

Guia per a l'electrificació dels consums tèrmics d'equipaments municipals

Xarxa de Ciutats i Pobles
Cap a la Sostenibilitat



Guia per a l'electrificació dels consums tèrmics d'equipaments municipals

Xarxa de Ciutats i Pobles
Cap a la Sostenibilitat

Redacció

Diputació de Barcelona

Àrea Acció Climàtica i Transició Energètica

Servei de Canvi Climàtic i Sostenibilitat

Secció de Transició Energètica i Descarbonització

Rosaura Arbonés Casals

Ramon Garcia Fortuny

SUNO Enginyeria de Serveis Energètics, SCCLP

Toni Cantero Gubert

Jesús Teixidor Graugés

Jordi Brunet Garcia

Índex

Introducció	8
<hr/>	
1. L'oportunitat d'electrificar	10
1.1 Objectiu	11
1.2 Context de la guia	11
1.3 L'electrificació	19
<hr/>	
2. Estratègia per descarbonitzar consums tèrmics als edificis	24
2.1 Inventari de sistemes de generació d'energia tèrmica	26
2.2 Priorització d'intervencions als sistemes de generació d'energia tèrmica per edifici	26
2.3 Context energètic de l'edifici	27
2.4 Definició del full de ruta de la intervenció a l'edifici	30
2.5 Avaluació del context urbà	32
2.6 Projecte executiu	33

2.7	Finançament	35
2.8	Desplegament del projecte	37
2.9	Assoliment d'objectius	39
<hr/>		
3.	Electrificar la climatització i l'aigua calenta sanitària (ACS)	41
3.1	Fonaments de les bombes de calor	42
3.2	Rendiment i eficiència	46
3.3	Energia renovable i reducció d'emissions	53
3.4	Marc normatiu	56
<hr/>		
4.	Criteris de disseny	69
4.1	Càlcul de la demanda i càrrega tèrmica per climatització	70
4.2	Càlcul de la demanda i càrrega tèrmica per ACS	71
4.3	Elecció d'emissors i règim de funcionament per la climatització	73
4.4	Elecció de l'esquema per l'ACS	74
4.5	Sistema de distribució i hidràulica	76
4.6	Aspectes de contorn i condicionants previs	78
4.7	Elecció i dimensionament de la bomba de calor	80
4.8	Disseny de la sala tècnica, i emplaçament per a les unitats exteriors i interiors	81
4.9	Elements de regulació i control	82
<hr/>		
5.	Exemples de projectes	84
5.1	Centre educatiu	85
5.2	Administratiu	89
5.3	Centre esportiu	93

5.4	Altres usos	95
5.5	Estudi dels costos d'electrificar amb bomba de calor	98
<hr/>		
6.	Casos d'èxit	108
6.1	Esportiu amb aerotèrmia per ACS	110
6.2	Esportiu amb aerotèrmia per calefacció i ACS	112
6.3	Escola bressol amb aerotèrmia per terra radiant	114
6.4	Escola primària amb aerotèrmia	116
6.5	Escola bressol amb aerotèrmia per radiadors	118
6.6	Centre de dia amb aerotèrmia i ventilació	120
6.7	Ajuntament amb geotèrmia i aerotèrmia	122
6.8	Microxarxa de geotèrmia	124
<hr/>		
7.	Bibliografia	125
<hr/>		
8.	Glossari	127
<hr/>		
9.	Índex de figures	130
<hr/>		
10.	Índex de taules	132
<hr/>		
Annex 1		134
<hr/>		



Introducció

La lluita contra el canvi climàtic es fonamenta en bona part en la reducció del consum energètic dels nostres edificis i en la descarbonització mitjançant la minimització de l'ús de combustibles fòssils i la implantació massiva d'energies renovables. L'electrificació mitjançant bombes de calor és un dels pilars d'aquest procés, juntament amb la rehabilitació integral, tal i com remarquen la Prospectiva energètica de Catalunya 2050 ([PROENCAT](#)) (font 18) i la Directiva europea sobre eficiència energètica dels edificis ([EPBD](#)) (font 1).

Ja fa anys que els ens locals han començat a treballar per reduir la petjada de carboni dels seus equipaments: s'hi han incorporat energies renovables (fotovoltaica i biomassa), s'han renovat enllumenats i s'han començat a electrificar flotes municipals. Cal avançar, doncs, en la descarbonització dels consums tèrmics, i les bombes de calor són, ara, una gran oportunitat que no hem de menystenir.

La guia s'emmarca en aquest context i té com a objectiu orientar els ens locals en la planificació i l'execució d'actuacions de renovació dels sistemes de climatització. El primer dels dos blocs en què està dividida —capítols 1 i 2— fa un plantejament general per il·lustrar els responsables municipals en la prioritització d'actuacions i equipaments. El segon bloc —capítols 3 a 6— és més tècnic i inclou una descripció del contingut que ha d'incorporar un projecte executiu així com recomanacions a seguir en el procés d'electrificació amb bomba de calor. Està especialment adreçada al personal tècnic i als responsables polítics implicats en la presa de decisions relatives al disseny, la gestió i el manteniment de les instal·lacions tèrmiques. I estableix els criteris per planificar i dissenyar un nou sistema tèrmic, prenent en consideració els contextos climàtic, normatiu, tecnològic i municipal, i promou la reducció del consum d'energia primària i d'emissions de GEH segons les directives europees i els plans estatals i autonòmics.

En particular, la guia posa el focus en les bombes de calor com a tecnologia central, atesa la versatilitat, elevada eficiència energètica i el potencial de combinació amb la producció energètica renovable local, principalment autoconsum fotovoltaic. Aporta els fonaments per copsar els diferents conceptes associats a les bombes de calor, com ara les diverses tipologies, els emissors compatibles i els tipus de refrigerant, i fa un repàs dels conceptes teòrics que s'hi engloben per tal de seguir el marc normatiu actual. Analitza diversos escenaris de context municipal, tot considerant les xarxes de districte com la solució de futur a escala urbana. I presenta les diferents tipologies de bomba de calor —aerotèrmia, geotèrmia o hidrotèrmia—, els seus àmbits d'aplicació, els avantatges i les limitacions segons el tipus d'edifici i el sistema de distribució existent.

Els criteris tècnics per al disseny són un element clau per al dimensionat i la implantació de les bombes de calor. El punt de partida se centra a establir el grau d'exigència en el qual es determina el càlcul de la demanda i de les càrregues tèrmiques de calefacció, refrigeració i ACS, mitjançant les metodologies adequades, i que en conjunt permeten analitzar escenaris reals d'ús i incloure-hi, si es dona el cas, millores de l'envolupant o la incorporació de ventilació mecànica amb recuperació de calor. Aquest enfocament evita el sobredimensionament dels equips i permet definir estratègies de cost/eficiència, en funció de l'ús real i no de la potència instal·lada existent.

L'electrificació amb bombes de calor als equipaments municipals té un protagonisme clau per assolir la neutralitat climàtica

El document desenvolupa criteris clau per a l'elecció dels emissors, la distribució hidràulica, la regulació, el control, el disseny i l'emplaçament dels equips. Incorpora consideracions de contorn determinants —l'espai disponible, l'acústica, les vibracions, la normativa, la potència elèctrica i els tràmits amb la distribuïdora— que poden condicionar el format o la viabilitat del projecte. Finalment, defineix estratègies de dimensionament i control orientades a optimitzar el rendiment estacional, facilitar la integració amb sistemes fotovoltaics i garantir una explotació eficient i flexible al llarg del temps, especialment en el context de la transició energètica dels equipaments públics.

La guia es complementa amb la presentació de projectes d'exemple ja redactats, i també de casos d'èxit executats pels municipis on s'han substituït calderes de combustible fòssil per bombes de calor. A més, s'hi inclou un estudi del cost associat a l'electrificació dels consums tèrmics basat en l'anàlisi de més de 70 projectes de bombes de calor redactats en els darrers tres anys.

El compromís climàtic dels ens locals per assolir la neutralitat climàtica al 2050 passa per la transició energètica i per tres fites principals: reduir consums, descarbonitzar i incorporar energies renovables. I en aquest repte, l'electrificació amb bombes de calor dels consums tèrmics d'equipaments municipals té un protagonisme clau.



1

L'oportunitat d'electrificar

1.1 Objectiu

L'objectiu principal de la guia és orientar els ens locals i aportar informació rellevant per planificar la descarbonització dels usos tèrmics de l'energia en edificis municipals mitjançant l'electrificació dels equips de climatització (calefacció i refrigeració) i producció d'aigua calenta sanitària (ACS).

La guia està destinada al personal tècnic i als responsables polítics de les administracions locals encarregats de prendre decisions sobre la planificació, la gestió, l'ús i el manteniment dels sistemes generadors d'energia tèrmica dels edificis. La guia s'ha redactat en el context geogràfic de Catalunya, tot i que la majoria del seu contingut seria aplicable a qualsevol regió mediterrània i inclús europea.

1.2 Context de la guia

1.2.1 Context climàtic

En el context actual d'emergència climàtica, les projeccions esperades arran de l'increment de les emissions de GEH a l'atmosfera són estudiades pel Grup Inter-governamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC en anglès) i pronostiquen diferents escenaris a partir de les decisions polítiques globals que es prenguin en matèria d'emissions.

Els escenaris més esperats per a l'horitzó 2030 i 2050, RCP4.5 i RCP8.5, indiquen la tendència cap a un país més càlid i eixut. Segons les conclusions de l'estudi ESCAT2020 la temperatura mitjana pot augmentar fins a 3 °C l'any 2050 en l'escenari d'emissions de GEH més intensiu (RCP 8.5). És per això que es fa imprescindible reduir les GEH dràsticament per mitigar els efectes del canvi climàtic.

Aquest augment de temperatures en època estival implica una major demanda de refrigeració dels edificis per mantenir el confort tèrmic. Per contra, la demanda de calefacció pot disminuir. Això implica que hi ha un canvi en els patrons de consums energètics associats a la climatització i que els equipaments municipals s'hauran d'adaptar en aquestes noves condicions climàtiques i caldrà identificar solucions que donin resposta.

1.2.2 Context normatiu

Es destaquen a continuació les normes, directives i reglaments que inclouen, o inclouran, fites per assolir la descarbonització del parc d'edificis.

Normativa europea

Directiva UE 2018/2001 (Directiva de foment de l'ús d'energia de fonts renovables): Insta a cada estat membre a augmentar la quota d' energies renovables al sector de la calefacció i refrigeració, en un percentatge indicatiu d'1,3 punts de

mitjana anual (1,1 % en cas de no considerar la calor residual) a partir de la quota establerta el 2020.

Directiva, UE 2024/1275 (EPBD, Energy Performance of Buildings Directive; Directiva europea sobre eficiència energètica dels edificis): Proposa reduir el consum d'energia primària d'almenys un 16 % per al 2030 i fins al 22 % al 2035, comparat amb el 2020. Objectiu que es pot acompanyar amb mesures passives. Per tant, caldrà implementar plans de renovació revisables periòdicament i prioritzar actuacions en els edificis energèticament més ineficients. A més, demana disposar i utilitzar dades dels Certificats d'Eficiència Energètica (CEE) i altres documents que facilitin la diagnosi i planificació energètica. Finalment, demana aplicar els criteris de cost/eficiència per justificar les inversions en tecnologies més eficients i sostenibles.

Normativa estatal

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, actualització 2023-2030): Contempla multiplicar per quatre la contribució energètica de les bombes de calor en el sector de la calefacció i la refrigeració de 2020 a 2030.

Codi Tècnic de l'Edificació (vigent des de RD 314/2006, última modificació RD 450/2022): Normes tècniques per a la construcció i rehabilitació integral d'edificis, integrant el criteri d'edificis de consum quasi nul (nZEB). Pendent de revisió per transposició de la EPBD.

Reglament d'instal·lacions tèrmiques en edificis (RITE) - RD 1027/2007: Estableix les condicions que han de complir les instal·lacions destinades a satisfer la demanda de confort tèrmic i higiene a través d'equips i sistemes de calefacció, climatització i aigua calenta sanitària, per tal d'aconseguir un ús racional de l'energia. Pendent de revisió per transposició de la EPBD.

Plan Nacional de Renovación de Edificios (pendent d'aprovació amb la transposició de la EPBD): Estableix un full de ruta cap a la descarbonització total del parc immobiliari espanyol el 2050, en línia amb els objectius europeus d'eficiència energètica i neutralitat climàtica. Aquest horitzó es vol assolir mitjançant una renovació progressiva i massiva del parc edificat, combinant actuacions de rehabilitació energètica, incorporació d'energies renovables i reducció d'emissions operatives, amb metes intermèdies per al 2030 i 2040.

Normativa autonòmica

Prospectiva energètica de Catalunya 2050 (PROENCAT 2050): estudi encarregat per la Generalitat de Catalunya i l'ICAEN per analitzar els objectius climàtics i marcar les fites del camí per assolir-los. S'hi plantegen un seguit d'objectius relacionats amb aquesta guia:

- **Descarbonització:** Assolir la neutralitat climàtica al 2050 reduint 25,18 milions de tones de CO₂, dels quals 1,05 milions de tones corresponen al sector serveis.

- **Eficiència energètica:** Reducció global del 30,3 % de l'ús d'energia final entre 2017 i 2050, un 19 % en el sector serveis.
- **Electrificació:** Proposa la introducció massiva de la bomba de calor en substitució de les calderes i escalfadors de combustibles fòssils per usos de calefacció i aigua calenta sanitària.
- **Desplegament d'energies renovables i emmagatzematge:** Els sistemes de bomba de calor es consideren energia renovable si disposen d'un factor de rendiment estacional major de 2,5, segons el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE). Tanmateix, en la PROENCAT l'impacte de la instal·lació de bombes de calor es contempla dins l'objectiu d'eficiència energètica esperada. L'emmagatzematge tèrmic és un element clau en la flexibilitat de la demanda i per tant fa augmentar l'eficiència del sistema energètic i disminuir els costos de l'energia.
- **Inversions i infraestructura:** 15.000 milions d'euros per millorar l'eficiència i reduir el consum.

