativa del fluid tèrmic.

2. Descripció del sistema

2.1. Definició

Una caldera d'aigua o de qualsevol altre fluid tèrmic és un dispositiu encarregat de proporcionar l'energia tèrmica suficient al fluid amb què treballa perquè aquest assolixi el nivell tèrmic que es requereix en el procés en què s'utilitza.

Una caldera de fluid tèrmic es pot considerar com una cambra tancada i pressuritzada que incorpora a l'interior un sistema de bescanvi de calor en el qual intervenen els productes de la combustió procedents de la cambra de combustió i el fluid tèrmic en qüestió.

Hi ha una extensa gamma de calderes que van des de calderes de petita potència per produir aigua calenta sanitària o per proporcionar calefacció en locals aïllats, fins a calderes amb més potència que formen part d'instal·lacions terciàries com poden ser hotels, hospitals, etc. Cal destacar també les calderes que formen part de centrals de producció tèrmica.

Finalment cal dir que aquest tipus de calderes, igual que les calderes de vapor, constitueixen un dispositiu molt versàtil ja que poden funcionar utilitzant pràcticament qualsevol tipus d'energia gràcies a l'extensa tipologia de cremadors amb què poden operar. Des de cremadors que poden funcionar amb combustibles sòlids, líquids o gasosos, fins a

cremadors que en la seva tipologia constructiva poden modular la potència i adaptar-la a la corba de consum de la caldera.

Per a més informació, es pot consultar el mòdul de combustió en cremadors.

2.2. Principis de funcionament i paràmetres

El funcionament de les calderes de fluid tèrmic és força semblant al funcionament de les calderes de vapor. En primer lloc, entra una mescla de combustible i comburent (aire) en el cremador de la caldera, aquest inflama la mescla i en provoca la combustió dins la cambra de combustió o llar.

Posteriorment, els gasos de combustió recorren la cambra interna de la caldera intercanviant calor amb el fluid tèrmic i, posteriorment, són expulsats a través d'una xemeneia. Durant aquest procés, el fluid tèrmic s'escalfa fins a assolir el nivell tèrmic que es necessita perquè pugui complir les seves funcions en el procés en què s'empra.

Un cop el fluid tèrmic ha circulat per tota la instal·lació es retorna a l'entrada de la caldera amb un nivell tèrmic inferior al de sortida, i inicia de nou el cicle d'escalfament del fluid.

Cal destacar el tractament previ de l'aigua o de la caldera per evitar la formació d'incrustacions o fenòmens de corrosió en aquesta, la qual cosa pot provocar situacions d'explosió en les parts que suporten pressió o pèrdua d'eficiència energètica. També s'ha de destacar que en les calderes d'ACS hi ha una reposició de l'aigua que es perd amb aigua de xarxa prèviament tractada.

Un cop es coneixen els principis de funcionament d'una caldera d'aigua o fluid tèrmic, s'ha de calcular l'eficiència energètica d'aquesta per tal d'avaluar-ne el correcte funcionament, és a dir, quina quantitat de potència consumida per la caldera es transforma en potència útil absorbida pel fluid tèrmic per assolir el nivell tèrmic requerit.

Per tant, per tal de calcular l'eficiència energètica d'aquest tipus de calderes, es necessiten els paràmetres següents: densitat, cabal volumètric o màssic i calor específica del fluid amb què opera la caldera, així com també la temperatura d'entrada i sortida d'aquest en la caldera.

Per altra banda, s'ha de caracteritzar la potència associada al combustible que utilitza la caldera i, per tant, es necessiten els paràmetres següents: el tipus de combustible per caracteritzar el poder calorífic inferior (PCI) i la seva densitat, així com també el cabal volumètric o màssic, la temperatura i la pressió del combustible.

En el cas de tractar-se de combustibles líquids, a banda dels paràmetres anteriors també s'ha de caracteritzar la potència de preescalfament del combustible així com la de bombeig d'aquest.

2.3. Tipologies d'equip

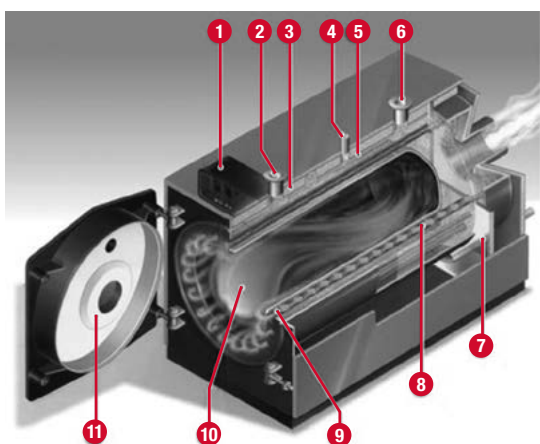
A continuació, es fa una breu descripció dels tipus de calderes que es troben actualment a la indústria o a grans instal·lacions del terciari:

Calderes pirotubulars. En aquest tipus de calderes, els fums procedents del cremador circulen per dins els tubs situats a la cambra interna de la caldera, mentre que l'aigua ho fa per fora dels tubs. Poden ser verticals o horitzontals, encara que la majoria són horitzontals. Bàsicament, consisteixen en una cambra de combustió horitzontal, que pot variar entre 0,5 i 1,8 m de diàmetre segons de la potència de sortida de la caldera. La seva finalitat principal és subministrar de calor.

Les calderes pirotubulars amb producció de foc estan limitades a 20-30 bars de pressió d'operació, mentre que amb la utilització de calor residual aquest límit pot augmentar considerablement. Per altra banda, la seva potència tèrmica de sortida està limitada a 20 MW. Cal dir que en aplicacions d'ACS o calefacció no s'assoleixen aquests límits, ja que tant la pressió com la potència de sortida són inferiors en comparació amb la generació de vapor.

El seu rendiment tèrmic oscil·la entre el 80-85% segons el combustible i la temperatura a què es vol escalfar el líquid, millorable si disposa d'un economitzador. Poden utilitzar qualsevol tipus de combustible comercial i tenen baix cost comparat amb les aquotubulars en les aplicacions en que són intercanviables.

Aquest tipus de calderes estan preparades per treballar després de fer totes les connexions als serveis i necessiten aigua prèviament tractada. A més, el període d'inspecció en aquest tipus de calderes és inferior, cada 16 mesos.



Caldera en acer d'elevat rendiment.

Cortesia JOANNES.

1 i 4 - Control i seguretat.

