

BALANÇ ENERGÈTIC D'EQUIPS CONSUMIDORS

Mesura i càlcul

AÏLLAMENT

2



Primera edició

Juliol 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

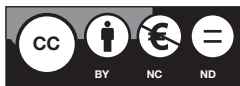
Mariona Coll - Institut Català d'Energia

Disseny i maquetació

Eva Sánchez - Institut Català d'Energia

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>

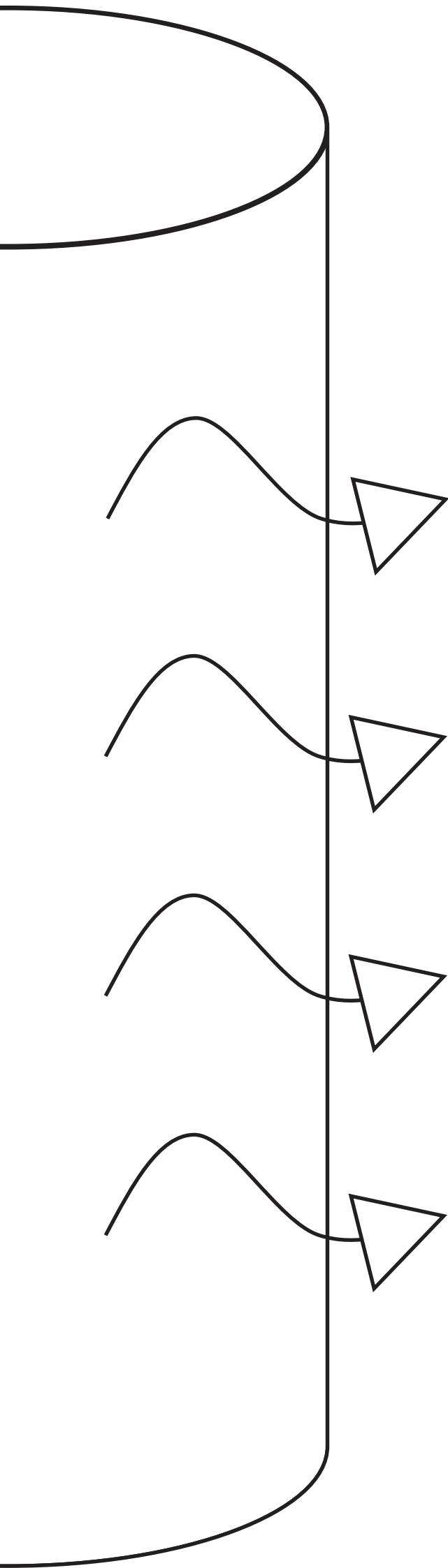


BALANÇ ENERGÈTIC D'EQUIPS CONSUMIDORS

Mesura i càlcul

AÏLLAMENT

2



Índex

Pròleg	7
2.1 Aïllament de canonades	8
2.1.1 Justificació del mòdul	8
2.1.2 Objectiu del mòdul	8
2.1.3 Abast del mòdul	9
2.2 Descripció del sistema	9
2.2.1 Definició	9
2.2.2 Principis de funcionament i paràmetres	9
2.2.3 Tipologies d'equip	10
2.2.4 Normativa aplicable	12
2.2.5 Descripció gràfica	14
2.3 Definició del balanç energètic	15
2.3.1 Descripció del balanç energètic	15
2.3.2 Esquema del balanç energètic	15
2.4 Bases de càlcul	16
2.4.1 Formulació	16
2.4.2 Taules i diagrames	17
2.5 Planificació de mesures	18
2.5.1 Dades de que es disposa	18
2.5.2 Dades a mesurar	18
2.5.3 Inventari d'aparells de mesura	18
2.5.4 Seguretat en persones i equips	19
2.6 Realització de les mesures	19
2.6.1 Mesura de la temperatura de superfície	19
2.6.2 Mesura de la temperatura ambient	20
2.7 Exemples pràctics	20
2.7.1 Enunciat exemple de conducció de fluid calent	20
2.7.2 Dades	21
2.7.3 Càlculs i resultat	21
2.7.4 Comentaris	22
2.7.5 Enunciat exemple de conducció de fluid fred	23
2.7.6 Dades	23
2.7.7 Càlculs i resultat	24
1.8 Referències	26

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 segon d'aquesta col·lecció, i pren com a objecte d'estudi un tram de canonada per on flueix un líquid a temperatura significativament inferior o superior a l'ambiental. El balanç energètic, en aquest cas, mesura les pèrdues de calor i el tipus i gruix d'aïllament adient per minimitzar-les i aconseguir la màxima eficiència energètica en la conducció i el transport de fluids tèrmics.

2.1 Introducció

2.1.1 Justificació del mòdul

La conducció i el transport de fluids tèrmics és una activitat molt important en les instal·lacions tèrmiques, ja que en la majoria de casos la generació d'energia tèrmica es produeix en llocs diferents dels punts de consum.

En les canonades, per mecanismes de transferència de calor (conducció, convecció i radiació), es produeixen pèrdues d'energia. Aquestes pèrdues depenen de la diferència de temperatures entre la canonada i el medi que l'envolta, del tipus de material de la canonada i de les seves dimensions. Com més diferència de temperatures, més grans seran les pèrdues d'energia.

Per aquest motiu, i per qüestions econòmiques i normatives, és convenient incorporar un aïllament tèrmic adequat i minimitzar les pèrdues de calor en les canonades. Tal com se cita a l'*Estudi d'eficiència energètica en el sector dels fluids tèrmics i situació a Catalunya*, [1] "les disposicions del Reglament RITE i de la norma UNE 12241 s'han de complir no sols perquè el reglament ho demana sinó també perquè és rendible, des del punt de vista econòmic, evitar les pèrdues de calor que és produirien en les canonades de transports de fluids tèrmics si no s'aïllessin".

Per això és convenient fer un balanç energètic i caracteritzar el comportament de l'aïllament, per evitar pèrdues energètiques i econòmiques, per avaluar si protegeix les persones contra cremades i, en definitiva, per assegurar que l'aïllament compleix les disposicions de la normativa.