1.2.3 Context municipal

La lluita contra el canvi climàtic ha estat assumida pels ens locals, i la majoria dels ajuntaments estan adherits a la iniciativa europea del Pacte de les alcaldies, amb els objectius de reduir en més d'un 55 % les emissions de gasos d'efecte hivernacle per a l'any 2030 i assolir la neutralitat climàtica l'any 2050.

Per complir amb aquests objectius, els ens locals hauran d'actuar en diversos àmbits i esdevenir ser exemple per a la ciutadania i tots els agents socials i econòmics del municipi. Caldrà fomentar el desplegament de les energies renovables, amb la promoció d'instal·lacions fotovoltaïques o l'impuls de xarxes de calor urbanes. A nivell normatiu, caldrà incorporar noves ordenances o ambientalitzar les existents i, a nivell tributari, incorporar rebaixes en els tributs municipals per impulsar la rehabilitació energètica o la mobilitat sostenible. En l'aspecte social, serà necessari impulsar comunitats energètiques locals i estratègies per combatre la pobresa energètica. I s'hauran d'engagar campanyes de formació i conscienciació, fomentar estudis energètics en habitatges i activitats econòmiques, i establir un diàleg entre tots els actors municipals: societat civil, empreses, entitats del tercer sector, etc.

En qualsevol cas, serà necessari encaminar les estratègies d'acord als requeriments normatius que s'estan transposant des de la Directiva d'eficiència energètica en els edificis (EPBD), que es preveuen molt ambiciosos. Igualment, en els edificis terciaris existents caldrà aplicar les normes mínimes d'eficiència energètica (MEPS), que implicaran la seva rehabilitació energètica per situar el consum per sota d'uns llindars, i la renovació del parc residencial per consumir un 16 % menys d'energia primària abans del 2030.

En el marc dels plans d'acció per l'energia sostenible i el clima (PAESC), redactats pels ens locals adherits al pacte de les alcaldies, s'ha constatat una evolució notable en les tecnologies d'energia renovable emprades. Al llarg de l'última dècada, aquestes fonts han experimentat un procés de diversificació i consolidació tècnica que ha obert noves oportunitats per avançar cap a models energètics més nets i resilents.

Producció d'energies renovables

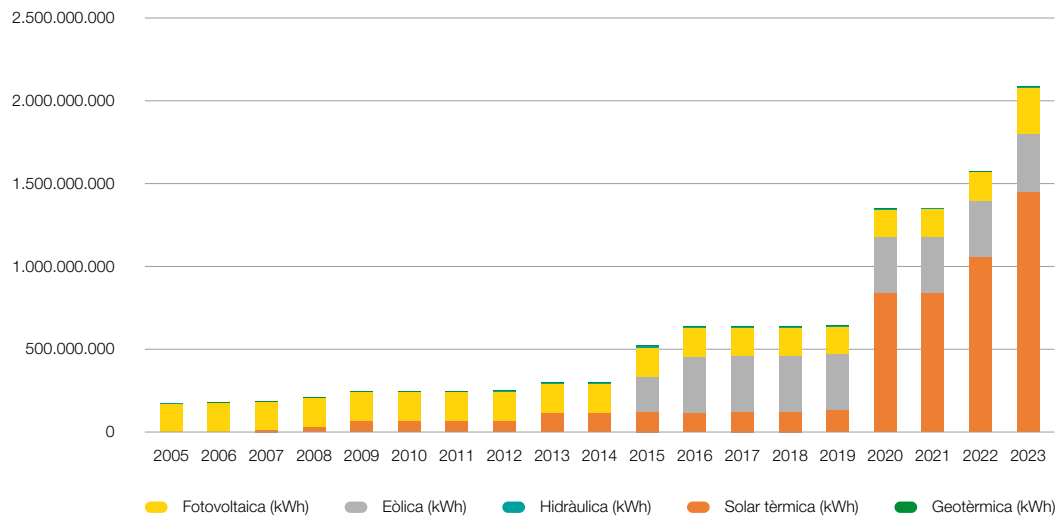


Fig. 1 Producció d'energies renovables a la província de Barcelona. Font: Diputació de Barcelona

La producció d'energies renovables a la província de Barcelona ha experimentat un creixement molt notable en els darrers anys, especialment a partir de 2019, fins a superar els 2 TWh el 2023. Aquest augment es deu sobretot per l'expansió de la fotovoltaica, mentre que l'eòlica i la hidràulica mantenen una aportació estable i la resta de tecnologies tenen un pes menor. Aquesta tendència confirma l'acceleració de la transició energètica al territori i reforça la importància de continuar desplegant renovables i impulsant mesures d'eficiència. En aquest procés, els municipis tenen un paper clau per consolidar un model energètic més sostenible i alineat amb els objectius climàtics.

Els àmbits sobre els quals els ens locals tenen capacitat d'actuació directa són principalment tres: l'enllumenat públic, la flota de vehicles i els equipaments i instal·lacions de titularitat municipal. Es tracta dels sectors que concentren una part rellevant del consum energètic local, i per tant, representen oportunitats clau per reduir emissions, millorar l'eficiència i avançar en la transició energètica. L'actuació en aquests punts permet als municipis incidir de manera efectiva en la reducció de la demanda energètica i en la incorporació de fonts renovables, tot reforçant el seu compromís amb els objectius climàtics i facilitant una gestió més sostenible dels recursos públics.

En l'àmbit de l'enllumenat públic s'ha experimentat una modernització notable amb la implantació generalitzada de tecnologia LED. Aquesta renovació ha permès millorar l'eficiència i reduir significativament la potència necessària per a l'enllumenat viari. Com a resultat, el consum anual per làmpada s'ha reduït en més d'un 50 %, generant estalvi energètic i econòmic per als municipis.



Font: MOMO / Diputació de Barcelona

Rati de consum anual per làmpada

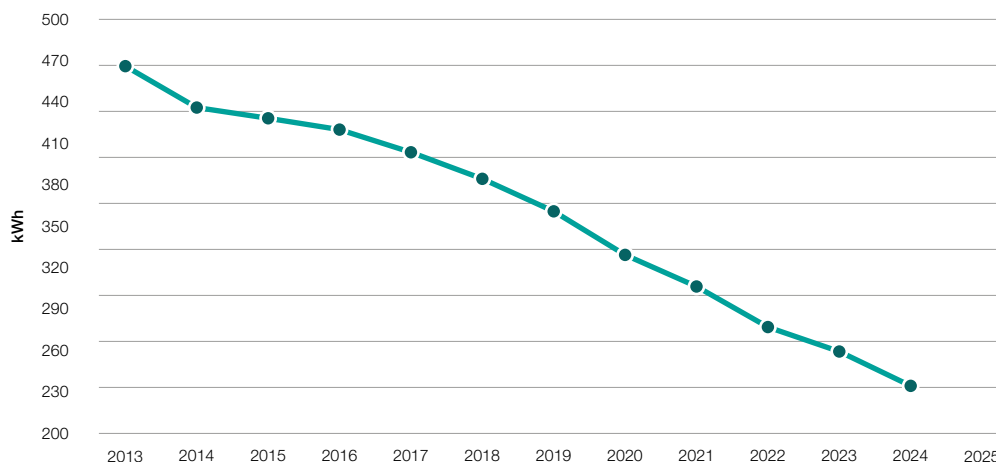


Fig. 2 Rati de consum anual per làmpada. Dades de Cercle de comparació intermunicipal d'estalvi i eficiència energètica en l'enllumenat públic. Font: Diputació de Barcelona

Evolució de la tipologia de làmpades instal·lades

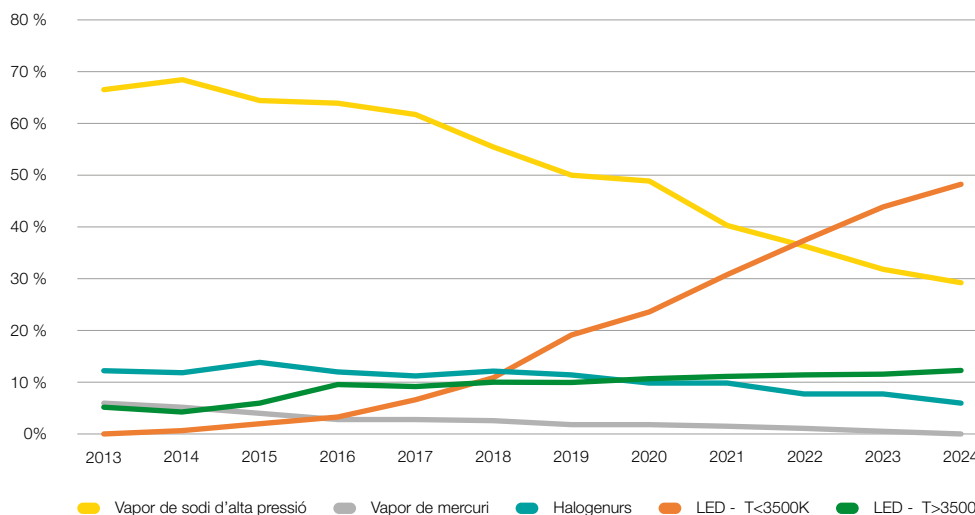


Fig. 3 Evolució de la tipologia de làmpades instal·lades. Dades de Cercle de comparació intermunicipal d'estalvi i eficiència energètica en l'enllumenat públic. Font: Diputació de Barcelona

Les gràfiques mostren una substitució progressiva de les tecnologies tradicionals d'enllumenat per lluminàries LED. Des del 2013, les làmpades de vapor de sodi —majoritàries a l'inici— han disminuït de manera sostinguda, mentre que els models LED (T<3500K i T>3500K) han experimentat un creixement molt significatiu fins a esdevenir el tipus predominant el 2024. Paral·lelament, la presència de làmpades de mercuri i halògenes s'ha reduït fins pràcticament desaparèixer. Aquest canvi de tecnologia ha anat acompanyat d'una reducció continuada del consum anual per làmpada, que passa d'uns 480 kWh/any el 2013 a menys de 240 kWh/any el 2024. El descens constant del rati de consum confirma l'impacte directe de la renovació del parc lumínic en l'eficiència energètica municipal.

Quant a la flota de vehicles municipals s'ha avançat de manera progressiva cap a models més sostenibles, amb un increment constant de vehicles electrificats en els darrers anys. Aquesta transició respon tant a criteris ambientals com a la voluntat dels ens locals de reduir emissions i costos operatius. Tot i aquesta evolució, el conjunt del parc mòbil encara es troba en una fase inicial de transformació.

Evolutió de matriculacions de vehicles elèctrics i endollables a Catalunya

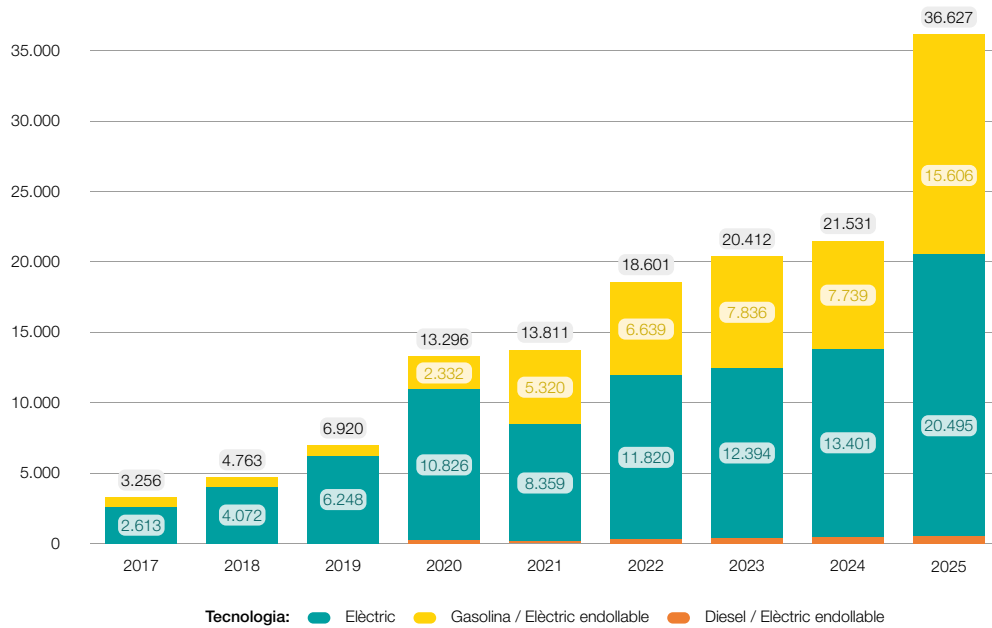


Fig. 4 Evolució temporal de les matriculacions. [Matriculacions de vehicles elèctrics i endollables](#). Font: Dades Obertes. Institut Català d'Energia

La gràfica mostra una tendència clarament ascendent en les matriculacions de vehicles elèctrics i endollables a Catalunya entre 2017 i 2025. El creixement és especialment notable a partir del 2020, moment en què les matriculacions superen per primer cop les 10.000 unitats anuals i inicien una trajectòria sostinguda fins arribar a més de 36.000 vehicles el 2025. El nombre de vehicles elèctrics purs (BEV) augmenta de manera significativa al llarg del període i esdevé la tecnologia predominant, amb més d'20.000 unitats. Paral·lelament, els híbrids endollables (PHEV) —tant de gasolina com de dièsel— mantenen també una evolució positiva, si bé amb un ritme de creixement més moderat. La combinació d'aquestes dues tecnologies consolida el 2025 com l'any amb més matriculacions de tota la sèrie, reforçant la tendència cap a la electrificació progressiva del parc mòbil català.