2 - Retorn de l'aigua.

3 i 5 - Aïllament i revestiment.

6 - Impulsió de l'aigua calenta.

7 - Descàrrega d'aigua.

8 - Tubulars d'acer inoxidable encertats en els tubs de fums.

9 - Ganxo d'extracció.

10 - Llar de combustió.

11 - Comporta revestida de ceràmica, on s'instal·la el cremador.

Figura 6.1. Parts d'una caldera pirotubular en acer d'elevat rendiment.

Calderes aquotubulars. En aquest tipus de calderes l'aigua circula per l'interior dels tubs, mentre que els fums circulen entre els espais dels tubs. La seva finalitat és subministrar calor i/o potència.

Es consideren de manera ideal sense límit de pressió i sense límit de potència tèrmica de sortida. Cal dir que, en aplicacions d'ACS o calefacció, tant la pressió com la potència de sortida són inferiors en comparació amb la generació de vapor. El seu rendiment oscil·la entre el 85-90% i l'economitzador normalment està inclòs en la caldera.

A causa de la gran cambra de combustió de què disposen, poden funcionar amb qualsevol tipus de combustible, ja que el disseny del forn pot adaptar-se al combustible. Tenen un alt cost en comparació amb les piro-tubulars en les aplicacions en què són intercanviables.

Poden acoblar-se a fàbrica o en el lloc de destí i necessiten aigua tractada però amb més cura que les piro-tubulars. El període d'inspecció d'aquest tipus de calderes és de 26 mesos.

La flexibilitat en el disseny fa que siguin innombrables les tipologies constructives d'aquest tipus de calderes i, per tant, es poden trobar calderes aquotubulars amb múltiples dipòsits, de dipòsit únic, amb circulació forçada o assistida.

Calderes compostes. En aquest tipus de caldera, el dipòsit se substitueix per una carcassa amb tubs de petit diàmetre, o sigui, una caldera piro-tubular sense forn. Aquest tipus de disseny combina els avantatges del baix cost de les calderes piro-tubulars amb el seu dipòsit gran, amb la flexibilitat pel combustible del forn de les aquotubulars. En una caldera composta, la potència de sortida està controlada per la capacitat de fabricació de la carcassa i per limitacions en el transport.

La pressió màxima està limitada per la temperatura de les plaques dels tubs. De totes maneres, en aquest tipus de calderes s'eliminen els problemes de pressió i potència de sortida de les calderes piro-tubulars. Cal dir que en aplicacions d'ACS o calefacció, tant la pressió com la potència de sortida són inferiors en comparació amb les de generació de vapor.

Calderes de fluids tèrmics diferents de l'aigua. En aquest tipus de calderes, s'utilitzen generalment olis tèrmics o sals orgàniques en comptes d'aigua. Poden arribar a assolir temperatures de servei de 350-400°C (en funció del tipus de fluid tèrmic) sense assolir pressions molt elevades. És per això que s'utilitzen amb molta freqüència en aplicacions d'alta temperatura. Cal dir que en aquest tipus de caldera es produeix una recirculació del fluid i, per tant, no cal una reposició d'aquest com passa a les calderes d'ACS.

A banda dels combustibles, poden escalfar el fluid a partir de resistències elèctriques, fet que fa que també s'utilitzin en aplicacions de calefacció amb calderes de menys potència. Actualment, hi ha diverses tipologies constructives d'aquest tipus de calderes que utilitzen com a font energètica les energies renovables com l'energia solar.

Altres tipus de calderes segons el tipus de combustió poden ser:

Calderes atmosfèriques. En aquest tipus de calderes, la combustió és oberta i l'aire per la mescla combustible-aire s'agafa de l'entorn a pressió atmosfèrica.

Calderes estanques o a pressió. En aquest tipus de calderes, el sistema de combustió és un sistema tancat on s'han d'introduir el combustible i l'aire en certes proporcions i amb una determinada pressió.

Calderes de condensació. En aquest tipus de calderes, s'aprofita part de la calor latent producte del vapor d'aigua generat en la combustió. Aquesta calor és la diferència entre el poder calorífic inferior (PCI) i el poder calorífic superior (PCS) del combustible que utilitza la caldera. Amb aquest tipus de calderes, es poden aconseguir rendiments energètics més elevats. Es poden combinar amb qualsevol dels altres dos tipus de caldera segons la combustió.

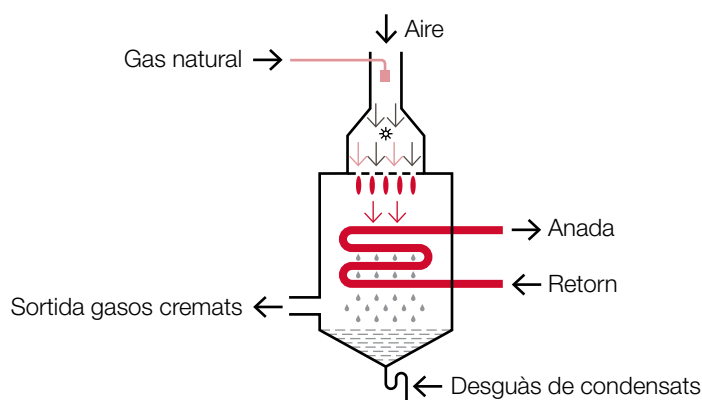


Figura 6.2. Esquema de funcionament d'una caldera de condensació de gas natural.

2.4. Normativa aplicable

La normativa aplicable en aquest mòdul bàsicament és el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis (RITE) [1] del 2007, el Reial Decret 275/1995 [2] on s'apliquen les disposicions de la directiva 92/42/CEE [3] pel que fa als requisits de rendiment de noves calderes d'aigua calenta alimentades amb combustibles líquids i gasosos, i el Reglament d'Equips a Pressió i les seves instruccions tècniques complementàries [4]. I, finalment, també s'exposen diverses normes UNE de referència.

Hi ha una modificació segons el Reial Decret 238/2013, de 5 d'abril, on es modifiquen alguns articles i instruccions tècniques.

A més, des del passat 26 de setembre de 2015, van entrar en vigor els reglaments UE núm. 813/2013 i UE núm. 814/2013, on es complementa Directiva 2009/125/CE pel que fa als requisits de disseny ecològic aplicables als aparells de calefacció, calefactores combinats i escalfadors amb una potència calorífica nominal de ≤ 400 kW, i dipòsits d'aigua calenta amb una capacitat de ≤ 2.000 litres.