2.1.2 Objectiu del mòdul

En aquest document es pretén proporcionar una metodologia de càlcul i fer un balanç energètic en canonades, amb la finalitat d'avaluar el comportament de l'aïllament respecte a la canonada sense aïllar, i també per comparar les pèrdues segons el material aïllant i el gruix de la capa que s'hi disposi.

2.1.3 Abast del mòdul

L'abast d'aquest mòdul se centra en tots els tipus de conducció de fluids, tant freds com calents, per canonades. Per tant, contempla conduccions d'ACS (aigua calenta sanitària), aigua calenta en general, vapor, olis tèrmics, petroli i derivats, refrigerants, productes químics de la indústria química i farmacèutica, fluids propis de la indústria de l'alimentació com llet, begudes, etc.

Per als tubs d'aire condicionat no es pot aplicar aquesta mateixa metodologia, perquè són conductes rectangulars i, per tant, les formulacions matemàtiques són diferents. El càlcul de la transferència de calor en tubs circulars implica diàmetres i logaritmes, mentre que en conductes rectangulars són sobretot els factors de forma (relació amplada/alçada) els determinants de la transferència. A més a més, la diferència de graus entre l'aire condicionat i la temperatura ambient és molt menor que la que hi ha en els fluids conduïts pels tubs circulars i, per tant, les pèrdues de calor són molt més significatives en aquests fluids. Aquest mòdul, doncs, s'ha dedicat únicament al balanç de l'aïllament de tubs circulars.

2.2 Descripció del sistema

2.2.1 Definició

En aquest mòdul es tracta l'aïllament de canonades. Consta de dos components: en primer lloc la canonada mateixa, per on passa un fluid a diferent temperatura que la de l'ambient que l'envolta, i en segon lloc l'aïllament tèrmic que incorpora.

Per definició, un material aïllant és l'utilitzat en l'àmbit de la construcció i en instal·lacions tèrmiques que es caracteritza per la seva alta resistència tèrmica. Un material aïllant estableix una barrera entre dos medis a diferent temperatura i minimitza la calor transferida del medi de temperatura més alta al de temperatura més baixa.

Segons se cita a l'*Estudi tecnològic dels aïllaments tèrmics a Catalunya en l'àmbit de l'edificació*, [2] "es consideren com a materials aïllants tots aquells que presenten simultàniament una conductivitat tèrmica inferior a 0,060 W/m·K i una resistència tèrmica superior a 0,25 m²·K/W".

2.2.2 Principis de funcionament i paràmetres

El funcionament del sistema és força senzill. Bàsicament, és una canonada per on es condueix un fluid a una certa temperatura. Pels mecanismes de transferència de calor (conducció, convecció i radiació) i pel fet que el fluid a l'interior de la canonada està a una temperatura més alta, es produeix una transferència de calor de la canonada a l'ambient que l'envolta. La velocitat d'aquesta transferència es redueix amb l'aïllament.

En el cas que la temperatura del fluid de la canonada sigui més baixa que l'ambiental, el sentit de la transferència de calor s'inverteix i va des de l'ambient fins al fluid de la canonada. En aquest cas, doncs, no hi ha pèrdues de calor de la canonada, sinó guanys, que impliquen un augment de temperatura del fluid, cosa que en definitiva comporta un consum més elevat d'energia, destinat en aquest cas a la producció de fred.

La condició d'aïllant depèn de dos paràmetres: la resistència tèrmica (R) i la conductivitat tèrmica (λ). Per avaluar l'estat de l'aïllament o el potencial d'estalvi, es necessiten les correlacions referents a mètodes de transferència de calor, que s'exposen en la norma UNE-EN ISO 12241. El mètode emprat en aquesta norma resulta complicat, per la quantitat de variables que cal mesurar i analitzar.

El mètode emprat en aquest mòdul és molt més senzill. Es tracta d'utilitzar dades de pèrdues de calor en canonades tabulades, en funció del tipus d'aïllant i el material de la canonada, del seu diàmetre i de la diferència de temperatures entre el fluid i l'ambient.

Per tant, els paràmetres a considerar són aquesta diferència de temperatures entre el fluid i l'ambient, el diàmetre nominal de la canonada, la longitud de la canonada, les pèrdues de calor tabulades per metre de canonada, el tipus i gruix de capa de l'aïllant i el material de la canonada. En el cas que es vulgui operar en termes d'energia en comptes de termes de potència, també cal conèixer les hores per any en què es vehicula el fluid.

2.2.3 Tipologies de material

En aquest mòdul es pot fer una classificació dels tipus de materials i d'aïllaments més utilitzats en les canonades.

Pel que fa a aquest punt, actualment les canonades de fosa, formigó, fibrociment, plom i acer galvanitzat o bé estan en desús o bé estan prohibits per normativa.

Dins dels que és permès utilitzar avui dia, es poden destacar els següents (amb algunes de les seves característiques):

Coure. És el material més utilitzat en l'actualitat. Té una alta resistència a la corrosió, cosa que fa que s'instal·li en muntatges interiors sense protecció. Provoca baixes pèrdues de càrrega a l'interior. Experimenta pocs canvis en contacte amb la majoria de fluids, cosa que implica un bon comportament del material en les conduccions, excepte quan es tracta de productes sulfurats i amoniacals. Suporta grans pressions interiors. És fàcil de muntar perquè té poc pes i una gran mal·leabilitat, i també té una gran elasticitat i una alta conductivitat tèrmica.

Acer inoxidable. S'utilitza fonamentalment en fontaneria, donat el poc pes de les peces i canonades i el seu muntatge fàcil. Té una resistència mecànica molt elevada. És molt resistent també a la corrosió, i la superfície interior llisa fa que les pèrdues de càrrega en les conduccions siguin petites. Com a inconvenient, destaca el preu elevat que comporten tant les canonades com els accessoris.