En l'àmbit dels equipaments municipals, la disminució de consum s'ha de plantejar d'una manera estructurada, que prioritzi en primer lloc aquelles actuacions que requereixin una inversió econòmica baixa o nul·la. Posteriorment, es poden incorporar accions que comportin un cost més alt, ordenat de menor a major, segons les prioritats o la urgència.

La racionalització de la demanda dels equipaments municipals consisteix en la optimització dels consums vigents mitjançant una anàlisi detallada de la situació existent, per tal d'identificar possibles reduccions de consum. Aquestes actuacions

poden incloure, per exemple, l'ajust de consignes de funcionament o la realització de proves per reduir la temperatura operativa dels sistemes. Quan un equipament no disposa de monitorització o control adequats, o aquests són insuficients per permetre una reducció dels consums energètics, es proposa instal·lar o millorar el control, la monitorització i incloure telegestió.

Pel que fa a les millores d'eficiència en els elements actius de l'equipament, s'inclou la substitució de l'enllumenat interior per tecnologia LED, l'aïllament de les canonades d'aigua calenta o, quan sigui el cas, la renovació d'equips per altres de classe energètica A o superior. La realització d'aquest tipus d'actuacions en els equipaments municipals són de mitja o baixa inversió, i contribueixen a la reducció de les emissions de GEH.

Tanmateix, el principal consum energètic en qualsevol equipament municipal prové dels usos tèrmics: calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària (ACS). Per aquest motiu, és essencial focalitzar els esforços en la reducció, la descarbonització i l'electrificació d'aquests consums. Hi ha diferents mesures per assolir aquesta reducció, incloent-hi inversions molt elevades, com ara la rehabilitació energètica de l'envolupant dels edificis, i altres de cost menor però més intensives en aspectes de gestió, capacitat del personal i manteniment (usos, telegestió, temperatures de consigna).

L'electrificació se centra en la millora dels sistemes actius de climatització i ACS, que assoleixen grans reduccions d'emissions amb inversions significatives, però molt inferiors als costos de rehabilitació de l'envolupant.

En aquest sentit, la guia exposa diverses opcions i estratègies per avançar en aquest procés, i ofereix criteris i recomanacions per dur-lo a terme de manera eficient i adaptada a les particularitats de cada equipament. Per tal que l'estratègia sigui efectiva cal que es doti de fons, que quedin reflectits en els pressupostos anuals, incorporar-hi les actuacions necessàries i comptar amb la col·laboració de tècnics especialitzats, que puguin aportar l'assessorament adequat. Aquest suport ha de permetre disposar, en una primera fase, d'una visió global que orienti les línies d'acció estratègiques. Posteriorment, caldrà concretar aquesta visió en intervencions adaptades a les característiques i necessitats específiques de cada equipament, i garantir que les decisions adoptades siguin coherents, eficients i alineades amb els objectius municipals, d'acord amb l'objectiu d'aconseguir la reducció d'emissions de GEH per esdevenir climàticament neutres.

1.2.4 Context tecnològic

Per descarbonitzar els usos tèrmics de l'energia en els edificis cal recórrer al conjunt de totes les tecnologies i fonts renovables existents i consolidades, cada una de les quals té el seu paper en l'estratègia global, com es descriu a la [PROENCAT](#).

La guia se centra en les tecnologies elèctriques atès que un dels pilars principals de l'estratègia de descarbonització es fonamenta en l'electricitat i en la facilitat de penetració de les energies renovables en la seva generació. Les tecnologies elèctriques tenen uns rendiments energètics elevats i unes capacitats de regulació i control avançades, fet que les fan aptes a la majoria d'emplaçaments i

serveixen per a totes les aplicacions tèrmiques dels edificis: calefacció, fred i aigua calenta.

La tecnologia que ocupa la major part d'aquesta guia és la **bomba de calor** per a climatització i ACS, que gràcies a la seva alta eficiència i versatilitat la fan una opció molt neta i efectiva per la descarbonització.

Per certes casuístiques de baixa demanda en ACS, la opció de producció eficient és amb **efecte joule**: escalfadors instantanis o petits acumuladors amb resistència. En el cas de les cuines, la opció de la inducció com a tecnologia eficient en cocció d'aliments i hibridable amb producció fotovoltaica d'autoconsum instantani és una alternativa factible inclús en menjadors comunitaris, tot i que no és objecte de la present guia.

Existeixen altres tecnologies no elèctriques perfectament consolidades que contribueixen a la descarbonització. Malgrat que no es desenvolupen en la guia, citarem les més rellevants:

- Les **calderes de biomassa** són una opció molt rentable i efectiva per descarbonitzar la calefacció, i contribueixen a una gestió forestal adequada. Tot i que requereixen força espai per l'emmagatzematge de combustible, el tipus d'operació i manteniment les fan òptimes per grans consums tèrmics. La tendència actual és la instal·lació de grans calderes de biomassa en usos industrials o xarxes de calor.
- El **biometà** producte de la digestió anaeròbia dels residus orgànics (dejeccions ramaderes, residu municipal, fangs d'EDAR...) és un vector energètic important per substituir el gas natural. Injectat a la xarxa de gas existent podria descarbonitzar totes les calderes de gas connectades. Malauradament no hi ha perspectiva de produir prou biometà per cobrir tota la demanda tèrmica (font 21). Té el seu nínxol per descarbonitzar aplicacions industrials on es requereixin altes temperatures i per cobrir part dels consums tèrmics en nuclis de població amb xarxa existent de gas natural.
- L'energia **solar tèrmica** és la tecnologia que produeix el calor més econòmic, però no pot reemplaçar mai el generador principal atesa la intermitència del recurs solar. La seva operativa i manteniment la fan ideal per edificis amb demanda significativa d'ACS durant tot l'any o escalfament de piscines.

1.2.5 Tipologies d'equipaments

Sí bé es pot entendre com a equipaments municipals tots aquells que depenen d'una administració pública, la guia posa èmfasi en les tipologies d'equipaments més comunes. Se'n defineixen 4 tipologies:

- **Centre educatiu:** escola, llar d'infants, institut,...
- **Administratiu:** ajuntament, oficines,...
- **Centre esportiu:** pavelló, poliesportiu,...
- **Ús mixt:** centre cívic, sala polivalent,...

Si bé no són objecte de la guia els edificis terciaris privats, també els hi és d'aplicació per extensió.

En el cas del sector residencial, tot i que els conceptes genèrics d'electrificació són aplicables, les solucions tècniques i les estratègies mereixerien una guia pròpia.

1.3 L'electrificació

L'electrificació d'un equipament municipal consisteix en la substitució dels equips que funcionen amb energia procedent de combustibles fòssils, —com ara el gas natural o el gasoil— per altres d'energia elèctrica. La mateixa lògica s'aplica a la incorporació d'equips nous quan sigui el cas.

L'electrificació dels sistemes de climatització que funcionen amb combustibles fòssils ofereix un conjunt ampli d'avantatges ambientals, energètics i operatius. A continuació es presenten les principals oportunitats i els reptes que cal tenir en compte en el seu desplegament en els edificis municipals.

1.3.1 Oportunitats de l'electrificació

Descarbonització amb tecnologies renovables: Electrificar els sistemes tèrmics permet substituir els combustibles fòssils per fonts renovables, ja que en el mix de generació elèctrica cada vegada tenen més presència les energies renovables (eòlica, fotovoltaica i hidràulica principalment), que van representar el 55 % del mix l'any 2024 a Espanya. La següent taula mostra la descarbonització de l'electricitat al llarg del temps:

Factor de pas (grams CO ₂ eq/kWh)	2005 (font 5)	2014 (font 3)	2022 (font 22)	2030 (font 15)	2050 (font 18)
Electricitat	649	331	260	29	0

Taula 1 Evolució dels factors de pas del kWh elèctric a grams de CO₂ equivalent

Actualment, l'energia elèctrica ja iguala o millora les emissions del gas natural (252 g CO₂eq/kWh) i el gasoil (311 g CO₂eq/kWh) (font 3), i la tendència i les projeccions a 2030 indiquen fins i tot que l'electricitat emetrà 10 vegades menys carboni que els combustibles fòssils. Els objectius europeus, estatals i catalans tenen com a objectiu que el 2050 la producció d'electricitat sigui 100 % renovable (zero emissions).

Estalvi d'energia final i millora de l'eficiència: Les bombes de calor ofereixen rendiments molt superiors als sistemes basats en combustió. L'eficiència energètica reflecteix la relació entre l'energia final i l'energia tèrmica útil per climatitzar. La bomba de calor presenta rendiments estacionals entre 250 % i 500 %, enfront de les calderes de combustibles fòssils, amb valors

de 70-90 %, de manera que la bomba de calor consumeix entre 3 i 6 vegades menys d'energia final.

Si es té en compte la descarbonització de l'electricitat i l'eficiència de les bombes de calor, l'electrificació de consums tèrmics redueix 4 vegades l'emissió de gasos d'efecte hivernacle (GEH), i a 10 anys vista fins a 50 vegades menys.

Integració amb fotovoltaica: Els sistemes d'autoconsum juguen un paper molt important en la descarbonització dels edificis i els equipaments públics. L'electrificació de sistemes tèrmics permet l'ús directe d'instal·lacions d'autoconsum fotovoltaic per reduir a zero les emissions de CO₂eq en certes condicions d'irradiació solar i demanda tèrmica. La incorporació d'un sistema d'autoproducció energètica individual o col·lectiva obre la porta a la flexibilitat i a l'estalvi.

Energies renovables i certificats de garanties d'origen renovable: L'electricitat que utilitzen les bombes de calor pot estar produïda amb energies renovables al mateix edifici o amb instal·lacions d'autoconsum compartit properes, o via comunitats energètiques, o bé pot estar certificada com a tal. Els Certificats de Garantia d'Origen (GdOs) són certificats electrònics emesos per la *Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia* (CNMC) que acrediten que una determinada quantitat d'electricitat s'ha generat a partir de fonts renovables o de cogeneració d'alta eficiència. Un MWh renovable equival a un GdO. Mentre la generació elèctrica no sigui 100 % renovable, els GdO són la oportunitat per garantir zero emissions.

Millora del confort tèrmic i adaptació al canvi climàtic: El confort tèrmic indica un estat de satisfacció amb l'ambient tèrmic. Aquesta percepció depèn del metabolisme de les persones, la temperatura, la humitat ambient, la roba o l'activitat física que es desenvolupa. La incorporació d'equips de refrigeració als edificis permet augmentar el confort tèrmic en època estival, a diferència dels equips tradicionals de climatització per combustibles fòssils, que només generen calefacció.

Millora de la qualitat de l'aire: Els sistemes elèctrics no generen emissions contaminants localment. Això afavoreix una millor qualitat de l'aire, especialment en entorns urbans on es mesuren contaminants com el diòxid de nitrogen (NO₂), les partícules (PM10 i PM2,5), l'ozó troposfèric (O₃), el diòxid de sofre (SO₂), el monòxid de carboni (CO), el benzè (C₆H₆) o el sulfur d'hidrogen (H₂S). La qualitat de l'aire es determina a partir de l'Índex Català de Qualitat de l'aire (ICQA), calculat a partir de les dades obtingudes per la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA).

Emmagatzematge tèrmic: Els dipòsits d'inèrcia acumulen energia tèrmica (fred o calor) que pot ser utilitzada en moments determinats i decalats en el temps, i també permeten reduir la potència de la bomba de calor per a un funcionament més eficient.



Autor / Shutterstock.com

Gestió de la demanda i flexibilitat: Els edificis electrificats poden adaptar el seu consum d'acord als preus horaris del mercat elèctric o als requeriments del sistema energètic. L'emmagatzematge i la modulació de les bombes de calor faciliten estratègies de flexibilitat i permeten, entre altres coses, la millor penetració d'energia renovable al mix elèctric.

Estalvi econòmic: L'electrificació, conjuntament amb la incorporació d'autoproducció i emmagatzematge, esdevé una actuació que genera estalvi econòmic i una millor previsió dels costos energètics. L'entrada en vigor del mercat d'emissions per edificis, transport per carretera i altres sectors (ETS2) a partir de 2027 per la Directiva (UE) 2023/959 farà encarir els combustibles fòssils.

Seguretat energètica: Els equips de climatització i producció d'aigua calenta sanitària a partir de bomba de calor i/o efecte joule donen més seguretat energètica al no dependre d'un combustible importat de països tercers, sovint en situació de conflicte geopolític.

Digitalització: L'electrificació dels equips de climatització incorpora més elements d'electrònica als sistemes i per tant augmenten les possibilitats de control i comunicació. La tecnologia inverter de les bombes de calor o les operacions de flexibilitat de la demanda permeten incrementar notablement la modulació de potència dels equips, optimitzar-ne l'ús i integrar-ne la seva monitorització en plataformes de gestió energètica.

Revalorització de l'edifici: La millora de l'eficiència i de la qualificació energètica incrementa el valor patrimonial dels edificis i contribueix a uns estàndards més elevats de sostenibilitat.



Autor / Shutterstock.com

1.3.2 Reptes de l'electrificació

El procés d'electrificació dels sistemes de climatització d'un equipament públic no està absent de reptes i dificultats, entre els quals podem destacar els següents:

Calor emès a l'exterior: Refrigerar els edificis amb bombes de calor aire-aigua o aire-aire implica dissipar la calor a l'aire exterior i emetre calor a l'estiu (o fred a l'hivern). Aquesta dinàmica afavoreix les anomenades illes de calor en els punts de les ciutats on es concentren un nombre més elevat d'edificis. Les bombes de calor aigua-aigua minimitzen aquest efecte ja que l'intercanvi de calor no es fa amb l'aire exterior.