Els fabricants seran els que hauran d'aplicar els criteris següents a la seva producció:

- Es defineixen els nivells mínims d'eficiència.
- Es defineixen els valors màxims de soroll.
- Es defineixen els valors màxims d'emissions de NOx.
- Es defineixen els nivells mínims d'aïllament en acumuladors d'ACS.
- S'estableix un nou criteri a l'hora de calcular els rendiments dels equips, i es passa del rendiment instantani al rendiment estacional.
- S'estableix un nou dimensionament per a ACS, en funció del perfil de consum declarat.

També entren en vigor els reglaments UE núm. 811/2013 i UE núm. 812/2013 on es complementa la Directiva 2010/30/UE pel que fa a l'etiquetatge energètic d'aparells de calefacció, calefactores combinats, equips combinats d'aparell de calefacció, control de temperatura i dispositiu solar i escalfadors d'aigua, dipòsits d'aigua calenta i els equips combinats d'escalfador d'aigua i dispositiu solar. Calderes fins a una potència calorífica nominal de ≤ 70 kW i dipòsits d'aigua calenta amb una capacitat ≤ 500 litres. Pel que fa a la pèrdua de calor a través de les canonades, accessoris o dispositius de la caldera, al RITE s'exigeix la incorporació d'aïllament en aquestes. També s'exigeix una mínima espessor d'aquest en funció del diàmetre exterior de la canonada i de la diferència de temperatures.

En el reglament present, a la instrucció tècnica IT1, concretament 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 aquest apartat, a trets generals, es destaca bàsicament 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 els fluids termòfors.

Dins el mateix reglament, a l'apartat IT. 1.2.4.1.2. *Generación de calor*, s'estableixen els requisits mínims de rendiment energètic dels generadors de calor així com també el fraccionament de potència.

Al Reial Decret 275/1995, concretament a l'annex III, s'exposen els requisits mínims pel que fa al rendiment de diversos tipus de calderes d'aigua calenta en funció de la potència nominal d'aquesta.

Pel que fa al Reglament d'Equips a Pressió en la instrucció tècnica complementària ITC EP-1, *Calderas*, s'especifica que s'hauran d'adoptar les mesures de seguretat, rendi-

ment o mediambientals indicades en les corresponents disposicions específiques del reglament present.

En la mateixa instrucció, es detallen les condicions d'emplaçament, instal·lació, posada en marxa, inspeccions periòdiques, reparacions i modificacions, a banda de les obligacions dels usuaris i operadors de caldera, per garantir la seguretat de les persones i de les calderes.

Dins la ITC EP-1, RD2060/2008, de 12 de desembre, destaquen l'article 8, *Agua de alimentación y agua de la caldera*, i l'article 12, *Obligaciones de los usuarios*. L'article 8 fa referència al tractament previ de l'aigua de la caldera i al règim de control, filtratge, purgues i extraccions.

Per altra banda, a l'article 12 es fa referència a les obligacions de l'usuari de la caldera envers el funcionament, el manteniment, la vigilància i la documentació de la caldera i els accessoris.

Es poden consultar altres normes que fan referència a calderes, les quals s'indiquen a continuació:

UNE 9-310:1992. *Instalaciones transmisoras de calor mediante líquido diferente al agua*.

Per a calderes pirotubulars: UNE 12953: 2003

Per a calderes aquotubulars: UNE-EN 12952:2004.

2.5 Descripció gràfica

A la Figura 6.3 es mostren les diferents parts d'una caldera d'aigua calenta o de fluid tèrmic. Des de la Figura 6.4 fins a la Figura 6.6, es mostren els diferents tipus de calderes d'ACS.

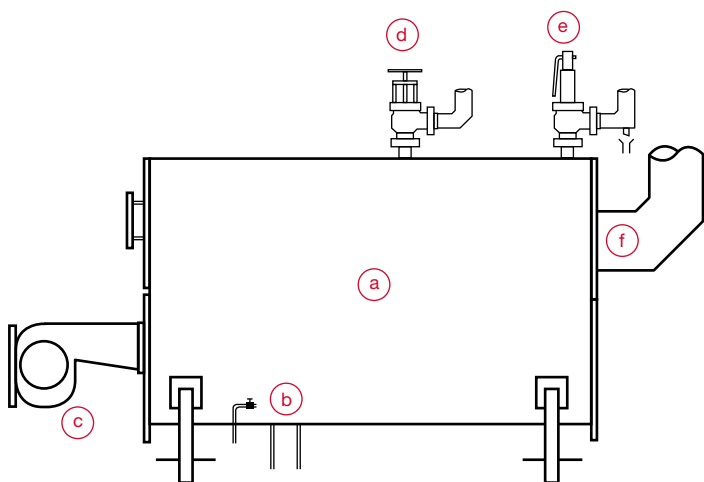


Figura 6.3. Esquema de les parts d'una caldera d'aigua calenta o de fluid tèrmic diferent: a) Caldera, b) Entrada d'aigua o fluid tèrmic, c) Cremador, d) Sortida de l'aigua o fluid amb un nivell tèrmic superior, e) Vàlvula de seguretat, f) Sortida de fums.

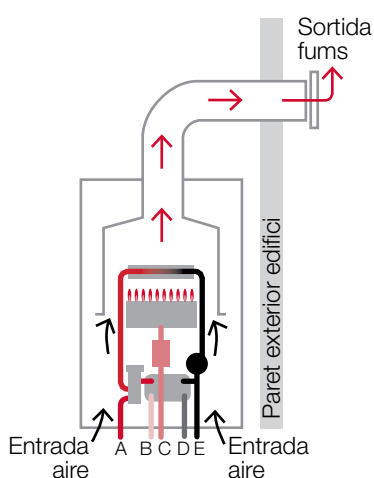


Figura 6.4. Caldera atmosfèrica

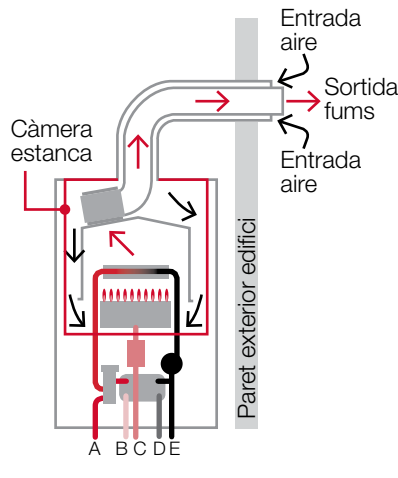


Figura 6.5. Caldera estanca

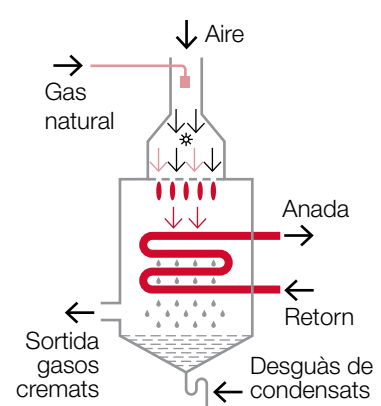


Figura 6.6. El principi de condensació

A - Sortida calefacció. **B** - Sortida aigua calenta. **C** - Entrada gas.
D - Entrada aigua freda. **E** - Retorn calefacció.