Policlorur de vinil (PVC). S'utilitza en canalitzacions d'aigua, distribució d'aigua a la xarxa exterior i evacuació d'aigües residuals. Té una bona resistència mecànica, a l'abrasió i a l'impacte, i també resistència elèctrica. Cap als 80 °C de temperatura s'estova i als 140 °C es descompon, cosa que fa impossible utilitzar-lo per a aplicacions amb fluids a alta temperatura. És estable i inert, i això resulta útil en aplicacions en què la higiene sigui un factor molt important. Es tracta d'un material altament resistent i té una durabilitat que pot arribar a més de 70 anys. La seva fabricació comporta la utilització de clor, el qual és altament contaminant.

Polietilè normal (PE). S'utilitza en instal·lacions d'aigua sanitària, en instal·lacions d'aigua potable i per a ús agrícola en reg i conduccions d'aigua no potable. Es classifica segons sigui de baixa, mitjana i alta densitat. En general, és un material no tòxic i inert, amb poca estabilitat dimensional, cosa que implica que sigui més fàcil de processar. Presenta una baixa densitat en comparació amb els metalls i un bon comportament davant la corrosió. El polietilè de baixa densitat és molt flexible i lleuger, impermeable. Es caracteritza pel seu baix cost. De la mateixa manera, el polietilè d'alta densitat presenta una alta resistència a tensions de compressió i tracció, i també és resistent a la degradació a baixes temperatures.

Polietilè reticulat (PE reticulat). Aquest material presenta unes propietats similars a les del polietilè normal. La diferència principal és que a temperatures elevades presenta una resistència superior a la pressió.

Polipropilè (PP). S'utilitza en el mateix tipus d'instal·lacions que el polietilè, però també en instal·lacions hidrosanitàries, aire condicionat i instal·lacions industrials. Dins els materials plàstics, presenta, juntament amb el polietilè, la resistència més alta de trencament a tracció. És més resistent a l'impacte que el PE i també més dur, i presenta una bona resistència a la fatiga. Té una tendència més elevada a oxidar-se. És transparent i també dielèctric.

Polibutilè (PB). Constitueix el material plàstic més adient per a fontaneria i calefacció. Té una gran resistència als impactes i una resistència elevada a les altes temperatures i pressions. És el material plàstic amb menys dilatació tèrmica. És molt lleuger i flexible. I és un dels materials plàstics de vida útil més llarga.

Pel que fa als aïllaments, a continuació es mostra una classificació dels materials aïllants més utilitzats:

Llana de vidre. Material format per fibres de vidre o plàstic. És un bon aïllant tèrmic gràcies a l'aire comprès entre les seves fibres i a la poca convecció que ofereix amb l'ambient que l'envolta; també és un bon aïllant elèctric i acústic. Té una conductivitat de 0,032 a 0,044 W/m·K, en funció dels filaments que el conformin. Té també una gran resistència mecànica: els nivells de compressibilitat assolits són entre 3 i 5 mm. És difícilment inflamable i no pot ser causa de transmissió d'humitats, ja que el material no és hidròfil ni capil·lar. La seva porositat, però, fa que aquest material hagi d'estar protegit de l'aigua líquida.

Llana de roca (MW). Material format per fibres de roques volcàniques. S'utilitza com a aïllant tèrmic, com a protecció passiva contra incendis i com a aïllant acústic. Permet incorporar aire a l'interior. Té una conductivitat de 0,035 a 0,046 W/m·K, en funció dels filaments que el conformin. La resistència mecànica és similar a la de la llana de vidre, igual que el comportament respecte l'aigua.

Poliestirè expandit (EPS). Pertany a la família de les escumes plàstiques. Col·loquialment anomenat "Porexpan", o "suro blanc". S'utilitza com a aïllant tèrmic, amb conductivitats de 0,035 a 0,046 W/m·K; amb materials més evolucionats, es considera de 0,031 W/m·K. Els materials fabricats amb EPS poden arribar a assolir resistències a la compressió de 200 a 250 kPa, en els productes més resistents. És inflamable, per la qual cosa es tracta amb retardants de flama. Presenta absorcions d'aigua variables que oscil·len entre un 3% i un 15% en immersió total. No sol ser bon aïllant acústic per la seva rigidesa, encara que es tracta amb processos d'elastificació, per aconseguir millorar aquesta propietat.

Poliestirè extruït (XPS). Pertany a la família de les escumes plàstiques. S'utilitza com a aïllant tèrmic, amb conductivitats tèrmiques variables en funció del gas que s'hagi fet servir a l'extrusió: de 0,034 a 0,036 W/m·K amb CO₂, i de 0,030 a 0,033 W/m·K amb HFC. Normalment els productes fabricats amb XPS assoleixen resistències mecàniques de l'ordre de 300 kPa, però poden arribar a 700 kPa. El XPS pot suportar càrregues permanents de llarga durada sense presentar fatiga. És inflamable, per la qual cosa es tracta amb ignifugants i amb retardants de flama. Presenta absorcions d'aigua inferiors a un 1% en immersió total i fins al 3% en absorció forçada.

Poliuretà projectat in situ (PUR in situ). Pertany a la família de les escumes plàstiques. S'utilitza com a aïllant tèrmic, amb conductivitats de 0,028 a 0,030 W/m·K. Pot presentar una resistència mecànica a la compressió fins a 200 kPa. És inflamable; s'ha d'utilitzar suficientment protegit contra incendis. El poliuretà presenta una absorció en aigua per immersió total de l'ordre de 2% a 7%; per tant, necessita estar protegit de l'aigua líquida per un impermeabilitzant.

Poliuretà conformat en fàbrica (PUR). L'escuma rígida de poliuretà (PUR) o poliisocianurat (PIR) és un polímer termostable que presenta els valors més baixos de conductivitat tèrmica del mercat, fet que el converteix en un dels materials més eficients en l'aïllament tèrmic. Els valors de conductivitat tèrmica depenen en gran part de l'agent escumant (p. ex., pentans o HFC) i es troben entre 0,023 i 0,029 W/m·K. Pel que fa a les propietats mecàniques, depenen de la densitat final de la planxa de poliuretà, però se situen per sobre de 200 kPa. Les escumes de poliisocianurat presenten un molt bon comportament davant

el foc: l'estructura de polímer reacciona formant una estructura carbonitzada que protegeix les capes interiors, i alhora té una emissió de fums molt baixa. En funció de la formulació de l'escuma de poliisocianurat i del recobriment utilitzat com a barrera de vapor es pot arribar a obtenir una classificació BL-s2,d0 segons les euroclasses (EN 13501-2). Aquests materials presenten una absorció en aigua per immersió inferiors al 1% en volum. Durant la posada en obra, els productes conformats de PUR o PIR tenen avantatges importants: rigidesa, lleugeresa i fàcil manipulació, mecanització o tall.