Emplaçament dels equips: Les unitats exteriors de les bombes de calor aire-aigua o aire-aire s'han d'ubicar a l'exterior dels edificis i per tant poden suposar un problema d'espai, de restriccions urbanístiques, d'estètica o de molèsties als edificis veïns.

Normativa municipal: Algunes ordenances regulen la instal·lació d'unitats exteriors en façanes i balcons. Cal garantir el compliment normatiu en cada actuació.

Sorolls i vibracions: Cal complir les normatives de limitació del soroll que estableixen la normativa de funcionament dels aparells i les ordenances municipals. L'actuació principal per evitar les vibracions que generen les unitats exteriors de bombes de calor aerotèrmiques i aire-aire és la col·locació d'amortidors o tacs silenciadors d'acord a les especificacions del fabricant. Per evitar superar les immissions de soroll cal assegurar unes distàncies mínimes o incorporar barreres acústiques, sempre assegurant la correcta ventilació de la màquina.

Sobrecarregues mecàniques: Per instal·lar els equips de climatització exterior en cobertes o espais en façana cal comprovar que els elements arquitectònics estan preparats per suportar-ne el pes ja que representen sobrecàrregues puntuals considerables, sobretot els equips de potència elevada i els seus dipòsits d'inèrcia. Les característiques tècniques dels fabricants dels aparells n'indiquen el pes i el projecte constructiu de l'edifici, o els professionals, determinaran si les capacitats de càrrega s'hi adequen o no.

Adequació de la instal·lació elèctrica interior: L'augment de demanda elèctrica pot requerir modificacions del quadre, línies i proteccions existents. Aquestes actuacions han de quedar plasmades i legalitzades en un projecte elèctric.

Potència elèctrica contractada: En línia amb el punt anterior, cal revisar la potència elèctrica contractada de l'equipament per garantir les necessitats de la bomba de calor. Generalment, si la potència contractada estava optimitzada, caldrà tramitar-ne un increment.

Capacitat de la xarxa elèctrica: En determinades situacions, un augment de la potència elèctrica contractada pot anar supeditat a un augment de la potència d'accés proporcionada per la distribuïdora. En alguns casos caldrà sol·licitar la nova potència i satisfer els requeriments tècnics i econòmics que indiqui la distribuïdora. En baixa tensió, en sol urbanitzat i fins a 100 kW, la distribuïdora s'ha de fer càrrec de les adaptacions tècniques de la xarxa i només caldrà abonar [les taxes estipulades](#) (de l'ordre de 17 €/kW per l'extensió i uns 20 €/kW per l'accés). Per sobre dels 100 kW es pot incórrer en despeses elevades de reforç de línies o fins i tot de nous centres de transformació.



2

Estratègia per descarbonitzar consums tèrmics als edificis

El procés d'electrificació dels sistemes de generació d'energia tèrmica en un equipament es pot representar en un diagrama de flux com el que es mostra tot seguit, en el qual es recullen un seguit d'accions, o passos, que cal executar de forma iterativa. El procés es pot entendre com una eina estratègica per a la descarbonització i l'electrificació, sempre en el benentès que caldrà contextualitzar el procés en funció de les característiques de l'entorn urbà i de l'edifici.

El diagrama de flux mostra de manera visual el desenvolupament proposat, on les fases representades en color blau representen "documentació"; les de color taronja impliquen decisions; i les acolorides en color lila, processos o actuacions.

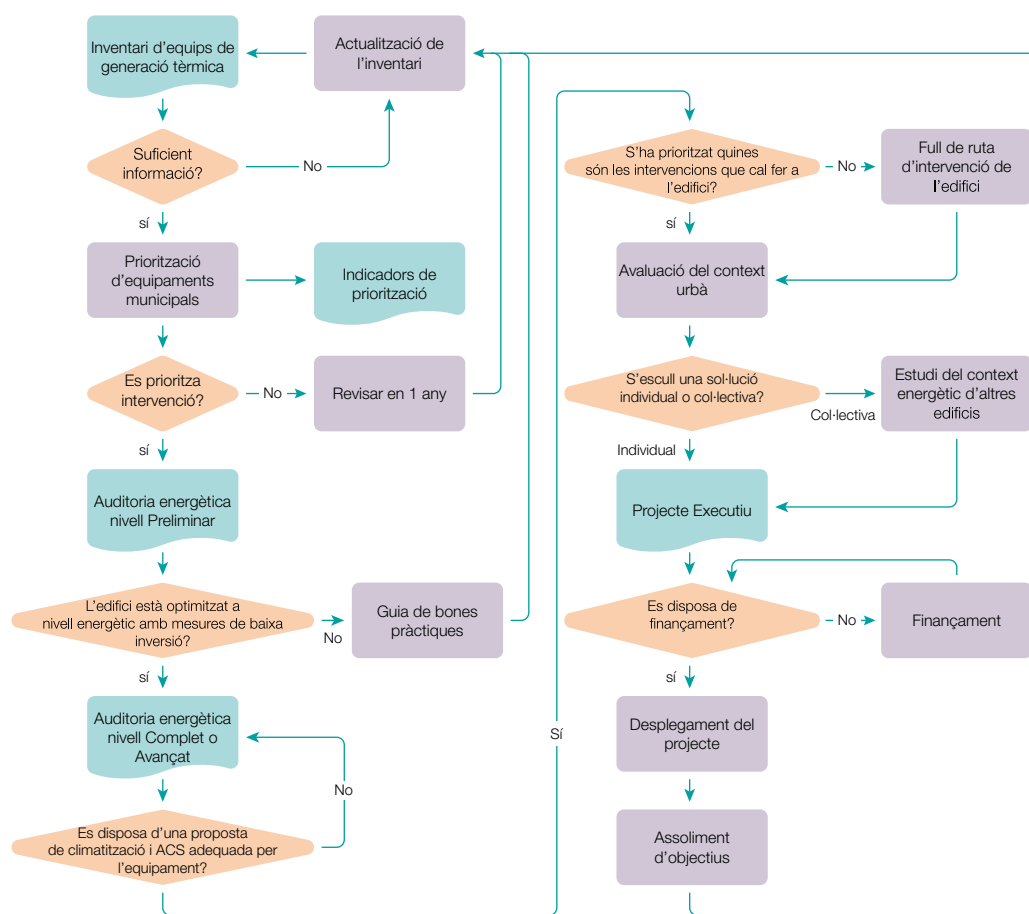


Fig. 5 Diagrama de flux del procés d'electrificació en equipaments. Font: Elaboració pròpia

2.1 Inventari de sistemes de generació d'energia tèrmica

Per tal de disposar de la màxima informació possible dels elements generadors d'energia tèrmica es proposa realitzar un inventari dels sistemes de generació d'energia tèrmica. Aquesta informació es pot recollir mitjançant consultes al personal de manteniment, el responsable de cada infraestructura o a l'equip tècnic municipal. Es necessitaria, com a mínim, el consum energètic i el final de la vida útil dels equips. La informació que segueix a continuació, seria de gran utilitzat per poder executar amb més detall els passos següents:

- Identificador de l'equip
- Edifici on s'ubica
- Espai/sala on s'ubica i condicions d'emplaçament.
- Tipus de sistema generador
- Any d'instal·lació, any del final de la vida útil, estat i avaries conegudes
- Potència útil, nominal, rendiment estacional i règim de temperatura
- Consum anual i hores de funcionalment
- Costos econòmics fixos i variables
- Emissions
- Control i telemesura
- Elements terminals i temperatura de subministrament
- Riscos, permisos i legalitzacions
- Energies renovables in-situ

Es recomana la revisió d'aquest inventari periòdicament, per exemple de forma quinquennal, quant als sistemes tèrmics. I quant als consums energètics es recomana fer un seguiment anual a través de la comptabilitat energètica i integrar-ho com a part de les operacions de manteniment preventiu.

En aquest aspecte, la guia tècnica "[Mantenimiento de instalaciones térmicas](#)" de l'IDAE pot ser un document de referència.

2.2 Priorització d'intervencions als sistemes de generació d'energia tèrmica per edifici

A partir de l'inventari elaborat al punt anterior, és el moment de donar prioritat a les intervencions a realitzar dels equips de generació d'energia tèrmica, agregats per edifici. Es proposa la creació de 5 categories d'indicadors segons prioritat:

- **Emergència:** Es contemplen els equips que es troben en mal estat, al final de la seva vida útil i que poden necessitar una substitució imminent. Es considera prioritari aprofitar la seva substitució per adequar les instal·lacions tèrmiques de l'edifici. És un indicador qualitatiu que marca prioritat: alta, mitja o baixa.
- **Ambiental:** Es consideren les emissions de GEH que emeten els sistemes de generació d'energia tèrmica i el conjunt de l'edifici. És un indicador quantitatiu que pot recollir altres paràmetres ambientals desitjats (NOx, partícules,...).
- **Econòmic:** Es detalla la despesa econòmica fixa anual (per contractació, manteniment, etc...) i variable (preu del combustible per unitat d'energia) a fi de poder comparar-ho amb altres tecnologies. Es tracta d'un indicador quantitatiu.
- **Social:** L'ús de l'edifici pot proporcionar indicadors quantitatius com el nombre de persones que l'utilitzen (i que es poden beneficiar) i d'altres qualitius com si forma part d'un refugi climàtic, l'accessibilitat per persones amb mobilitat reduïda, la implicació de les persones que el gestionen,...
- **Confort:** Es descriu el grau de satisfacció tèrmica dels usuaris, i si l'ambient compleix els estàndards requerits pel que fa a concentració de CO₂ i humitat. En el cas que un edifici no assoleixi un mínim de satisfacció, seria prioritari intervenir.

Cada ens local pot prioritzar les actuacions a realitzar ordenant-les per les categories que considerin més rellevants. Es proposa però, crear un indicador quantitatiu general que ponderi les diferents categories i que pugui establir un ordre en les actuacions, en aquells municipis amb un volum gran d'edificis. A l'annex 1 s'ha desenvolupat una proposta de puntuació.

2.3 Context energètic de l'edifici

Un cop establerta la prioritat d'intervencions dels equips de generació d'energia tèrmica per edifici, cal contextualitzar la situació en què es troba l'edifici. Es precisa disposar d'una auditoria energètica de l'edifici que permeti veure oportunitats de millora, propostes d'estalvi amb l'objectiu final de prioritzar actuacions més enllà de la intervenció en equipaments de generació d'energia tèrmica. En aquesta secció es presenten tres nivells d'auditoria energètica inspirats en les etapes que defineix [ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 211-2018 \(RA2023\)](#)

Mentre que al primer nivell (preliminar) no es contempla realitzar cap modelització energètica de l'edifici, els nivells superiors, complet i avançat, es considera essencial. La diferència entre ells serà en el número de cicles de modelització que cal incorporar, tal i com recull [ANSI/ASHRAE Standard 209-2018](#).

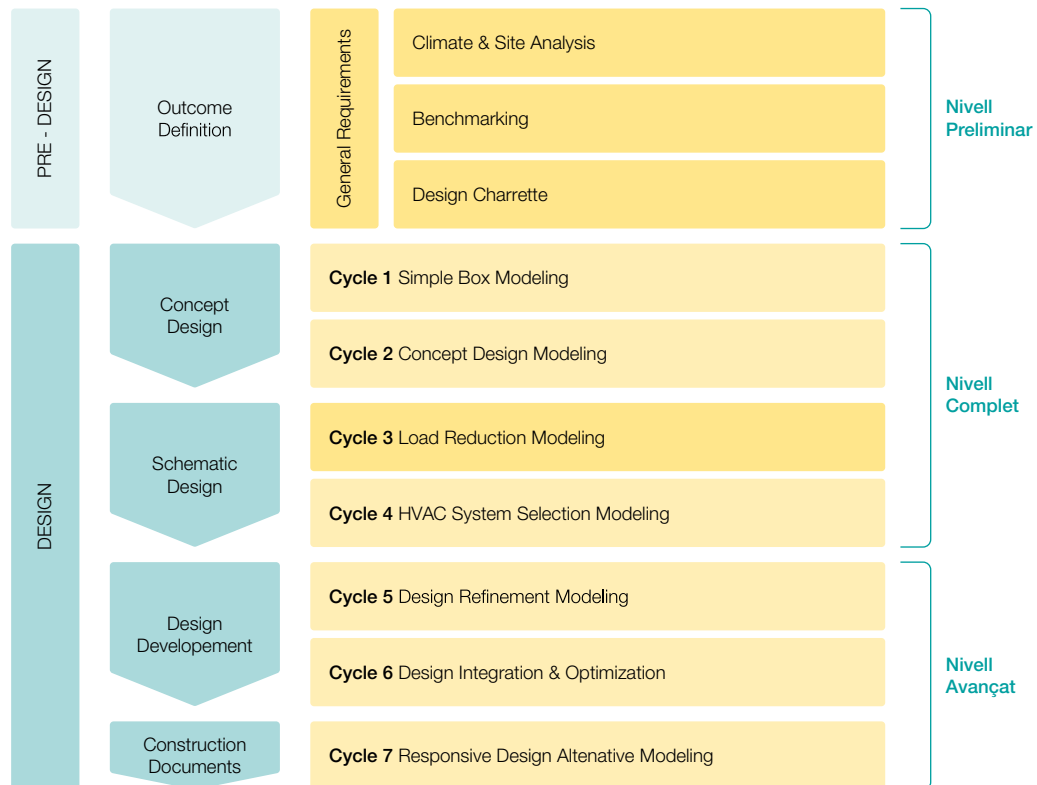


Fig. 6 Diagrama de flux de modelització energètica. Font: ANSI/ASHRAE Standard 2019-2018

» Nivell Preliminar: Anàlisi genèric

En aquest nivell d'auditoria es pretén assolir dos objectius. Primer, disposar d'un mínim d'informació de l'edifici amb la finalitat de poder comparar-lo amb d'altres similars: ubicació (zona climàtica), ús, any de construcció, superfície útil i climatitzada, geometria (número de plantes i orientació) i consums energètics (disgregats per font energètica i per calefacció, refrigeració i/o ACS). Segon, identificar oportunitats d'estalvi energètic de baix o nul cost, a partir de mesures senzilles d'operació i manteniment.