3. Definició del balanç energètic

3.1. Descripció del balanç energètic

El balanç energètic en aquest tipus calderes té com a objectiu caracteritzar els fluxos d'energia d'entrada i sortida de la caldera per poder calcular el rendiment energètic d'aquesta.

Per tant, en calderes d'aigua calenta o d'un altre fluid tèrmic diferent, es consideren com a entrades el flux d'energia associat a l'entrada del fluid en la caldera i el flux d'energia procedent de la combustió del combustible en el cremador. Per altra banda, es consideren com a sortides el flux d'energia associat a la sortida del fluid en la caldera el flux d'energia associat als fums de sortida i el flux d'energia associat a les pèrdues per transferència de calor de la caldera. Un cop caracteritzats els corrents d'entrada i sortida en la caldera, relacionant la potència tèrmica útil que absorbeix el fluid en la caldera i la potència tèrmica de la combustió, s'obté el rendiment de la caldera.

Una altra manera d'avaluar el rendiment d'una caldera és caracteritzant el percentatge de pèrdues per transferència de calor en la caldera, el percentatge de pèrdues en els fums i

el percentatge de pèrdues energètiques per la presència d'incrementats a causa d'una combustió incompleta en el cremador. Un cop es tenen caracteritzats aquests percentatges, es resten del rendiment ideal, és a dir, del 100%, i es troba el rendiment de la caldera.

Aquest últim mètode requereix aplicar les correlacions de transferència de calor i realitzar un balanç energètic en el cremador per avaluar les pèrdues en la combustió. En aquest mòdul, no es mostra aquest mètode, ja que es mostra en el mòdul de cremadors.

Finalment, cal comentar que, a partir de l'entrada dels reglaments UE 813/2013 i UE 814/2013 on es complementa la Directiva 2009/125/CE, els fabricants hauran de tenir en compte els requisits de disseny ecològics aplicables, això entre d'altres modificacions, la qual cosa afectarà a l'hora de calcular els rendiments dels equips amb una potència calorífica nominal inferior o igual als 400 kW, en què es passarà del rendiment instantani al rendiment estacional, fent servir per al càlcul el PCS (Poder Calorífic Superior) en comptes del PCI (Poder Calorífic Inferior).

3.2. Esquema del balanç energètic

En l'equació 6.1 es mostra la relació entre els corrents d'entrada i sortida en una caldera d'aigua calenta o d'un altre fluid tèrmic diferent, mentre que en la figura 6.7 es mostra l'esquema del balanç energètic respectivament.

Energia Entrant (in) = Energia sortin (out)

$$\dot{Q}_{f,in} + \dot{F} = \dot{Q}_{f,out} + \dot{Q}_{fums} + \dot{Q}_p \quad \text{Equació 6.1}$$

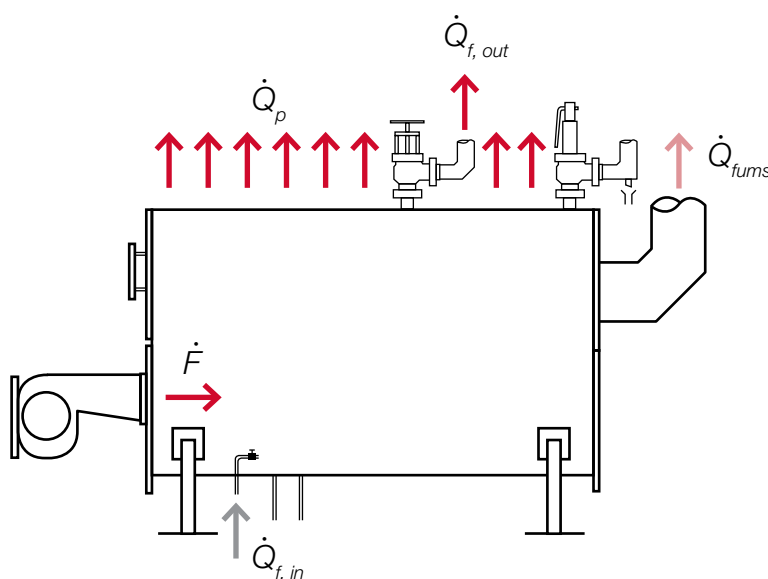


Figura 6.7. Esquema del balanç energètic.

4. Bases de càlcul

A continuació, es detalla el desenvolupament matemàtic per definir el rendiment *in situ* de la caldera, és a dir, partint de mesures i dades de consum reals i no de dades de catàleg.

El rendiment de la caldera (η) es defineix com:

$$\eta = \frac{\text{Increment energètic del fluid caloportador}}{\text{Energia del combustible abans de la combustió}}$$

4.1. Formulació

En primer lloc, s'ha de calcular la potència tèrmica útil que absorbeix l'aigua o el fluid tèrmic al seu pas per la caldera mitjançant l'equació 6.2:

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_{f,out} - \dot{Q}_{f,in}$$

$$\dot{Q}_u = \dot{V}_f \cdot \rho_f \cdot c_{p,f} \cdot \Delta T \quad \text{Equació 6.2}$$

On:

\dot{Q}_u [kW] o [MW] correspon a la potència tèrmica útil absorbida pel fluid tèrmic al seu pas per la caldera.

$\dot{Q}_{f,in}$ [kW] o [MW] correspon a la potència tèrmica associada al fluid a l'entrada de la caldera.

$\dot{Q}_{f,out}$ [kW] o [MW] correspon a la potència tèrmica associada al fluid a la sortida de la caldera.

\dot{V}_f [m³/s] correspon al cabal volumètric del fluid tèrmic en la caldera.