2.2.4 Normativa aplicable

Les normatives aplicables en aquest mòdul bàsicament són el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en edificis (RITE) 1027/2007 [3] i la norma UNE-EN ISO 12241, d'octubre de 2010 [4].

Segons el RITE, a la instrucció tècnica IT.1, apartat IT.1.2.4.2. *Redes de tuberías y conductos* (modificat pel Reial decret 238/2013), s'exigeix que totes les canonades, accessoris, equips, aparells i dipòsits d'instal·lacions tèrmiques hagin de disposar d'aïllament si la temperatura dels fluids que contenen és inferior a l'ambient, o si la temperatura és superior a 40 °C quan estan instal·lats en locals no calefactats. El mateix reglament, a l'apartat IT.1.2.4.2.1.2, ofereix un procediment simplificat i un d'alternatiu per calcular l'espessor dels materials aïllants de les canonades.

En aquest cas s'exposa el procediment simplificat, que està basat en dades tabulades d'espessors mínimes exigides en diferents tipologies constructives, les quals van en funció del diàmetre exterior de la canonada sense aïllar, en mil·límetres, dels intervals de temperatura del fluid i d'un aïllant estàndard amb una conductivitat tèrmica de referència a 10 °C de 0,040 W/m·K.

A continuació, des de la Taula 2.1 fins a la Taula 2.4, es mostren les espessors d'aïllament mínimes exigides pel reglament esmentat.

Diàmetre exterior (mm)	Temperatura màxima del fluid (°C)		
	Entre 40 i 60 °C	Entre 60 i 100 °C	Entre 100 i 180 °C
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Taula 2.1. Espessors mínimes (mm) d'aïllant de 0,04 W/m·K de conductivitat tèrmica (λ) a 10 °C per a canonades i accessoris que transporten fluids calents per l'interior d'edificis. [3]

Diàmetre exterior (mm)	Temperatura màxima del fluid (°C)		
	Entre 40 i 60 °C	Entre 60 i 100 °C	Entre 100 i 180 °C
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Taula 2.2. Espessors mínimes (mm) d'aïllant de 0,04 W/m·K de conductivitat tèrmica (λ) a 10 °C per a canonades i accessoris que transporten fluids calents per l'exterior d'edificis. [3]

Diàmetre exterior (mm)	Temperatura mínima del fluid (°C)		
	Entre -10 i 0 °C	Entre 0 i 10 °C	Més de 10 °C
$D \leq 35$	30	25	20
$35 < D \leq 60$	40	30	20
$60 < D \leq 90$	40	30	30
$90 < D \leq 140$	50	40	30
$140 < D$	50	40	30

Taula 2.3. Espessors mínimes (mm) d'aïllant de 0,04 W/m·K de conductivitat tèrmica (λ) a 10 °C per a canonades i accessoris que transporten fluids freds per l'interior d'edificis. [3]

Diàmetre exterior (mm)	Temperatura mínima del fluid (°C)		
	Entre -10 i 0 °C	Entre 0 i 10 °C	Més de 10 °C
$D \leq 35$	50	40	40
$35 < D \leq 60$	60	50	40
$60 < D \leq 90$	60	50	50
$90 < D \leq 140$	70	60	50
$140 < D$	70	60	50

Taula 2.4. Espessors mínimes (mm) d'aïllant de 0,04 W/m·K de conductivitat tèrmica (λ) a 10 °C per a canonades i accessoris que transporten fluids freds per l'exterior d'edificis. [3]

En el cas de canonades que discorren per l'exterior, a més, caldrà que l'aïllament disposi d'una protecció mecànica, per tal d'evitar-ne el deteriorament (els rajos UV del sol deterioren els aïllaments escumats). Aquesta protecció mecànica sol ser d'alumini.

En les canonades que transporten fluids per sota de la temperatura ambient (normalment aigua freda), l'aïllament té per missió minimitzar la transferència de calor, i també evitar la condensació de la humitat continguda a l'aire, que pot produir a curt termini un increment de les pèrdues d'energia i a llarg termini fenòmens de corrosió a la instal·lació. L'aïllament humit és més conductor de la calor que l'aïllament sec.

2.2.5 Descripció gràfica

Des de la Figura 2.1 a la Figura 2.4 es poden observar diferents configuracions i termografies d'aïllament en canonades.



Figura 2.1. Vista d'una canonada amb aïllament.



Figura 2.2. Canonada amb aïllament i protecció de l'aïllament.

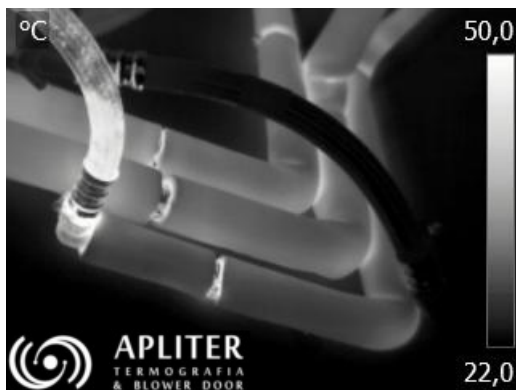


Figura 2.3. Termografia d'una canonada aïllada amb aïllaments en mal estat.