D'aquest anàlisi se'n pot extreure un conjunt de bones pràctiques en l'ús de les instal·lacions dels edificis que suposin un major benefici a un cost baix o nul (pedagogia en l'ús de les instal·lacions, recanvi o incorporació de sensors de temperatura, ajust de les temperatures de consigna de climatització,...). També es recomana disposar de les factures dels últims 24 mesos.

L'ICAEN posa a disposició una [guia de bones pràctiques](#) per l'estalvi i eficiència energètica en edificis públics que pot ser un bon punt de partida.

» Nivell Complet: Auditoria estàndard

Consisteix en realitzar un anàlisi més exhaustiu de l'edifici i dels seus consums energètics, centrant-se en un sistema concret, en aquest cas, en la climatització i l'ACS.

L'objectiu és analitzar en profunditat el funcionament, l'eficiència i el potencial de millora dels equips i sistemes que intervenen en la generació, distribució i ús de la climatització dins l'edifici, així com l'ACS. Aquesta auditoria combina una revisió tècnica detallada amb una avaluació de les condicions d'ús, manteniment i control, per identificar mesures d'estalvi energètic específiques i estimar-ne els costos i els estalvis potencials.

És convenient realitzar una modelització energètica que inclogui els 4 primers cicles definits a la figura anterior. Es parteix de les dades i informació obtinguda a l'auditoria de nivell preliminar per determinar si la substitució d'una caldera de combustibles fòssils per una bomba de calor és tècnicament viable, en quines condicions (temperatures d'impulsió, distribució existent, control), i amb quins estalvis energètics, econòmics i d'emissions esperables, comparant alternatives i prioritzant-les.

A continuació es detalla un exemple aplicat al contingut de la guia dels cicles de modelització:

1. **Modelització de caixa senzilla:** Construir un model base simplificat que expliqui la distribució del consum per usos finals i que serveixi de punt de partida per comparar alternatives. Per això caldria disposar d'una geometria simplificada i perfils d'ús realistes. És recomanable ajustar el model segons les factures per tenir una línia base útil i comprovar les hipòtesis fetes (transmitàncies, horaris, consignes...). Com a resultat s'espera obtenir els ratis de demanda i càrrega per unitat de superfície i per usos (ACS, calefacció i refrigeració), i les corbes de càrrega segons temperatura exterior.
2. **Modelització de concepte:** Comparar diferents propostes d'equips de climatització i emissors (Bomba de calor aire-aigua mantenint emissors existents o substituint per ventiloconvectors,...). Per tant, en aquest cicle caldrà canviar les hipòtesis de funcionament de la solució (Temperatura d'impulsió, estratègia de l'ACS, control, hibridació...). Com a resultat s'espera obtenir el consum elèctric anual, la potència requerida i els rangs de SCOP per cada concepte estudiat.
3. **Modelització per la reducció de càrrega:** Identificar i quantificar estratègies que redueixin la càrrega de climatització i ACS (i per tant la mida i el consum de la bomba de calor) abans de tancar el dimensionament. Per exemple, si es pot ajustar el control, reduir temperatures d'impulsió, optimitzar horaris de càrrega amb la finalitat d'obtenir una llista de mesures que permetin reduir la demanda i que condicionen el dimensionament i el SCOP real.
4. **Modelització del sistema de climatització, ventilació i condicionament del aire (HVAC):** Acabar decidint quina arquitectura és la òptima segons les condicions establertes en els punts anteriors. Com a resultat s'espera obtenir la recomanació del sistema que s'instal·la amb números de demandes i càrregues horàries, així com tots els requeriments de la solució escollida: potència elèctrica, emissors, etc..

» **Nivell Avançat:** Anàlisi detallat de l'edifici

Complementàriament al nivell anterior, consisteix en realitzar una simulació energètica avançada per reproduir el comportament real de l'edifici i dels seus sistemes

(envolupant, il·luminació, climatització, producció d'aigua calenta, usos, etc.). Es consideren les interaccions entre tots els sistemes de l'edifici. Això permet una anàlisi energètica integrada que quantifica amb precisió com una millora en un subsistema pot influir en la càrrega tèrmica i, per tant, reduir la mida o el cost dels equips de climatització necessaris. L'objectiu que es busca és disposar d'un full de ruta de la intervenció a l'edifici justificat amb precisió. Es pot incloure una estimació dels costos, dels estalvis esperats i del període de retorn de la inversió, amb un nivell de confiança suficient per justificar decisions financeres o obtenir finançament extern. Per tant, s'espera disposar d'escenaris de rehabilitació, canvis d'emissors, ventilació amb recuperació i fins i tot propostes de sistemes concrets com bombes de calor, emmagatzematge tèrmic, fotovoltaica i gestió de la demanda.

En aquest aspecte, caldria ampliar els cicles de modelització definits a la figura anterior tal i com es descriu a continuació:

5. **Refinament del disseny:** Consisteix en modelitzar tots els sistemes de l'edifici que poden interactuar amb les càrregues tèrmiques (Envolupant, il·luminació,...) i fer servir el model per validar la direcció del disseny i refinar la solució proposada.
6. **Optimització i integració del disseny:** Definir diferents objectius d'optimització (demanda punta, confort,...) i diferents variables de disseny (temperatures de consigna, ventilació, eficiències,...) així com les seves restriccions o rangs. A partir d'això trobar el punt globalment òptim (o un rang òptim) i definir els objectius i les variables que s'ha prioritzat en la solució escollida.
7. **Resposta a un disseny alternatiu:** Tenir un model energètic el suficientment robust que permeti avaluar com afecta als objectius de rendiment quan hi ha un canvi en la intervenció de l'edifici (Escenaris de rehabilitació, canvi climàtic,...). S'hauria d'incloure estimacions de cost per poder prendre decisions informades.

2.4 Definició del full de ruta de la intervenció a l'edifici

Amb la informació disponible en els punts anteriors cal determinar en quina prioritat es troba la substitució o incorporació d'equips de generació tèrmica en la rehabilitació energètica de l'edifici.

En el cas d'haver realitzat una auditoria de nivell preliminar, la informació disponible pot permetre detectar petites intervencions que suposin un cost-benefici elevat i que per tant poden ser més prioritàries que una substitució dels equips de generació tèrmica. Un cop realitzades aquestes actuacions es proposa un seguit de consideracions genèriques que poden servir d'orientació per qualsevol edifici i que permeten adreçar el repte de climatitzar de manera eficient en el parc d'edificis que ja està construït.

Quan la decisió presa consisteix en una intervenció sense afectacions a l'interior de l'edifici, per tant no s'intervé en la ventilació, el condicionament de l'aire, els elements terminals o la rehabilitació, es proposa:

1) Substituir calderes per bombes de calor

Aquest enfocament consisteix en substituir el generador existent amb combustible fòssil per una bomba de calor, mantenint els emissors i la distribució interior existent. Aquesta actuació que tindria un impacte molt rellevant en la descarbonització i electrificació de l'equipament va condicionada a que molt probablement s'ha de dissenyar una instal·lació que produeixi aigua a temperatures equivalents a la caldera de combustible fòssil (60 - 80 °C) i això comportarà que no sigui tan eficient com si es fes un replantejament del sistema modificant els emissors existents o canviant l'estratègia de climatització per una adequada a treballar a més baixa temperatura. A la pràctica això comporta que la bomba de calor requereixi més potència tèrmica instal·lada (i per tant potència elèctrica) i menor potencial d'estalvi econòmic. Per altra banda aquestes actuacions que no canvien els subsistemes de climatització interiors (ni unitats interiors ni circuits hidràulics) només es veuen obligades a actualitzar la instal·lació al RITE a la sala tècnica i en tot allò referent als generadors (per exemple, comptadors d'energia), però no necessiten incloure actualitzacions més exigents (per exemple, la ventilació mecànica).

En qualsevol altra situació:

2) Incorporar la ventilació i el condicionament de l'aire

Aquells edificis que actualment no disposin d'un sistema mecànic de renovació de l'aire interior són candidats a incloure'l per tal de complir les exigències normatives actuals. En el moment en què es modifiquin les instal·lacions interiors (nous circuits hidràulics, noves unitats interiors...), la ventilació dels espais ocupats esdevé necessària independentment de la font generadora.

Disposar de ventilació mecànica, és una oportunitat per millorar les condicions de confort tèrmic (humitat, temperatura,...) però també per millorar les condicions de la qualitat de l'aire en benefici de les persones que l'utilitzen (nivells de CO₂, olors...).

Una reforma per incorporar ventilació mecànica és un procés que pot ser complicat i costós per les implicacions d'espai que comporta, però es considera necessari en el procés de descarbonitzar els equipaments tèrmics d'edificis amb potencial de rehabilitació. A més, promou utilitzar recuperadors de calors i incorporar sistemes de refredament gratuït.

3) Climatitzar a través de la ventilació

Aprofitar el nou sistema de ventilació per climatitzar l'aire (tant en fred com en calor) és una estratègia per optimitzar la intervenció als edificis. Ara bé, en edificis existents amb força demanda tèrmica, aquesta actuació es fa complementàriament als sistemes terminals existents i permet cobrir una part de la càrrega sensible, depenent del cabal i la temperatura de subministrament. Aquesta consideració planteja alguns reptes que cal abordar: Falta d'espai pel pas de

conductes, cabals d'aire elevats que provoquin sorolls, etc. És convenient de tenir en compte les consideracions de disseny tèrmic pertinents en el moment de realitzar el projecte executiu.

4) Ús combinat dels elements terminals

En un primer moment es pot seguir la següent estratègia: a l'hivern, els radiadors existents cobreixen la càrrega base i la ventilació cobreix la càrrega de renovació i equilibrat. A l'estiu la ventilació cobreix la major part de la càrrega sensible i es complementa amb els equips existents. La refrigeració sovint pot ser insuficient, i en cas que no hi hagi sistemes existents i la ventilació no cobris la demanda, caldria incorporar ventiloconvectors. En qualsevol cas, reduir la temperatura d'impulsió (sempre que els elements terminals ho permetin) es tradueix en una millor eficiència de la instal·lació. Idealment, tot i la inversió inicial elevada, es podria substituir les unitats terminals existents (radiadors per calefacció) per ventiloconvectors compatibles amb la incorporació d'una bomba de calor.

5) Rehabilitació de l'envolupant tèrmica i sistemes energètics més eficients

La rehabilitació dels edificis existents suposa una millora del confort dels usuaris, en millora la demanda energètica i es redueix la potència tèrmica dels equips generadors de calor. En algunes situacions, la climatització podria ser coberta únicament per la ventilació, en d'altres, es podria aprofitar les reformes a l'edifici per emplaçar ventiloconvectors com a substitució dels elements terminals existents (radiadors d'alumini) per millorar el rendiment de la instal·lació i el confort tèrmic.

Una rehabilitació integral contempla una millora total de l'edifici, actuant sobre l'envolupant tèrmica, la il·luminació, la millora de la qualitat de l'aire i la substitució dels sistemes tèrmics.

En el cas d'haver realitzat una auditoria de nivell complet, caldrà tenir en compte com s'incorporen algunes de les consideracions anteriorment descrites en el full de ruta de la intervenció de l'edifici.

En el cas d'haver realitzat una auditoria de nivell avançat, ja es disposarà d'aquest full de ruta amb una visió holística, tant dels sistemes de climatització, com la millora de l'envolupant tèrmica, il·luminació, etc.

2.5 Avaluació del context urbà

De la mateixa manera que cal realitzar una auditoria energètica a cada edifici per situar en quin lloc de la rehabilitació de l'edifici es troba l'electrificació renovable i eficient dels sistemes generadors d'energia tèrmica, cal també mirar en quin context urbà es troba l'edifici auditat per escollir la millor tecnologia de climatització.

Com més estable i constant sigui la temperatura de la font externa més eficient serà el sistema, es podria situar la bomba de calor geotèrmica o hidrotèrmica com la primera opció a considerar, en comparació a la bomba de calor aerotèrmica.

Les instal·lacions geotèrmiques i hidrotèrmiques requereixen d'una infraestructura més gran i disposar de més espai a l'exterior de l'edifici que les instal·lacions aerotèrmiques, tot i que posteriorment no causa impacte visual ni acústic. Aquest increment en la inversió inicial, es probable que no justifiqui la millora de l'eficiència energètica si es plantegen com a solucions individuals per l'edifici. Ara bé, si aquestes instal·lacions es plantegen associades a una xarxa de districte per calor i fred, s'obté un benefici econòmic i energètic per l'edifici i pel conjunt d'edificis que se'n puguin beneficiar, amb un cost anivellat de l'energia (LCOE en anglès) més favorable que en qualsevol altra tecnologia.

En cas que l'equipament estigui situat en un context urbà amb altres edificis (residencials o terciaris) es pot plantejar la opció de realitzar una xarxa de districte. En aquest cas caldrà:

- 1) Avaluar la disponibilitat d'espai exterior disponible i obtenir el potencial de càrrega i demanda tèrmica, geotèrmic i hidrotèrmic (si aplica).
- 2) Disposar de la demanda i càrrega tèrmica dels edificis propers en un context de rehabilitació, així com usos tèrmics residuals que es puguin reaprofitar. Si es disposa de la informació horària es pot valorar la no simultaneïtat d'usos tèrmics que n'afavorirà la seva viabilitat.
- 3) Identificar altres factors rellevants com la longitud de la xarxa, les característiques del subsol, la possibilitat d'emmagatzematge tèrmic, subvencions disponibles, etc.