ρ_f [kg/m³] correspon a la densitat de l'aigua o fluid en la caldera. Valor extret de taules. Per l'aigua, cal consultar la Taula 6.1 a partir de la temperatura mitjana de l'aigua en la caldera.

$c_{p,f}$ [kJ/kg·°C] correspon a la calor específica del fluid en la caldera. Valor extret de taules. Per l'aigua, cal consultar la Taula 6.1 a partir de la temperatura mitjana de l'aigua.

ΔT [°C] correspon al salt tèrmic que experimenta el fluid al seu pas per la caldera.

En segon lloc, es calcula la potència tèrmica associada a la combustió de combustibles. Per a combustibles líquids, es calcula mitjançant l'Equació 6.3 i per a gasosos, mitjançant l'Equació 6.4.

$$\dot{F}_L = \dot{V}_{comb,L} \cdot \rho_{comb,L} \cdot PCI_L + \dot{W}_{e,h} + \dot{W}_{e,p} \quad \text{Equació 6.3}$$

On:

\dot{F}_L [kW] o [MW] correspon a la potència tèrmica del combustible líquid.

$\dot{V}_{comb,L}$ [m³/s] correspon al cabal volumètric del combustible líquid en el cremador.

$\rho_{comb,L}$ [kg/m³] correspon a la densitat del combustible líquid en el cremador.

PCI_L [kJ/kg] correspon al poder calorífic inferior del combustible líquid en el cremador.

$\dot{W}_{e,h}$ [kW] correspon a la potència elèctrica del preescalfador del combustible líquid.

$\dot{W}_{e,p}$ [kW] correspon a la potència elèctrica de bombeig del combustible líquid.

$$\dot{F}_G = \dot{V}_n \cdot PCI_G \quad \text{Equació 6.4}$$

On:

\dot{F}_G [kW] o [MW] correspon a la potència tèrmica del combustible gasós.

\dot{V}_n [Nm³/s] correspon al cabal volumètric del combustible gasós en el cremador, en condicions normals de pressió i temperatura, és a dir, 101,3 kPa de pressió i 0 °C de temperatura. Es calcula mitjançant l'Equació 6.5.

PCI_G [kJ/Nm³] correspon al poder calorífic inferior del combustible gasós en condicions normals corresponents a 0 °C de temperatura i 101,3 kPa de pressió.

El subministrador de combustible proporciona el poder calorífic de subministrament en la factura. Per altra banda, si no es té aquest valor, es pot consultar en taules (Taula 6.2 per a combustibles líquids i Taula 6.3 per a combustibles gasosos).

$$\dot{V}_n = V_r \cdot \frac{P_r}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_r} \cdot \frac{Z_0}{Z_r} \quad \text{Equació 6.5}$$

On:

\dot{V}_r [m³/s] correspon al cabal volumètric real de combustible gas mesurat al comptador.

P_r [kPa] correspon a la pressió absoluta del combustible gas en el subministrament.

P_0 [kPa] correspon a la pressió absoluta del combustible gas en condicions normals. Es considera 1 atmosfera o 101,3 kPa per a aquesta variable.

T_0 [K] correspon a la temperatura del combustible gas en condicions normals. Es considera de 273,15 K, és a dir, 0°C.

T_r [K] correspon a la temperatura real del combustible gas en el subministrament.

Z_0 [-] correspon al factor de compressibilitat del gas en condicions normals.

Z_r [-] correspon al factor de compressibilitat del gas en les condicions de pressió i temperatura reals.

Els factors de compressibilitat Z_0 i Z_r són complexos en el seu càlcul, i a les pressions de treball de les calderes el quocient $\frac{Z_0}{Z_r}$ pràcticament no afecta. Per tal de facilitar els càlculs, aquest quocient es redueix a la unitat, $\frac{Z_0}{Z_r} = 1$

Un cop calculades la potència tèrmica útil que absorbeix l'aigua o el fluid tèrmic i la potència tèrmica del combustible, es pot calcular el rendiment de la caldera amb combustible líquid mitjançant l'Equació 6.6 i amb combustible gasós mitjançant l'Equació 6.7:

$$\eta_L = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{F}_L} \cdot 100 \quad \text{Equació 6.6}$$

On:

η_L [%] correspon al rendiment energètic en una caldera d'aigua calenta o d'un fluid tèrmic amb combustible líquid.

$$\eta_G = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{F}_G} \cdot 100 \quad \text{Equació 6.7}$$

On:

η_G [%] correspon al rendiment energètic en una caldera d'aigua calenta o d'un fluid tèrmic amb combustible gasós.

4.2. Taules i diagrames

A la Taula 6.1 es mostren les propietats físiques de l'aigua saturada en funció de la temperatura.

Temperatura °C	Pressió de saturació kPa	Densitat kg/m ³		Calor específic J/kg·°C	
T	P	ρ		Cp	
		Líquid	Vapor	Líquid	Vapor
40	7,384	992,1	0,051	4179	1885
45	9,593	990,1	0,065	4180	1892
50	12,35	988,1	0,083	4181	1900
55	15,76	985,2	0,104	4183	1908
60	19,94	983,3	0,13	4185	1916
65	25,03	980,4	0,161	4187	1926
70	31,19	977,5	0,198	4190	1936
75	38,58	974,7	0,242	4193	1948
80	47,39	971,8	0,293	4197	1962
85	57,83	968,1	0,354	4201	1977
90	70,14	965,3	0,423	4206	1993

Taula 6.1. Propietats físiques de l'aigua saturada.

A la Taula 6.2 es pot observar el PCI i el PCS de diferents combustibles líquids i a la Taula 6.3 el PCI i el PCS de diferents combustibles gasosos.

	Densitat	PCI				PCS
	kg/m ³	kcal/kg	kWh/kg	te/kg	MJ/kg	MJ/kg
GLP Propà	506 ⁽¹⁾	11.073	12,88	11,07	46,35	50,45
GLP Butà	580 ⁽¹⁾	10.939	12,72	10,94	45,79	49,68
Querosè	780	10.368	12,06	10,37	43,40	46,50
Gasoli	850	10.099	11,74	10,10	42,28	43,12
Fuel n° 1	944	9.699	11,28	9,70	40,60	42,70

⁽¹⁾ Densitat en estat líquid a 20 °C

Taula 6.2. Poder calorífic superior i inferior de diferents combustibles líquids.