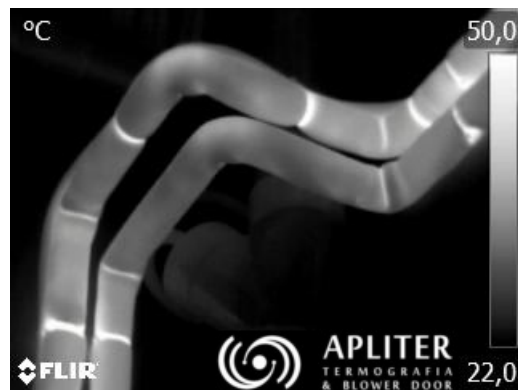


Figura 2.4. Termografia d'una canonada aïllada amb aïllament en bon estat.

2.3 Definició del balanç energètic

2.3.1 Descripció del balanç energètic

El balanç energètic en una canonada es fa de la mateixa manera tant si està aïllada com si no ho està. Prenent com a referència un volum de control a la canonada, es comptabilitza únicament l'energia associada al flux d'entrada, i com a sortides les pèrdues per transferència de calor a la canonada i l'energia associada al flux de sortida. Tot seguit, en igualar entrades i sortides, queda definit el balanç energètic.

Aquest balanç energètic és útil quan es tracta d'avaluar les pèrdues en una configuració determinada, amb aïllant o sense, però no és útil per comparar les dues, ja que la canonada pot estar aïllada o no. Per això, el càlcul final del potencial d'estalvi es basarà en dades tabulades de pèrdues de calor amb i sense aïllament, o també en el cas que es comparin aïllaments diferents.

Una altra possibilitat més ràpida per fer el balanç energètic d'una canonada i examinar l'estat de l'aïllament és per imatge d'infraroig, amb una càmera termogràfica. Aquestes càmeres ja incorporen programari que permet entrar les dades físiques de la canonada i el material de l'aïllament, a partir de les quals s'emeten informes amb el càlcul de les pèrdues energètiques que es produeixen en el moment de la termografia.

2.3.2 Esquema del balanç energètic

A l'Equació 2.1 es mostra la relació entre els fluxos d'energia d'entrada i els fluxos de sortida. Paral·lelament, a la Figura 1.5 es mostra l'esquema del balanç energètic en canonades.

$$\dot{E}_{c,n} = \dot{E}_{c,out} + \dot{Q}_p \quad \text{Equació 2.1}$$

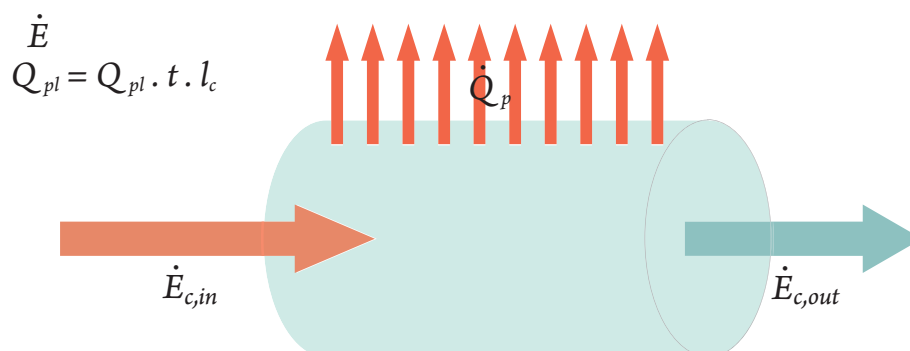


Figura 2.5. Esquema del balanç energètic en canonades

2.4 Bases de càlcul

2.4.1 Formulació

A partir de les dades de pèrdues de calor esmentades, s'utilitza l'Equació 2.2 per a la configuració existent en la instal·lació:

$$Q_{pl} = \dot{Q}_{pl} \cdot t \cdot l_c \quad \text{Equació 2.2}$$

On:

Q_{pl} [Wh/any] correspon a les pèrdues d'energia tèrmica amb la configuració existent

\dot{Q}_{pl} [W/m] correspon a les pèrdues de potència tèrmica per metre lineal de canonada amb la configuració existent (de les Taula 2.5 i 2.6)

t [h/any] és el règim de funcionament de la canonada

l_c [m] és la longitud de la canonada

De la mateixa manera, es calcula una Q_{p2} mitjançant \dot{Q}_{p2} , valor extret de la Taula 2.6. I amb la resta de variables es fa igual, ja que és la mateixa canonada però amb un aïllament diferent.

Amb l'

Equació 2.3 es calcula la calor estalviada:

$$Q_e = Q_{pl} - Q_{p2} \quad \text{Equació 2.3}$$

On:

Q_e [Wh/any] és la diferència d'energia tèrmica que s'escapa a l'ambient en una canonada amb aïllant 1 o amb aïllant 2.

I amb l'

Equació 2.4 es calcula el potencial d'estalvi en posar aïllament:

$$\%Q_e = \frac{Q_e}{Q_{pl}} \cdot 100 \quad \text{Equació 2.4}$$

2.4.2 Taules i diagrames

A la Taula 2.5 i la Taula 2.6 es mostren les pèrdues de calor en funció del diàmetre i la diferència de temperatures entre fluid intern i ambient, per a una canonada de coure amb aïllament i sense, respectivament.

Diàmetre nominal	\dot{Q} Pèrdues de calor pel fluid dins la canonada (W/m)		
	Diferència de temperatures (°C)		
D (mm)	22	38	55
15	21	32	45
22	28	43	60
28	34	53	76
35	41	64	89
42	47	74	104
54	59	93	131
67	71	111	156
76	83	129	181
108	107	165	232

Taula 2.5. Pèrdues de calor en canonades de coure sense aïllar. [5]

Diàmetre nominal	\dot{Q} Pèrdues de calor pel fluid dins la canonada (W/m)
D (mm)	
22	8
28	10
42	11,5
54	14,5
67	16
76	19

Taula 2.6. Pèrdues de calor en canonades de coure amb un aïllament de 25 mm de gruix i $k=0,043$ W/m·°C i per a una diferència de temperatures de 55 °C. [6]

2.5 Planificació de mesures

2.5.1 Dades de que es disposa

- Règim de funcionament t [h/any]
- Diàmetre nominal de la canonada DN [mm]
- Longitud de la canonada l_c [m]
- Pèrdues de potència tèrmica per metre de canonada sense aïllar \dot{Q}_{p1} [W/m]
- Pèrdues de potència tèrmica per metre de canonada, amb aïllament \dot{Q}_{p2} [W/m]

5.5.2 Dades a mesurar

- Temperatura de superfície de l'aïllament del conducte T_c [°C]
- Temperatura ambient T_a [°C]

2.5.3 Inventari d'aparells de mesura

Termòmetre de contacte / termòmetre d'infrarojos (Figura 2.6 i Figura 2.7, respectivament). Variable mesurada: T_c



Figura 2.6. Multímetre + Sonda de superfície.