No hi ha un valor de densitat energètica llindar a partir del qual és més interessant una xarxa de districte que una solució individual. Mentre que és preferible que la xarxa de districte utilitzi fonts més estables com la geotèrmia i la hidrotèrmia, també es pot complementar amb aerotèrmia per cobrir pics de potència o quan les demandes de calor i fred estan molt descompensades.

En aquestes xarxes de districte caldrà adreçar el model de governança que se'n deriva: ESE, concessió, consorci, acords de connexió.

En cas que es descartin les opcions anteriors, es recomana la instal·lació d'una bomba de calor aerotèrmica individual. Aquesta requereix instal·lar un equip exterior que serà visible a la façana, pati o coberta de l'edifici, el qual emetrà calor, vibracions i soroll. Per exemple en edificis aïllats del context urbà o quan no es disposi d'espai per realitzar els sondatges geotèrmics o hidrotermics doncs no tindria sentit plantejar una xarxa de districte i la instal·lació seria més econòmica a nivell individual que la geotèrmia o la hidrotèrmia, son motius per decantar-se per la aerotèrmia individual.

2.6 Projecte executiu

El projecte executiu és el document de referència per detallar tècnicament les intervencions que caldrà fer en el procés de descarbonitzar i electrificar els equips municipals.

Es descriuen les parts que podria tenir el document i es referencia en quina part de la guia se'n detallen els continguts.

Memòria descriptiva

L'objectiu d'aquesta part es posar en context l'actuació a realitzar i poder quantificar l'impacte energètic, econòmic, ambiental, social i de confort de l'equipament. L'extracció d'aquestes dades es pot obtenir amb l'inventari de sistemes de generació tèrmica (seguint el que es descriu a l'apartat 2.1) i els indicadors de prioritat (comentats a l'apartat 2.2).

A més, en disposar de dades energètiques bàsiques es pot realitzar un anàlisi energètic de nivell preliminar previ a una auditoria energètica que reflecteixi l'estat actual de l'edifici, descrit a l'apartat 2.3. La informació es pot extreure de la comptabilitat energètica municipal o també pot ser proporcionada pel personal tècnic de les administracions locals.

Memòria tècnica

En aquest apartat es pot seguir l'esquema que es proposa al capítol 4 Criteris de disseny i l'auditoria completa (o avançada) que s'hi realitza:

- Càlcul de la demanda i càrregues tèrmiques per calefacció, refrigeració i ACS
- Elecció dels emissors i règim de funcionament
- Elecció de l'esquema per l'ACS
- Sistema de distribució i hidràulica
- Aspectes de contorn i condicionants previs
- Elecció i dimensionament de la bomba de calor
- Disseny de la sala tècnica, i emplaçament per a les unitats exteriors i interiors (si s'escau)
- Disseny i dimensionat del camp de sondes geotèrmiques (si s'escau)
- Elements de regulació i control

Adicionalment cal incloure:

- Anàlisi ambiental i econòmic del projecte (balanç d'estalvi energètic kWh, d'emissions en kg CO₂eq i econòmic en euros)
- Projecte elèctric en compliment al REBT
- Sol·licitud d'ampliació de potència elèctrica (si s'escau)
- Pressupost i amidaments. Inclouent un apartat on es reculli una proposta de finançament (apartat 2.7)
- Plànols i esquemes
- Plec de condicions tècniques complint la normativa descrita a l'apartat 3.4

- Estudi de seguretat i salut
- Pla de manteniment
- Assaigs i posada en marxa

2.7 Finançament

El finançament és un aspecte clau a l'hora de desenvolupar projectes. De la mateixa manera que qualsevol altre projecte, es recomanable disposar d'un dossier financer, o un document que reculli la viabilitat econòmica i financera del projecte. A més pot servir per presentar indicadors comparatius entre altres projectes de transició energètica i que permetin a les administracions públiques prioritzar actuacions de la mateixa tipologia. Es comentaran alguns indicadors que podrien constar al dossier financer i alguna de les fonts de finançament més habituals per la tipologia de projectes que recull aquesta guia.

Dossier financer

Del projecte executiu s'hauria de disposar com a mínim de la següent informació:

- **Costos d'inversió (CAPEX):** Que reflecteixi el cost d'instal·lar i posar en funcionament. Aquest valor dependrà del que s'hagi descrit a l'apartat de pressupost del projecte executiu.
- **Costos d'operació (OPEX):** Que reflecteixi el que costa fer funcionar la instal·lació. Aquest valor dependrà de la demanda tèrmica anual real, el rendiment estacional, les condicions d'operació, els preus de l'energia i els preus del terme fix de potència en cas que s'hagi ampliat, el manteniment preventiu i correctiu, les inspeccions reglamentàries o altres despeses d'operació.

A més a més, un indicador que és molt utilitzat per comparar tecnologies és el *Life Cycle Cost* (LCC) que en funció d'un horitzó d'anàlisi concret (15 anys per exemple) recull tot el que costa al llarg del temps un projecte, per tant suma els costos d'inversió, d'operació, renovacions i valor residual al final del període estudiat. És important mencionar que a mesura que passi el temps el rendiment estacional pot anar disminuint per la degradació de la bomba de calor.

A nivell financer caldrà tenir en compte quina és la taxa de descompte i la taxa d'inflació i com afecta als costos energètics i d'operació. És habitual presentar els següents indicadors.

- **Taxa interna de retorn (TIR):** Per conèixer la rendibilitat del projecte. El projecte és atractiu si la TIR és superior a la taxa de descompte nominal (cost del capital) definida per l'organització.

- **Valor Actual Net (VAN):** Per conèixer la viabilitat econòmica del projecte. És un indicador que mesura el valor econòmic del projecte com la suma dels fluxos de caixa anuals descomptats a valor present mitjançant una taxa de descompte (cost del capital o taxa mínima requerida). Si el VAN és positiu, el projecte es considera econòmicament viable per a la taxa de descompte considerada.
- **Període de retorn:** Per conèixer l'any a partir del qual la inversió inicial ha estat amortitzada.

A més, es proposen els següents indicadors per comparar projectes de transició energètica:

- **Cost del projecte/kWh final estalviats [€/kWh]:** És un indicador que reflexa el cost-efectivitat energètic.
- **Cost del projecte/tCO₂ evitades [€/tCO₂]:** És un indicador que reflexa el cost-efectivitat climàtic.

El cost del projecte es pot determinar com el LCC (molt útil per comparar diferents tecnologies), però també la realitat immediata (CAPEX o CAPEX menys les subvencions a la inversió). Cal apuntar que aquests indicadors no reflecteixen els beneficis que no són energètics ni climàtics (millora de confort, impacte social,...)

Mecanismes de finançament de la inversió

Hi ha diferents fonts de finançament, des de la més òbvia, disposar de recursos propis, fins a la cerca de fons provinents d'altres institucions.

1) Fons propis:

Si el sistema a substituir és obsolet l'ens ja ha de disposar d'una partida específica per a fer aquest canvi. A les partides d'inversió dels pressupostos municipals, prioritant-les com a projectes estratègics de descarbonització, renovació d'instal·lacions i millora del confort dels equipaments. Aquest enfocament facilita, a més, l'agrupació d'actuacions (per tipologies d'edificis o per fases) i la planificació pluriennal.

2) Subvencions a la inversió (ajuts i programes públics)

Les actuacions amb bomba de calor es poden emmarcar en convocatòries d'eficiència energètica i energies renovables (reducció de consum i electrificació de la generació tèrmica), com també en línies d'adaptació al canvi climàtic (resiliència i confort tèrmic en episodis de calor/fred), descarbonització i electrificació, rehabilitació d'edificis, digitalització i gestió energètica (monitoratge, control i optimització), o en programes de regeneració urbana i cohesió social (p. ex. plans de barris).

En actuacions integrals, la bomba de calor també pot formar part de projectes de **xarxes de calor i fred de districte**, i contribuir a objectius de **modernització del parc d'instal·lacions municipals i dinamització de l'economia local**. En aquest sentit, les oportunitats associades a l'electrificació poden servir de referència per identificar l'encaix més adient.

Les subvencions a la inversió solen estar publicades a la web del *Ministerio de Transición Ecológica* (MITECO), al *Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético* (IDAE) o a l'Institut Català de l'Energia (ICAEN).

Diputació de Barcelona disposa de diferents ajudes. En cada mandat els ens locals disposen dels fons del Pla General d'Inversions (PGI). A banda poden haver d'altres convocatòries ja siguin com a plans sectorials del PGI (per exemple el Programa Renovables 2030) o com a recursos de catàleg.

3) Ingressos vinculats a estalvis energètics (monetització de l'estalvi)

Els **Certificats d'Estalvi Energètic (CAE)** es un nou sistema de monetització dels estalvis, vigent a l'estat espanyol del gener del 2023. Aquests permeten obtenir ingressos quan l'actuació comporta una reducció demostrable del consum d'energia final. En el cas de substitució d'equips de generació tèrmica per bomba de calor, existeixen fitxes específiques (per exemple, *TER040: Sustitución de generador de climatización por bomba de calor de accionamiento eléctrico*), o en actuacions com podria ser la integració en una xarxa de calor es requereix de la realització d'una fitxa singular. Com a suport, la guia "[Transmisión y Monetización Del Ahorro Energético En El Sector Público](#)" descriu el mecanisme i el seu encaix en projectes del sector públic. La Diputació de Barcelona ha elaborat una guia per informar als municipis dels primers passos a seguir.

Destacar que aquests ingressos son compatibles amb les subvencions mencionades anteriorment, tot i així, la suma dels ingressos obtinguts mitjançant transmissió d'estalvis i la subvenció no podrà superar el 100 % de la inversió (referint-se a l'article 19.3 de la Llei General de Subvencions).

4) Empreses de Serveis Energètics (ESE) i contractes de rendiment energètic

Les ESE són empreses especialitzades en optimitzar i reduir el consum i el cost energètic mitjançant actuacions d'eficiència i descarbonització. Habitualment operen a través de contractes de rendiment energètic, on assumeixen part del risc i estableixen garanties d'estalvi. Aquest model pot ser especialment útil quan es vol accelerar la inversió, professionalitzar l'operació i manteniment i assegurar resultats energètics verificables al llarg del temps.

2.8 Desplegament del projecte

Un cop assegurat el finançament i amb l'abast de la intervenció definit al projecte executiu, l'administració ha de garantir que l'actuació s'executa correctament i que la nova instal·lació queda operativa, legalitzada i ben gestionada. A continuació es recullen les principals consideracions per a cada fase del desplegament:

2.8.1 Licitació

Sempre que sigui possible, es recomana licitar amb un enfocament “clau en mà”, de manera que el contractista assumeixi la coordinació global i simplifiqui la gestió per a l'administració. En els plecs convé diferenciar clarament entre obligacions del contracte i requisits de solvència.

Obligacions del contracte

- Execució completa de l'obra i de les instal·lacions, d'acord amb el projecte, incloent-hi la legalització i la documentació final d'obra (RITE i REBT, si escau), per al seu lliurament al promotor.
- Gestió amb la companyia elèctrica de l'ampliació de potència (si aplica) i coordinació amb el responsable de l'equipament per minimitzar afectacions i possibles talls de servei.
- Tramitació o suport documental en aquells processos que ho requereixin (p. ex. Certificats d'Eficiència Energètica (CEE) i Certificats d'Estalvi Energètic (CAE) quan pertoqui).
- Posada en funcionament coordinada amb la direcció facultativa i el gestor de l'equipament, amb proves i verificacions.
- Formació d'ús i manteniment de la nova instal·lació, diferenciant entre formació per al gestor de l'equipament i per al personal de manteniment.

És important que l'administració defineixi explícitament als plecs qui assumeix cada gestió (tramitacions, taxes, inspeccions, etc.) per evitar buits de responsabilitat.

Solvència tècnica i professional del contractista

Per assegurar una execució correcta, és recomanable exigir solvència específica, com ara:

- **Experiència acreditable:** Haver executat amb èxit instal·lacions similars (tecnologia i rang de potència) en els últims 5 anys, amb certificats de bona execució.
- **Habilitació i registres:** Disposar del Registre d'Agents de la Seguretat Industrial de Catalunya, conegut com a RASIC, o registre equivalent si és de fora de Catalunya, en els àmbits que requereixi el projecte: instal·lacions tèrmiques, instal·lacions elèctriques de categoria especialista, entre d'altres.
- **Classificació/categoria empresarial** adequada a la tipologia de instal·lació/obra quan sigui exigible o recomanable pel tipus de contracte.
- **Capacitat de posada en funcionament:** Disposar de personal qualificat per a la parametrització de controls, equilibrat hidràulic, verificació de cabals, i integració amb sistema de gestió si existeix.

2.8.2 Execució i Direcció Facultativa

Durant l'execució és clau una coordinació fluida entre contractista, direcció facultativa i promotor:

- **Contractista:** Executa l'obra conforme a projecte i aporta planificació, pla de treball, Prevenció de Riscos Laborals (PRL), gestió de residus i coordinació de talls o afectacions amb el gestor de l'equipament.
- **Direcció facultativa:** Realitza el seguiment d'obra i el control tècnic i documental segons els plecs i la normativa aplicable.
- **Promotor:** Garanteix la coordinació amb l'ús de l'edifici i facilita la presa de decisions quan sorgeixin incidències o canvis justificats.