	Densitat	PCI				PCS
	Relativa ⁽¹⁾	kcal/m ³	kWh/m ³	te/m ³	MJ/m ³	MJ/m ³
Gas natural	0,63 ⁽²⁾	9.228	10,73	9,23	38,63	42,92
Gas ciutat	0,65	4.037	4,69	4,04	16,90	18,20
Propà	1,85 ⁽³⁾	20.484	23,8	20,5	85,7	93,3
Butà	2,41 ⁽³⁾	26.253	30,5	26,3	109,9	119,2

⁽¹⁾ Densitat relativa en funció de la de l'aire. Per a obtenir la densitat real multiplicar per 1,29 kg/m³ en condicions normals, o per 1,19 kg/m³ a 20 °C.

⁽²⁾ Variable per a cada jaciment, entre 0.58 i 0.66 en condicions normals.

⁽³⁾ Densitat relativa a 20°C

Taula 6.3. Poder calorífic superior i inferior de diferents combustibles gasosos.

5. Planificació de mesures

5.1. Dades de què es disposa

- Densitat de l'aigua (o d'un fluid tèrmic) d'entrada a la caldera ρ_f [kg/m³]
- Densitat del combustible líquid del cremador: $\rho_{comb,L}$ [kg/m³]
- Poder calorífic inferior del combustible líquid del cremador: PCI_L [kJ/kg]
- Poder calorífic inferior del combustible gasós en condicions normals: PCI_G [kJ/Nm³].
- Pressió del combustible gasós en condicions normals: P_0 [kPa]
- Temperatura del combustible gasós en condicions normals: T_0 [K]

5.2. Dades a mesurar

- Cabal volumètric de l'aigua (o d'un fluid tèrmic) d'entrada a la caldera: \dot{V}_f [m³/s]
- Cabal volumètric real del combustible gas mesurat al comptador: \dot{V}_r [m³/s]
- Cabal volumètric de combustible líquid: $\dot{V}_{comb,L}$ [m³/s]
- Temperatura de l'aigua (o del fluid tèrmic) a l'entrada de la caldera: $T_{f,in}$ [°C]
- Temperatura de l'aigua (o del fluid tèrmic) a la sortida de la caldera: $T_{f,out}$ [°C]
- Temperatura del combustible líquid: $T_{comb,L}$ [°C]
- Potència elèctrica del preescalfador del combustible líquid: $W_{e,h}$ [kW]
- Potència elèctrica de bombeig del combustible líquid: $W_{e,p}$ [kW]
- Temperatura real del combustible gas en el subministrament: T_r [K]
- Pressió real del combustible gas en el subministrament: P_r [kPa]

5.3. Inventari d'aparells de mesura

- Termòmetre de contacte/Termòmetre d'infraroig (Figura 6.8 i Figura 6.9 respectivament).

– Variable mesurada: $T_{f,in}$, $T_{f,out}$, $T_{comb,L}$, T_r



Figura 6.8. Multímetre + Sonda de superfície



Figura 6.9. Termòmetre d'infrarojos.

- Cabalímetre ultrasònic no invasiu per a líquids
 - Variable mesurada: \dot{V}_f , $\dot{V}_{comb,L}$



Cabalímetre



Suport per al muntatge dels transductors grans



Transductors petits amb guia per connectar a dues travesses



Mesurador de gruix de canonades

Figura 6.10. Cabalímetre + Accessoris.

- Analitzador de xarxes elèctriques.
 - Variable mesurada: $\dot{W}_{e,h}$, $\dot{W}_{e,p}$

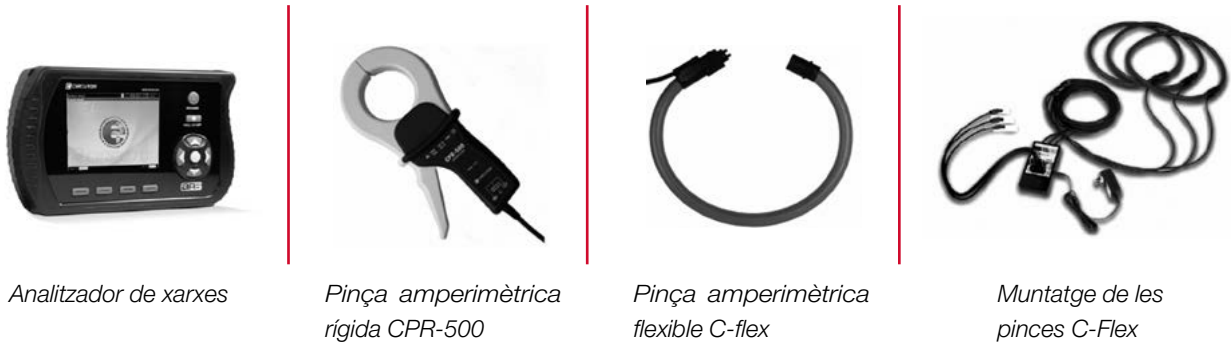


Figura 6.11. Analitzador elèctric AR6 + Accessoris.

La mesura de les variables P_r i V_r resulta molt complexa sense la intervenció directa en el combustible gas.

Donat que no es pot intervenir directament en el gas, perquè significaria un risc elevat d'explosió, moltes calderes incorporen a l'entrada del cremador una rampa de gas o grup de regulació que serveix per acabar de filtrar el gas, regular-lo i comptabilitzar-lo.

Per tant, la mesura d'aquestes variables es pot observar directament sobre el grup de regulació. A la Figura 6.12, es mostra l'esquema d'un grup de regulació típic que poden incorporar les calderes.

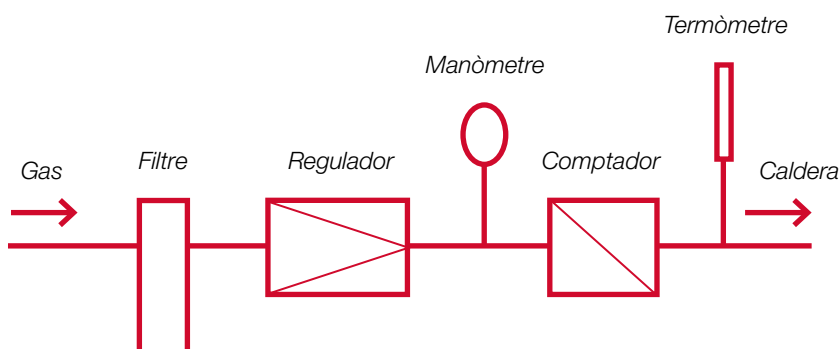


Figura 6.12. Esquema d'un grup de regulació típic en una caldera.