Figura 2.7. Termòmetre d'infrarojos.

2.5.4 Seguretat en persones i equips

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

Seguretat per a les persones. Convé tenir en compte que la mesura de la temperatura de contacte T_c es fa sobre la superfície de la canonada, i en conseqüència abans de prendre les mesures és aconsellable posar-se guants de protecció tèrmica contra possibles cremades, tant si són canonades que transporten fluids a alta temperatura com a baixa.

Seguretat per a l'equip. És aconsellable no tractar de manera brusca el multímetre, el termòmetre d'infrarojos i les sondes. Cal prendre les mesures tenint en compte determinades distàncies de seguretat respecte als elements mòbils.

Cal netejar l'instrument amb un drap humit en sabó diluït. No s'han d'emprar productes de neteja agressius.

Per obtenir més informació, convé consultar l'apartat d'informació bàsica de seguretat de les instruccions d'ús.

2.6 Presa de les mesures

2.6.1 Mesura de la temperatura de superfície

1. Connectar la sonda de superfície al multímetre i prémer el botó de connexió per engegar l'aparell.
2. Accedir a una zona de la canonada representativa.
3. Aplicar pasta tèrmica al punt de mesura escollit, per facilitar la transmissió de calor cap a l'element sensor i incrementar la rapidesa de la mesura.
4. Esperar fins que el valor s'estabilitzi i anotar la mesura o desar-la a l'aparell.
5. Repetir el procediment en diversos punts de la canonada.

En el cas que la canonada sigui poc accessible, és millor treballar amb el termòmetre d'infrarojos. Aleshores només cal prémer el gallet i dirigir el raig làser a la zona on es vol mesurar la temperatura.

Material	Emissivitat	Material	Emissivitat
Aigua	0,67 a 0,99	Vidre	0,85 a 1,00
Acer**	0,80	Neu	0,83 a 0,90
Aliment Congelat	0,96	Morter	0,89 a 0,91
Alumini*	0,03 a 0,30	Oli	0,97
Amiant	0,95	Òxids de crom	0,81
Asfalt	0,95	Òxids de coure, ferro	0,78 a 0,82
Basalt	0,70	Plàstics	0,85 a 0,95
Carbó	0,85 a 0,96	Paper	0,94 a 0,97
Cautxú	0,95	Pedra calcària	0,98
Ceràmica	0,90 a 0,95	Pell humana	0,98
Ciment	0,96	Pintura	0,93
Cotó	0,77	Porcellana	0,92
Coure**	0,95	Plàstic	0,94
Cuïro	0,75 a 0,80	Plom*	0,50
Formigó	0,94 a 0,95	Pols	0,94
Fusta	0,90 a 0,94	Rajola	0,90 a 0,96
Ferro*	0,70	Sorra	0,90
Gel	0,96 a 0,98	Suro	0,70
Guix	0,80 a 0,90	Teula (negra)	0,98
Laca	0,80 a 0,95	Tèxtil	0,90 a 0,94
Llautó*	0,50	Transformador pintat	0,94
Marbre	0,94		

oxidat** opac*** natural

Taula 2.7. Emissivitat de diferents materials. [7].

2.6.2 Mesura de la temperatura ambient

Connectar la sonda de temperatura al multímetre i prémer el botó de connexió per engegar l'aparell i visualitzar la mesura. Prendre mesures en diversos punts de la sala per on passa la canonada i anotar-les o desar-les a l'aparell.

2.7 Exemples pràctics

2.7.1 Enunciat exemple de conducció de fluid calent

En un sistema format per una canonada de coure de 100 metres amb diàmetre DN76 sense aïllament i per on circula un fluid calent es prenen mesures de temperatura ambient (15 °C) i de superfície de la canonada (70 °C). Determinar el potencial d'estalvi en cas d'aïllar aquest tram de canonada amb un aïllament de poliuretà rígid de 25 mm d'espessor i una $k=0,043 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$, considerant que el fluid és vehiculat durant unes 7.500 hores/any.

2.7.2 Dades

A la Taula 2.8 i Taula 2.9, es mostra el recull de dades de què es disposa i les dades mesurades.

Paràmetres	Unitat de mesura	Dada
Règim de funcionament	h/any	7.500
Diàmetre nominal de la canonada	mm	76
Longitud de la canonada	m	100
Pèrdues de potència tèrmica a la canonada sense aïllar, per una diferència de temperatures de 55 °C (taula 2.5)	W/m	181
Pèrdues de potència tèrmica a la canonada amb aïllament de 25 mm de gruix i $k=0,043$ W/m·°C, per una diferència de temperatures de 55 °C (taula 2.6)	W/m	19

Taula 2.8. Dades de què es disposa sobre la canonada i el seu funcionament.

Paràmetres	Unitat de mesura	Dada
Temperatura superfície canonada	°C	70
Temperatura ambient	°C	15

Taula 2.9. Dades mesurades sobre la canonada

2.7.3 Càlculs i resultat

A partir de les dades referenciades a la Taula 2.8 i la Taula 2.9 es pot calcular la pèrdua d'energia en la canonada en les dues configuracions amb aïllament i sense, comptant que la diferència de temperatures mesurades és de 55 °C.