2.8.3 Posada en funcionament i manteniment

En aquesta fase es recomana:

- Fer una posada en marxa estructurada, amb actes de proves, i participació d'instal·lador, direcció facultativa i el gestor de l'equipament. A la guia de l'IDAE "[Puesta en marcha de instalaciones segun RITE](#)" s'indiquen algunes comprovacions i mesures a realitzar en la posada en funcionament. Els 5 punts crítics són: l'equilibrat hidràulic, la verificació de salts tèrmics, el purgat d'aire, la configuració de la corba climàtica i la verificació de cabals mínims.
- Executar i documentar les proves normatives i de recepció (RITE, REBT i les inspeccions que pertoquin).
- Entregar un pla de manteniment segons la Instrucció Tècnica 3 del RITE. En aquest aspecte la guia de l'IDAE "[Mantenimiento de instalaciones térmicas](#)" pot servir de document de referència.
- Activar la garantia un cop formalitzada la recepció de l'obra i lliurada la documentació final.
- Inclusió del manteniment preventiu i correctiu de la nova instal·lació als plans de la brigada municipal o al servei municipal externalitzat o fer la licitació pertinent

2.9 Assoliment d'objectius

Per comprovar que la instal·lació funciona correctament i que s'assoleixen els estalvis i prestacions previstos, es recomana disposar d'un conjunt mínim d'indicadors que permetin comparar el funcionament real amb el que estableixen l'auditoria energètica i/o el projecte executiu. Com a mínim, convé recollir:

- **Energia final anual (kWh elèctrics):** Preferentment a partir d'un mesurador dedicat a la sala tècnica o als equips de generació.

- **Energia tèrmica útil (kWh tèrmics):** Mitjançant comptadors d'energia i, si no n'hi ha, a partir de les temperatures d'impulsió i retorn i del cabal d'aigua registrat.
- **Emissions associades al funcionament:** Estimació de les emissions derivades del consum elèctric (segons el factor d'emissió aplicable).
- **Despesa econòmica:** Cost real d'energia i, si escau, costos d'operació vinculats a l'explotació de la instal·lació.
- **Rendiment estacional real:** Càlcul del rendiment estacional (p. ex. SPF/COP estacional) a partir de les dades disponibles d'energia elèctrica consumida i energia tèrmica útil produïda.
- **Incidències i avaries:** registre d'alarmes, aturades, intervencions de manteniment i queixes d'usuari, per detectar problemes de funcionament o de regulació.
- **Confort i qualitat de l'aire interior:** quan es disposi de dades, seguiment del percentatge d'hores en què no s'han complert les consignes de temperatura, humitat i/o els criteris de qualitat de l'aire.

Aquest conjunt d'informació permet validar el funcionament, identificar desviacions i definir mesures de millora (ajustos de regulació, consignes, manteniment o optimització de l'operació).

3

Electrificar la climatització i l'aigua calenta sanitària (ACS)

La principal tecnologia per descarbonitzar i electrificar les necessitats de climatització dels edificis són les bombes de calor.

En aquest capítol es desenvolupa el següent contingut:

- Exposar els fonaments de funcionament de les bombes de calor, així com presentar-ne la seva classificació i els emissors més habituals amb els que treballen.
- Presentar els indicadors de rendiment i eficiència, així com factors que en condicionen el seu valor.
- Descriure el marc normatiu i requeriments reglamentaris per conèixer l'exigència de la normativa vigent.
- Descriure els principals criteris de disseny i límits tècnics a tenir en compte en instal·lacions de climatització amb bomba de calor.

3.1 Fonaments de les bombes de calor

La bomba de calor és una màquina tèrmica que, utilitzant un gas refrigerant en un cicle termodinàmic tancat, intercanvia calor d'un entorn natural com l'aire, l'aigua o la terra, a un edifici o un procés, invertint el flux natural de la calor, de manera que flueixi d'una font amb temperatura més baixa a una font amb temperatura més alta.

3.1.1 Principi termodinàmic

Els principals components del cicle frigorífic de compressió mecànica, en el que es basa la bomba de calor, determinen les quatre fases del cicle:

- **Evaporador:** El refrigerant entra líquid a baixa temperatura i pressió, rep calor del medi refredant-lo (aire, aigua, terra...) i s'evapora, passant a vapor.
- **Compressora:** Aspira el vapor de l'evaporador i el comprimeix, augmentant-ne la pressió i la temperatura perquè pugui continuar el circuit.
- **Condensador:** El refrigerant arriba com a vapor calent i a alta pressió, cedeix calor al medi escalfant-lo i es condensa, tornant a estat líquid.
- **Vàlvula d'expansió:** regula la quantitat de refrigerant líquid que passa al costat de baixa pressió (evaporador), provoca una caiguda de pressió i deixa el refrigerant en mescla líquid-vapor, preparat per tornar a començar el cicle.

En el cas de bombes de calor reversibles, poden fer fred o calor invertint el cicle frigorífic mitjançant una vàlvula de 4 vies que permet que el refrigerant circuli en un sentit o l'altre, i invertir el flux calor entre l'exterior i l'interior. En aquest cas, cadascun dels intercanviadors de calor actua com a evaporador o com a condensador en funció del mode de funcionament. En mode refrigeració, l'evaporador serà

l'intercanviador situat a l'espai interior i el condensador situat a l'exterior i, en mode calefacció, serà de manera inversa. Habitualment el costat del medi dissipador se l'anomena evaporador, i el costat de l'edifici s'anomena condensador.

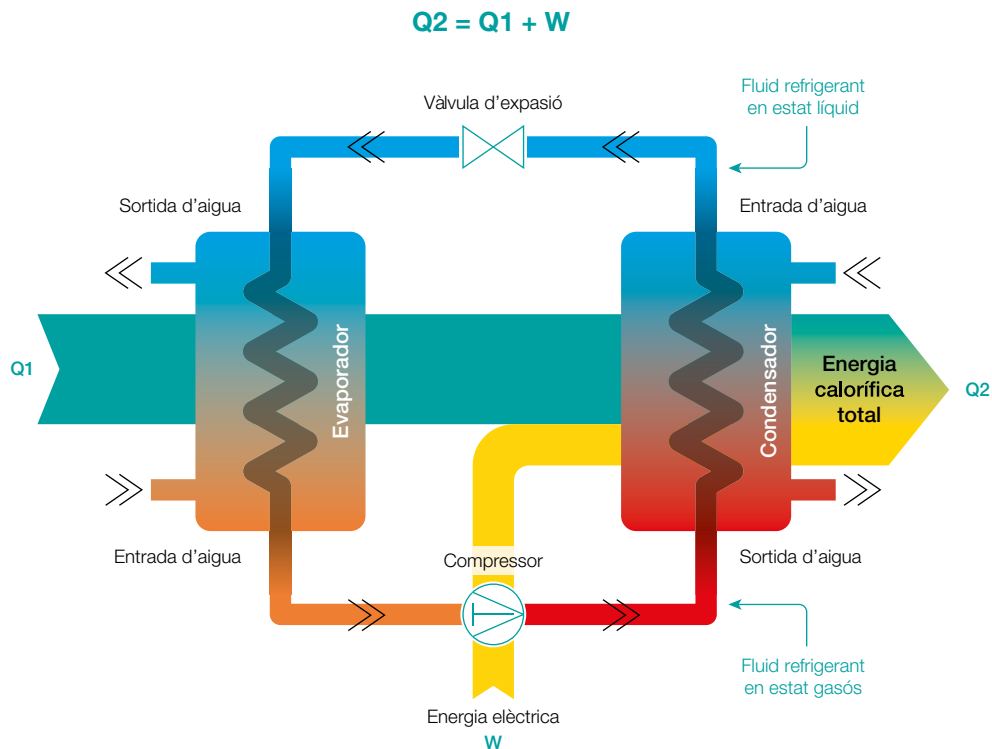


Fig. 7 Cicle frigorífic de compressió per a calefacció, bomba de calor aigua-aigua. Font: IDAE

Analitzant la figura que descriu el cicle frigorífic de la bomba de calor en mode calefacció, s'observa que Q_2 representa el flux de calor que rep l'edifici per calefacció, Q_1 el flux d'energia renovable extreta del medi i W l'energia elèctrica consumida que es converteix en treball de compressió i s'aprofita en forma de calor junt amb Q_1 ($Q_2=Q_1+W$). En cas d'invertir el cicle, seria Q_1 el flux de calor extret de l'edifici per refredar-lo, i Q_2 el flux dissipat al medi ($Q_1=Q_2-W$).

3.1.2 Tipologies de bomba de calor

De forma general es poden classificar segons :

- 1) **El tipus de fluid o medi amb què la màquina intercanvia calor.** Indicant primer l'exterior (aire o aigua), seguit de l'interior a (aire o aigua). Les configuracions més habituals són:
 - **Aire-aire:** En aquest grup es troben les bombes de calor aerotèrmiques amb circuits de refrigerant unint la unitat exterior amb la interior: sistemes partits (splits) i bombes de calor de volum variable de refrigerants (VRV), i equips compactes que distribueixen per conducte (*rooftop*), etc.
 - **Aire-aigua:** En aquest grup es troben les bombes de calor aerotèrmiques que s'integren amb sistemes de distribució de calor basats en aigua com terra radiant, radiadors, ventiloconvectors (*fancoils*), unitats de tractament d'aire (UTA), sostres i panells radiants, radiadors de baixa temperatura, etc.

- **Aigua-aigua:** En aquest grup es troben les bombes de calor geotèrmiques i hidrotèrmiques que s'integren amb sistemes de distribució de calor basats en aigua com les bombes de calor aire-aigua.

2) La naturalesa del medi amb què intercanvien calor amb l'exterior:

- **Bombes de calor aerotèrmiques:** Intercanvien el calor de l'energia continguda en l'aire ambient.
- **Bombes de calor geotèrmiques:** Intercanvien el calor de l'energia del subsol.
- **Bombes de calor hidrotèrmiques:** Intercanvien el calor de l'energia que tenen les aigües superficials (llacs, mars, rius, depuradores...) o subterrànies.

3) Segons la construcció de l'equip:

Aquesta classificació fa referència a com es distribueixen els components (circuit frigorífic i circuit hidràulic) i la ubicació de cada component..

- **Equips partits (split):** són bombes de calor aerotèrmiques, on l'equip es divideix en unitat exterior (compressor, ventilador i intercanviador amb l'aire) i unitat interior. Ambdues unitats es connecten amb canonades d'impulsió i retorn de refrigerant (una canonada per la fase gas i l'altra per la fase líquida). Es denominen *multisplit* quan una mateixa unitat exterior té varies unitats interiors. La bomba de calor aprofita el canvi de fase del fluid refrigerant per moure grans quantitats de calor amb petits cabals, per això les canonades són de diàmetres molt inferiors als dels sistemes d'aigua.
- **Equips compactes (monobloc):** El circuit frigorífic queda totalment dins la unitat. En bombes de calor aire-aigua habitualment es situen a l'exterior i el que es connecta fins a l'edifici és aigua (impulsió/retorn), això simplifica la instal·lació frigorífica perquè no es manipula refrigerant in situ. En aire-aire son equips anomenats *rooftop* situats a l'exterior amb impulsió d'aire per conductes cap a l'edifici. Les bombes de calor aigua-aigua (geotèrmia o hidrotèrmia) sempre són equips compactes i s'instal·len a l'interior, amb els bescanviador refrigerant-aigua de l'evaporador i condensador connectats als circuits d'aigua de pous i circuit d'aigua de climatització.

4) El mode d'operació:

- **Bombes calor només per calefacció:** Quan l'edifici no necessita refrigeració o aquesta es resol d'una altra manera i es prioritza la simplicitat i una corba d'operació optimitzada per hivern
- **Bombes de calor per ACS, calefacció i refrigeració:** Quan els equips tenen demanda estacional de fred i calor i a més es vol proporcionar ACS amb el mateix equip. En aquests casos cal veure la prioritat que se li dona a l'ACS respecte la calefacció i refrigeració i la simultaneïtat de refrigeració i calefacció en el mateix edifici.

- **Bombes de calor només per ACS:** Quan només cal produir ACS o es vol desacoblar la seva producció de la climatització per operació independent, horaris, o per no penalitzar l'eficiència del sistema principal.

3.1.3 Tipologies d'emissors

A continuació es descriuen els emissors interiors els quals fa referència aquesta guia que són compatibles amb bombes de calor:

- **Terra radiant:** És un sistema d'emissió de baixa temperatura que consisteix en una xarxa de tubs instal·lats sota el paviment per on circula aigua. Es caracteritza per la seva alta inèrcia tèrmica i baixes temperatures d'impulsió en calefacció (30-40 °C) i altes en refrigeració (15-20 °C).
- **Ventiloconvectors (fancoils):** Són unitats que integren un ventilador i un intercanviador de calor (bateria) per on circula l'aigua. Es caracteritzen per la seva baixa inèrcia tèrmica, permetent un condicionament de l'espai molt ràpid en comparació amb el terra radiant. Poden servir per fred i calor. Poden ser de diversos tipus: de sostre, de paret, de conductes o encastat a sostre (**cassette**).
- **Radiadors de baixa temperatura:** Són emissors que, tot i assemblar-se als radiadors convencionals, incorporen ventiladors interiors de molt baix consum per forçar la convecció. Això els permet lliurar una potència tèrmica elevada treballant amb aigua a temperatures més baixes (com ara 55 °C), optimitzant el rendiment de la bomba de calor.
- **Radiadors convencionals:** Estan dissenyats originalment per treballar a alta temperatura (70-80 °C) amb calderes de combustió. En una rehabilitació amb bomba de calor, si es mantenen aquests emissors, cal tenir en compte que la seva emissió tèrmica disminueix notablement en baixar la temperatura d'impulsió, cosa que pot requerir augmentar el nombre d'hores de funcionament o altres solucions.
- **Aerotermos:** Encara que el terme s'utilitza sovint per referir-se a bombes de calor per a ACS, en el context d'emissors es refereix a unitats de calefacció per convecció forçada de gran potència, habitualment utilitzades en grans espais. Permeten una producció tèrmica constant fins i tot en condicions exteriors desfavorables.
- **Splits d'aire:** Són la unitat interior de sistemes de bomba de calor aire-aire (també anomenats d'expansió directa) on l'intercanvi de calor es realitza directament entre el gas refrigerant i l'aire de la zona tèrmica a climatitzar. Són unitats independents que poden proporcionar calefacció a l'hivern i refrigeració a l'estiu de forma directa i ràpida. Es componen d'un mòdul amb bescanviador refrigerant-aire, un ventilador i electrònica de control.
- **Splits d'aigua:** Són la unitat interior de sistemes de bomba de calor aire-aigua on l'intercanvi de calor es realitza directament entre el gas refrigerant i l'aigua del circuit de climatització o l'ACS. Es componen d'un bescanviador

refrigerant-aire i, habitualment, bomba hidràulica, accessoris hidràulics (vàlvules, vas d'expansió...) i electrònica de control. Solen formar part d'una solució domèstica de bomba de calor.