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, $T_{f,in}$, $T_{f,out}$, $T_{comb,L}$, T_r 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 de baixa. En la mesura de les variables \dot{V}_f , $\dot{V}_{comb,L}$ s'ha de tenir en compte que el muntatge del cabalímetre es fa sobre la canonada. Per tant, també per fer aquesta mesura és convenient portar guants de protecció tèrmica.

En la mesura de les variables $\dot{W}_{e,h}$, $\dot{W}_{e,p}$ i altres paràmetres elèctrics, s'ha de tenir present que es fa 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 pels equips. És aconsellable no tractar de manera brusca el multímetre, el termòmetre d'infrarojos i les sondes. S'han de fer 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'han d'evitar muntar en superfícies molt dures o amb temperatures extremes i evitar els xocs amb altres objectes. És convenient fer 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.

Cal evitar tot ajustament, manteniment o reparació que impliqui l'obertura de l'analitzador. En cas que sigui necessari, només pot ser manipulat per personal qualificat. Abans de qualsevol operació, modificació de les connexions, canvi, manteniment o reparació, cal desconectar l'aparell de tota font d'alimentació. Quan se sospiti d'un funcionament erroni, fallada de l'equip o de la protecció, aquest ha de deixar-se fora de servei assegurant que no es pugui produir cap connexió accidental.

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 a 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, cal ajustar l'emissivitat en relació amb el material de la canonada segons la Taula 6.4. i només cal 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.

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

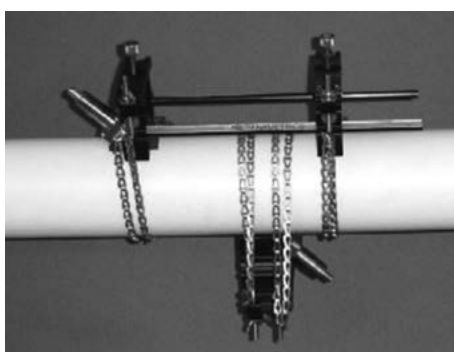
Material	Emissivitat
Neu	0,83 a 0,90
Morter	0,89 a 0,91
Oli	0,97
Òxids de crom	0,81
Òxids de coure, ferro	0,78 a 0,82
Plàstic	0,85 a 0,95
Paper	0,94 a 0,97
Pedra calcària	0,98
Pell humana	0,98
Pintura	0,93
Porcellana	0,92
Plàstic	0,94
Plom *	0,50
Pols	0,94
Rajola	0,90 a 0,96
Sorra	0,90
Suro	0,70
Teula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

Taula 6.4. Emissivitat de diferents materials

* Oxidat ** Opac *** Natural

6.2. Mesura del cabal de líquids

1. En el menú del cabalímetre, s'ha de seleccionar *Parámetros*, per entrar les dades corresponents.
2. 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 forma. En cas contrari, cal utilitzar dades tabulades estàndard.
3. S'han d'entrar les dades del fluid, bàsicament el tipus de fluid. El cabalímetre disposa d'una base de dades de diferents líquids.
4. S'ha d'especificar la longitud de trajectòria, 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 6.13, aplicant greix entre els transductors i la canonada. És aconsellable, en el cas que es pugui, fer el muntatge a dues travesses.
6. S'ha de fer 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 vegades el diàmetre de la canonada abans del punt de mesura i 5 vegades el diàmetre de la canonada 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 les mesura quan el valor d'aquesta s'estabilitzi.



a) A una travessa.

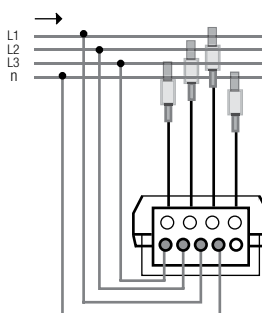


b) A dues travesses.

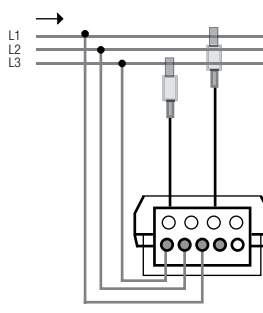
Figura 6.13. Muntatge dels transductors.

6.3. Mesura de la potència d'escalfament i de bombeig del combustible líquid

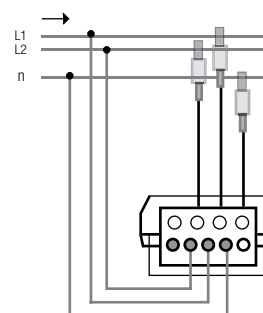
1. S'han de connectar les preses de tensió i les pinces amperimètriques segons el tipus d'instal·lació, tal com s'indica a la Figura 6.14, a les connexions del motor elèctric de la bomba de combustible i del preescalfador. Cal tenir en compte les normes de seguretat del manual i les referenciades a l'apartat 5.4.
2. Un cop dins el programa de configuració, s'ha de canviar el nombre de fases i el neutre segons les configuracions presentades a la Figura 6.14.
3. Un cop realitzada la configuració, cal esperar uns segons i ja es podran visualitzar els paràmetres principals de la xarxa elèctrica.
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.



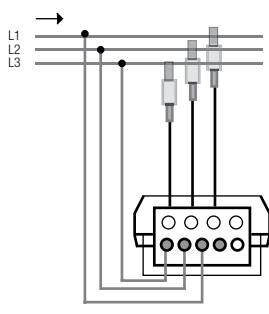
Sistema Trifàsic 4 fils



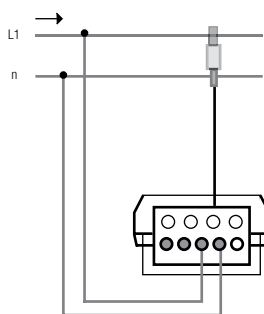
Sistema Trifàsic 3 fils ARON



Sistema Bifàsic



Sistema Trifàsic 3 fils



Sistema Monofàsic

Figura 6.14. Tipus de configuracions en les xarxes elèctriques.

7. Exemple pràctic

7.1. Enunciat

A la Figura 6.15 s'observa la bateria de calderes d'aigua calenta de potència 250kW cadascuna funcionant a gas natural, on es pretén determinar el rendiment d'una d'elles.



Figura 6.15. Bateria de calderes d'aigua calenta amb subministrament de gas natural.