En el cas de la canonada sense aïllar, el valor de les pèrdues energètiques és:

$$Q_{p1} = \dot{Q}_{p1} \cdot t \cdot l_c = 181 \frac{W}{m} \cdot 7500 \frac{h}{any} \cdot 100m = 135,75 \frac{MWh}{any}$$

En cas d'aïllar la canonada, el valor de les pèrdues energètiques és:

$$Q_{p2} = \dot{Q}_{p2} \cdot t \cdot l_c = 19 \frac{W}{m} \cdot 7500 \frac{h}{any} \cdot 100m = 14,25 \frac{MWh}{any}$$

A continuació es calcula l'energia estalviada pel fet d'incorporar l'aïllament a la canonada, de la manera següent:

$$Q_e = Q_{p1} - Q_{p2} = 135,75 \frac{MWh}{any} - 14,25 \frac{MWh}{any} = 121,5 \frac{MWh}{any}$$

Finalment es calcula el potencial d'estalvi que suposa el fet de tenir la canonada aïllada en comparació amb no tenir-l'hi:

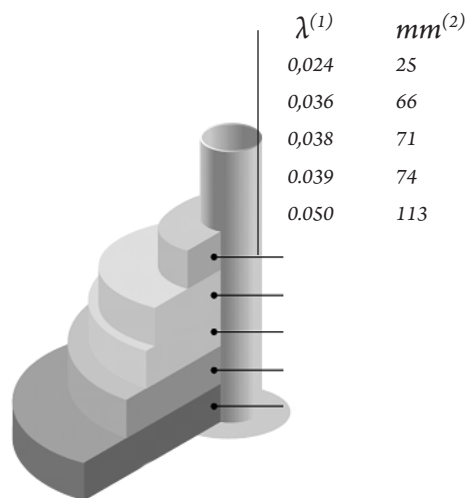
$$\%Q_e = \frac{Q_e}{Q_{pl}} \cdot 100 = \frac{121,5 \text{ MWh/any}}{135,75 \text{ MWh/any}} \cdot 100 = 90\%$$

2.7.4 Comentaris

Tal com es pot veure a l'apartat anterior, el fet d'incorporar una capa de 25 mm d'aquest aïllant sobre la canonada suposa un estalvi energètic del 90%.

Igualment, també es podria comptar la diferència de pèrdua de calor entre canonades aïllades amb diferents materials aïllants o amb diferent gruix d'aïllament (figura 2.9).

En instal·lacions que treballen a temperatures negatives, l'elecció de l'aïllament tèrmic és el paràmetre més important que cal tenir en compte, ja que determinarà el gruix mínim d'aïllament que cal per evitar condensacions superficials. En funció del valor de la conductivitat tèrmica de l'aïllament, el seu gruix serà major o menor. Per garantir que no es formaran condensacions pel poc gruix d'aïllament, cal també que les pèrdues per unitat de superfície de la instal·lació siguin molt inferiors que les que tindria la mateixa instal·lació si estigués aïllada amb un material que obligués a posar-hi un gruix superior.



(1) Coeficient de conductivitat tèrmica W/m·K

(2) Espesor necessari per a igualar una resistència tèrmica de 1,04 m² considerant diferents valors de λ per a una canonada de Ø 33mm (1°)

Nota: Càlcul espesor aïllant segons descripció recollida en l'instrucció tècnica ITE03 del RITE utilitzant la fórmula per a superfícies de secció circular: $e = (\varnothing/2) \cdot [\exp(\lambda_{ref} \cdot \ln[(\varnothing+2e_{ref})/\varnothing])]$

Figura 2.9. Comparativa entre el coeficient de conductivitat tèrmica i l'espessor necessària per igualar resistències.

2.7.5 Enunciat exemple de conducció de fluid fred

En un sistema format per una canonada horitzontal d'acer inoxidable de 100 metres de longitud amb diàmetre DN80 hi circula un fluid fred a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. La canonada es troba a l'exterior, a una temperatura de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determinar el potencial d'estalvi en cas d'aïllar aquest tram de canonada amb diferents tipus d'aïllament, sempre amb el mateix gruix (40 mm), i considerant que el fluid es vehicula durant unes 7.500 hores/any:

- un aïllament de poliuretà rígid (PUR/PIR) amb coeficient de conductivitat tèrmica $\lambda=0,024\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$.
- un aïllament de poliestirè expandit (EPS) evolucionat amb coeficient de conductivitat tèrmica $\lambda=0,032\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$.
- un aïllament de llana de roca amb coeficient de conductivitat tèrmica $\lambda=0,040\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$.

2.7.6 Dades

A la taula 2.10 i a la taula 2.11 es mostra el recull de dades de què es disposa i les dades mesurades.

Paràmetres	Unitat de mesura	Dada
Règim de funcionament	h/any	7.500
Diàmetre nominal de la canonada	mm	80,9
Longitud de la canonada	m	100
Pèrdues de potència tèrmica a la canonada d'acer inoxidable DN80 sense aïllar per una diferència de temperatures de $68\text{ }^{\circ}\text{C}$	W/m	6,52
Pèrdues de potència tèrmica en la canonada amb aïllament de 40 mm de poliuretà rígid (PUR/PIR)	W/m	15,8
Pèrdues de potència tèrmica en la canonada amb aïllament de 40 mm de poliestirè expandit (EPS)	W/m	20,6
Pèrdues de potència tèrmica en la canonada amb aïllament de 40 mm de llana de roca	W/m	26,0

Taula 2.10. Dades de què es disposa sobre la canonada i el seu funcionament, i les corresponents a pèrdues de potència, trobades amb el programari Aislam a partir de les λ esmentades.

Paràmetres	Unitat de mesura	Dada
Temperatura líquid interior canonada	$^{\circ}\text{C}$	-40
Temperatura ambient exterior	$^{\circ}\text{C}$	28

Taula 2.11. Dades mesurades sobre la canonada.

2.7.7 Càlculs i resultat

A partir de les dades referenciades a les taules 2.10 i 2.11, es pot calcular la pèrdua d'energia a la canonada en les tres configuracions, amb diferents aïllants i sense aïllament.

En el cas de la canonada sense aïllar, el valor de les pèrdues energètiques és:

$$Q_{pl} = \dot{Q}_{pl} \cdot t \cdot l_c = 652 \frac{W}{m} \cdot 7500 \frac{h}{any} \cdot 100m = 489 \frac{MWh}{any}$$

En cas d'aïllar la canonada amb 40 mm d'escuma rígida de poliuretà (PUR), el valor de les pèrdues energètiques és:

$$Q_{pPUR} = \dot{Q}_{pPUR} \cdot t \cdot l_c = 15,8 \frac{W}{m} \cdot 7500 \frac{h}{any} \cdot 100m = 11,85 \frac{MWh}{any}$$

En cas d'aïllar la canonada amb 40 mm de poliestirè expandit (EPS), el valor de les pèrdues energètiques és:

$$Q_{pEPS} = \dot{Q}_{pEPS} \cdot t \cdot l_c = 20,6 \frac{W}{m} \cdot 7500 \frac{h}{any} \cdot 100m = 15,45 \frac{MWh}{any}$$

En cas d'aïllar la canonada amb 40 mm de poliestirè expandit (EPS), el valor de les pèrdues energètiques és:

$$Q_{pMW} = \dot{Q}_{pMW} \cdot t \cdot l_c = 26,0 \frac{W}{m} \cdot 7500 \frac{h}{any} \cdot 100m = 19,5 \frac{MWh}{any}$$

A continuació es calcula l'energia estalviada amb la incorporació de l'escuma rígida de poliuretà (PUR) a la canonada, de la següent manera:

$$Q_{pPUR} = \dot{Q}_{pl} - Q_{pPUR} = 489 \frac{MWh}{any} - 11,85 \frac{MWh}{any} = 477,15 \frac{MWh}{any}$$

I, finalment, el potencial d'estalvi que suposa el fet de tenir la canonada aïllada amb aquest material respecte a la que no ho està:

$$\%Q_e = \frac{Q_e}{Q_{pPUR}} \cdot 100 = \frac{477,15 \frac{MWh}{any}}{489,0 \frac{MWh}{any}} \cdot 100 = 97,6\%$$

Per a la canonada aïllada amb poliestirè expandit (EPS), es pot fer el càlcul de la mateixa manera:

$$Q_{pEPS} = Q_{pl} - Q_{pEPS} = 489 \frac{MWh}{any} - 15,45 \frac{MWh}{any} = 473,55 \frac{MWh}{any}$$

I el potencial d'estalvi que suposa el fet de tenir la canonada aïllada amb aquest material respecte la que no ho està:

$$\%Q_e = \frac{Q_e}{Q_{pEPS}} \cdot 100 = \frac{473,55 \text{ MWh/any}}{489,0 \text{ MWh/any}} \cdot 100 = 96,8\%$$

Finalment, els mateixos càlculs per a la canonada aïllada amb llana de roca:

$$Q_{MW} = Q_{pl} - Q_{pMW} = 489 \frac{\text{MWh}}{\text{any}} - 19,5 \frac{\text{MWh}}{\text{any}} = 469,5 \frac{\text{MWh}}{\text{any}}$$

I el potencial d'estalvi amb aquest material respecte a la canonada que no està aïllada:

$$\%Q_e = \frac{Q_e}{Q_{pMW}} \cdot 100 = \frac{469,5 \text{ MWh/any}}{489,0 \text{ MWh/any}} \cdot 100 = 96,0\%$$

Si es volgués obtenir el mateix potencial d'estalvi amb EPS o amb llana de roca que el que s'obté amb l'aïllament d'escuma rígida de poliuretà de 40 mm de gruix, els gruixos d'aquests altres dos materials haurien de ser substancialment superiors, tal com es pot veure a la taula 2.12 o com es veia a la figura 1.9 (si la resta de condicions es mantenen iguals).

Paràmetres	Unitat de mesura	Dada
Règim de funcionament	h/any	7.500
Diàmetre nominal de la canonada	mm	80,9
Longitud de la canonada	m	100
Pèrdues de potència tèrmica a la canonada d'acer inoxidable DN80 sense aïllar per una diferència de temperatures de 68 °C	W/m	652
Gruix de poliuretà rígid (PUR) per obtenir unes pèrdues de potència tèrmica a la canonada de 15,8 W/m	mm	40
Gruix de poliestirè expandit (EPS) per obtenir unes pèrdues de potència tèrmica a la canonada de 15,8 W/m	mm	60
Gruix de llana de roca (MW) per obtenir unes pèrdues de potència tèrmica a la canonada de 15,8 W/m	mm	85

Taula 2.12. Variació de gruix en funció de l'aïllament.

2.8 Referències

- [1] Institut Català d'Energia: Estudi d'eficiència energètica en el sector dels fluids tèrmics i situació a Catalunya, tom II, maig 2006, a «Informes i estudis tecnològics encarregats per l'Institut Català d'Energia»

http://icaen.gencat.cat/web/.content/06_relacions_institucionals_i_comunicacio/04_publicacions/arxius/200605_informe_sector_fluids_termics.pdf

- [2] Institut Català d'Energia: Estudi tecnològic dels aïllaments tèrmics a Catalunya en l'àmbit de l'edificació, febrer 2005, a «Informes i estudis tecnològics encarregats per l'Institut Català d'Energia»

http://icaen.gencat.cat/web/.content/06_relacions_institucionals_i_comunicacio/04_publicacions/arxius/200502_informe_aillaments_termics.pdf

- [3] Reial decret 238/2013, del 5 d'abril, pel qual es modifiquen determinats articles i instruccions tècniques del Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis, aprovat per Reial decret 1027/2007, del 20 de juliol

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-3905>

- [4] UNE-EN ISO 12241: 2010. Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales. Método de cálculo. (ISO 12241:2008)

- [5] Legacy Chiller Systems: «Heat Loss Uninsulated Copper Pipes»

http://www.legacychillers.com/cms_data/uploads/heatlossuninsulatedcopperpipes.pdf

- [6] Legacy Chiller Systems: «Copper Pipes - Insulation and Heat Loss»

http://www.legacychillers.com/cms_data/uploads/copperpipes-insulationandheatloss.pdf

- [7] Wikipedia (es): Emisividad:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Emisividad>