7.2. Dades

A la taula 6.5 es mostra el recull de dades de què es disposa i extretes de la taula 6.1 a la temperatura de sortida de l'aigua (58,4°C).

Paràmetres	Unitats	Dada
Densitat de l'aigua	kg/m ³	984,86
Calor específica de l'aigua	kJ/kg·°C	4,18
Poder calorífic inferior del gas natural	kJ/Nm ³	38.628
Pressió del combustible gasós en condicions normals	kPa	101,3
Temperatura del combustible gasós en condicions normals	K	273,15

Taula 6.5. Dades de què es disposa sobre els fluids d'una de les calderes d'aigua calenta.

A la taula 6.6 es mostren les dades mesurades en una de les calderes.

Paràmetres	Unitats	Dada
Cabal volumètric de l'aigua	m ³ /s	7,32·10 ⁻³
Cabal volumètric real de gas natural	m ³ /s	3,56·10 ⁻³
Temperatura de l'aigua a l'entrada de la caldera	°C	53,4
Temperatura de l'aigua la sortida de la caldera	°C	58,4
Temperatura real del combustible gas en el subministrament ²	K	286,55
Pressió absoluta real del combustible gas en el subministrament ³	kPa	143,8

Taula 6.6. Dades mesurades en una de les calderes d'aigua calenta.

7.3. Càlculs i resultat

A partir de les dades referenciades en la Taula 6.5 i Taula 6.6, es procedeix a calcular, en primer lloc, la calor útil que absorbeix l'aigua al seu pas per la caldera:

$$\dot{Q}_u = \dot{V}_f \cdot \rho_f \cdot c_{p_f} \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q}_u = 7,32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 984,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (58,4 - 53,4)^\circ\text{C} = 150,7 \text{ kW}$$

Un cop calculada la potència tèrmica útil que absorbeix l'aigua, es calcula la potència tèrmica proporcionada pel combustible, en aquest cas gas natural.

Primerament, s'ha de calcular el cabal volumètric del gas natural en condicions normals de la manera següent:

$$\dot{V}_n = V_r \cdot \frac{P_r}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_r} \cdot \frac{Z_0}{Z_r}$$

$$\dot{V}_n = 3,56 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{143,8 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \cdot \frac{273,14 \text{ K}}{286,55 \text{ K}} = 4,82 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Nm}^3}{\text{s}}$$

²La temperatura real del gas corresponent a 13,4 °C s'ha de transformar en K.

³Si es té la pressió relativa en bar s'ha de transformar per obtenir la pressió absoluta en kPa

Seguidament, amb el cabal volumètric en condicions normals, es pot calcular la potència tèrmica que el combustible aporta a la caldera:

$$\dot{F}_G = \dot{V}_n \cdot PCI_G$$

$$\dot{F}_G = 4,82 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Nm}^3}{\text{s}} \cdot 38628 \frac{\text{kJ}}{\text{Nm}^3} = 186,2 \text{ kW}$$

Finalment, amb la potència tèrmica útil i la potència tèrmica proporcionada pel combustible sobre el PCI es pot calcular el rendiment de la caldera

$$\eta_G = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{F}_G} \cdot 100$$

$$\eta_G = \frac{150,7 \text{ kW}}{186,2 \text{ kW}} \cdot 100 = 80,9\% \approx 81\%$$

Cal tenir en compte que el valor del rendiment de la caldera s'ha referenciat sobre el PCI; aquest punt és important si es vol comparar el resultat obtingut amb les dades proporcionades pel fabricant, ja que si es tracta d'un equip de fabricació posterior al 26/09/2015 el càlcul del rendiment no serà l'instantani, sinó l'estacional, i s'haurà obtingut sobre el PCS no sobre el PCI. A mode de comparació, si fem el mateix càlcul sobre el PCS del combustible:

$$\dot{F}_G = \dot{V}_n \cdot PCS_G$$

$$\dot{F}_G = 4,82 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Nm}^3}{\text{s}} \cdot 42920 \frac{\text{kJ}}{\text{Nm}^3} = 206,87 \text{ kW}$$

$$\eta_G = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{F}_G} \cdot 100$$

$$\eta_G = \frac{150,7 \text{ kW}}{206,87 \text{ kW}} \cdot 100 = 72,84\% \approx 73\%$$

Com podem veure, el rendiment de la caldera referenciat sobre el PCS seria més baix.

7.4. Comentaris

El rendiment obtingut es troba dins de l'interval de rendiment lògic per a aquest tipus de caldera. El resultat no es pot considerar com a genèric, ja que les mesures s'han fet sota les anteriors característiques de funcionament, les quals són puntuals. També s'han de tenir en compte els errors comesos en la realització de les mesures i que la caldera treballa al 60% de la capacitat nominal.

En definitiva, s'aconsella fer diverses mesures durant una temporada i amb diferents condicions de funcionament i obtenir el coeficient SPF (Seasonal Performance Factor). A banda, s'aconsella complementar aquesta anàlisi amb l'anàlisi de la combustió mostrada al mòdul de cremadors.

En la interpretació de resultats, cal preveure que per a calderes de condensació es poden arribar a trobar rendiments referenciats al PCI superiors al 100%, que referenciats al PCS són inferiors a 100.

8. Referències

[1] Reial decret 1027/2007. Reglament d'instal·lacions tèrmiques als edificis (RITE). BOE, 29 d'agost de 2007.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820>

[2] Reial decret 275/1995 de 24 de febrer. Disposició de les aplicacions de la directiva del consell de les comunitats europees 92/42/CEE. BOE, 27 de març de 1995.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1995-7536>

[3] Directiva Europea 92/42/CEE. Rendiment per a calderes noves d'aigua calenta alimentades amb combustibles líquids o gasosos. Consell de les comunitats europees. 21 de maig de 1992.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-80891>

[4] Reial decret 2060/2008. Reglament d'equips a pressió i les seves instruccions tècniques complementàries. BOE, 5 de febrer de 2007.

http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2009-1964

[5] YUNUS A. ÇENGEL (1998). *Heat transfer. A practical approach*. WCB/McGraw-Hill. TaulaA-9, pàg. 958-959.

[6] IDAE. *Ahorro y eficiencia energetica en climatización. Guía técnica. Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas*. Taules, pàg. 12.

[7] Grea - Documentació curs formació. Curs d'ús d'instruments per a la realització d'auditories energètiques. Annexos, pàg.147. Juliol de 2008.