- **UTA (Unitat de Tractament d'Aire) amb bateries:** Són sistemes centralitzats que utilitzen bateries d'aigua per escalfar o refredar l'aire que després es distribueix mitjançant conductes per tot l'edifici. S'utilitzen principalment en grans instal·lacions on cal gestionar cabals d'aire importants i garantir la qualitat de l'aire interior. Solen incorporar sistemes de recuperació de calor, i també poden controlar la humitat.

3.2 Rendiment i eficiència

L'eficiència energètica de la bomba de calor en una instal·lació depèn d'un seguit de factors que es descriuen a continuació.

3.2.1 Indicadors de rendiment

A continuació s'exposen els indicadors més habituals que es poden trobar en fitxes tècniques de les bombes de calor:

- **COP (Coefficient of Performance):** Indica el rendiment instantani de la bomba de calor segons quanta energia tèrmica (en calefacció) lliura respecte a l'energia elèctrica que consumeix en unes condicions determinades de demanda i temperatura del medi. El COP nominal de les màquines s'assaja de manera estandarditzada en base a unes normes UNE, per una temperatura del medi i una temperatura d'impulsió determinades.

$$\text{COP} = \text{Potència tèrmica útil per calefacció} / \text{Potència elèctrica absorbida (kW/kW)}$$

- **SCOP (Seasonal Coefficient of Performance):** És el COP mitjà al llarg d'una temporada de calefacció. Té en compte les variacions de temperatura exteriors i les diferents condicions reals de funcionament, així com el consum en mode actiu, mode espera, mode desactivat, amb l'escalfador de suport, etc. El SCOPnet, és una variant del SCOP on només s'inclou el consum elèctric en mode actiu. L'SCOP estàndard d'una bomba de calor es calcula segons normes UNE de referència en base a tres patrons de condicions climàtiques normalitzades (fred, mitjà i càlid) i unes temperatures d'impulsió determinades.

$$\text{SCOP} = \text{Energia tèrmica útil per calefacció} / \text{Consum elèctrica requerit (kWh/kWh)}$$

- **EER (Energy Efficiency Ratio):** Equivalent al COP però en refrigeració. Mesura la relació entre l'energia frigorífica subministrada i l'electricitat consumida en condicions de prova concretes.

$$\text{EER} = \text{Potència frigorífica útil} / \text{Potència elèctrica absorbida (kW/kW)}$$

- **ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio):** Equivalent al SCOP, però aplicat al refredament estacional. És la mitjana ponderada de l'EER en diferents càrregues i condicions reals d'ambient. Dona una visió més ajustada del comportament de la bomba de calor en refrigeració.

$$\text{ESEER} = 0,03 \cdot \text{EER}_{100\%} + 0,33 \cdot \text{EER}_{75\%} + 0,41 \cdot \text{EER}_{50\%} + 0,23 \cdot \text{EER}_{25\%}$$

- **Eficiència energètica estacional:** Serveix per comparar l'eficiència de diferents tecnologies amb un mateix criteri, tenint en compte l'ús de l'energia primària (no només l'energia final consumida) i uns factors de correcció que no es reflecteixen en rendiments instantanis o estacionals simples. En els equips amb etiqueta energètica, aquesta eficiència estacional és la que s'utilitza per determinar la classe energètica (A, A+, A++, A+++), etc.).
- **SPF (Seasonal Performance Factor):** És un factor de rendiment estimatiu, utilitzat exclusivament per acreditar l'aprofitament net d'energia renovable en bombes de calor que expressa la relació entre l'energia tèrmica útil i l'energia consumida durant un període representatiu (habitualment un any). Els mètodes de càlcul acceptats són:

- 1) Certificat del fabricant (mètode preferent): El valor d'SPF s'acredita mitjançant el SCOP_{net} obtingut segons assaig normalitzat (EN 14825).
- 2) Quan no es disposa de dades del fabricant, al document reconegut pel RITE "[Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios](#)" es defineix una metodologia senzilla per estimar el SPF

$$\text{SPF} = \text{COP}_{\text{nominal}} \cdot \text{FP} \cdot \text{FC} (*)$$

(*) Els valors del factor de ponderació (FP) i del factor de correcció (FC) queden definits en el CTE segons les diferents zones climàtiques i la temperatura d'impulsió de la bomba de calor.

Es parla de rendiment estacional com una manera genèrica de fer referència al SCOP o SPF, és a dir, la mesura del rendiment de la bomba de calor o del sistema complet al llarg d'una temporada sencera (anual, estiu o hivern). Serveix per comparar el rendiment amb combustibles fòssils.

En l'ACS, el coeficient de rendiment estacional s'anomena SCOP_{DHW} i s'obté mitjançant un assaig de la bomba de calor en les condicions establertes a la Norma UNE-EN 16147 o mitjançant mètodes de càlcul reconeguts, com és el Mètode de prestacions mitjanes estacionals de les bombes de calor per a producció de calor en edifici.

3.2.2 Factors que condicionen el rendiment de la bomba de calor

Per maximitzar el rendiment d'una bomba de calor en edificis municipals cal tenir en compte:

La temperatura d'impulsió

Com més baixa és la temperatura d'impulsió en calefacció i més alta és la temperatura d'impulsió en refrigeració, millor serà el seu rendiment. De fet, com més s'apropi la temperatura d'impulsió a la temperatura de la font exterior el cycle frigorífic és més eficient. Per tant es recomana:

- Reduir la temperatura d'impulsió (en calefacció) sempre que es pugui: Els emissors interiors solen estar dissenyats per una temperatura d'impulsió i un cabal concret però en ocasions estan sobredimensionats i podrien proporcionar les mateixes necessitats impulsant a una temperatura més baixa. (per exemple si en una sala amb unes necessitats de 2 kW de calor a l'hivern tenim un radiador de 20 elements que amb impulsions de 70 °C dona 3 kW útils, si reduïm la temperatura d'impulsió a 50 °C i comprovem que poden entregar 2 kW segons la fitxa tècnica, es podria incrementar l'eficiència de la bomba de calor fins a un 25 %)
- Adequar la temperatura d'impulsió a la corba climàtica de l'edifici, de tal manera que en moments de l'any amb temperatures menys extremes, es pot reduir aquesta temperatura d'impulsió amb un bon control. Cal assegurar que el sistema de control canvia la consigna de producció de la bomba de calor en funció de la temperatura exterior, i que, per exemple, no funciona amb una consigna fixa del dipòsit d'inèrcia i una vàlvula mescladora posterior.
- En una rehabilitació, prioritzar emissors de baixa temperatura (p.e. ventilò-convector o terra radiant en comptes de radiadors)

A la següent figura es pot observar com l'SCOP anual de calefacció depèn molt de la temperatura d'impulsió (55 °C per radiadors o 35 °C per terra radiant), i també de si es fa un bon control (mitjançant ajust de la temperatura d'impulsió a la bomba de calor) o no (consigna constant).

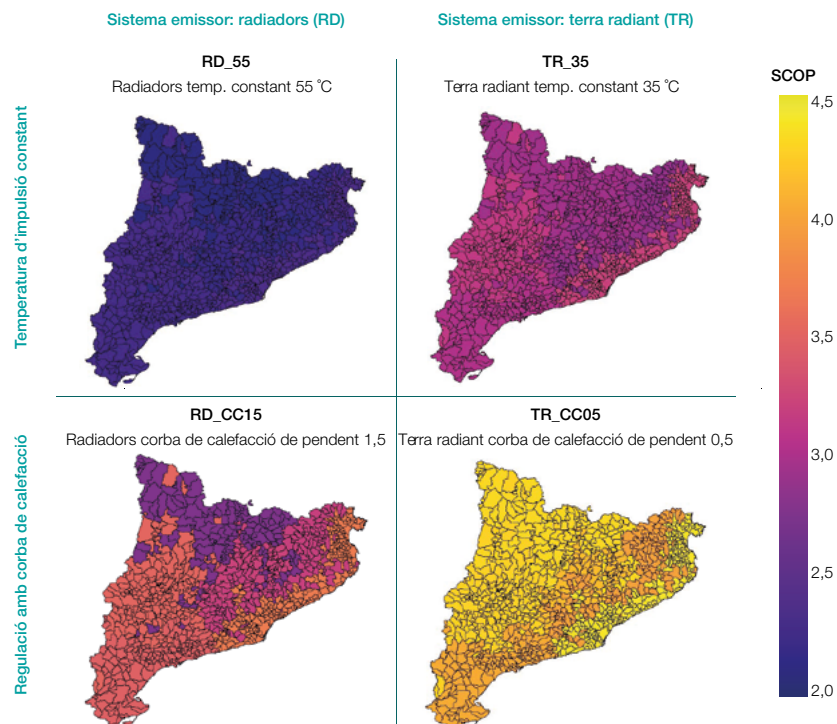


Fig. 8 Representació de l'SCOP en funció de les zones climàtiques de Catalunya per als 4 casos més extrems. Font: ICAEN

La temperatura de la font exterior

Seguint la mateixa lògica que el punt anterior, com més s'apropi la temperatura de la font exterior a la temperatura d'impulsió major serà el rendiment de la bomba de calor. Les bombes de calor aire-aire o aire-aigua estan subjecte a diferències més grans entre la temperatura de la font exterior i la temperatura d'impulsió, en comparació amb les bombes de calor aigua-aigua que treballen amb fonts més estables (subsòl, aigua subterrània,...) i tenen rendiments estacionals més alts. Per tant es recomana:

- Prioritzar bombes de calor aigua-aigua amb sondatges geotèrmics o aprofitament hidrotèrmic si es disposa d'una massa d'aigua que pugui actuar com a focus dissipador (llac, mar, aigua subterrània...)

La següent figura mostra el canvi del COP en funció de la temperatura exterior. Per qualsevol temperatura d'impulsió, el COP a 35 °C és 4 vegades més gran que a -20 °C.

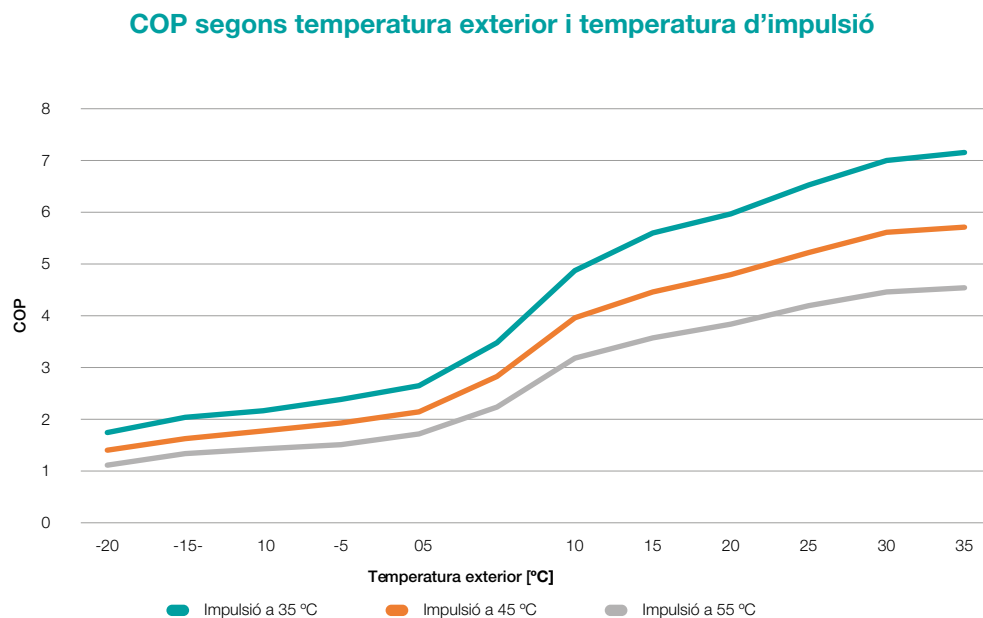


Fig. 9 Variació del COP d'una bomba de calor aire-aigua en funció de la temperatura exterior i de la temperatura d'impulsió a 35 °C, 45 °C o 55 °C en condicions UNE-EN 14511. Font: IDAE

Lligat a aquest apartat també cal alertar que en aquelles configuracions on es requereixi glicol com a seguretat per possibles glaçades, aquest afecta a la capacitat de transportar calor i augmenta la pèrdua de càrrega.

Emissors interiors i disseny del sistema

Si bé cada tipus d'emissor està dissenyat per una temperatura d'impulsió i un cabal concrets, el rendiment del sistema depèn també de com circula l'aigua pels circuits. Un sistema ben equilibrat permet treballar amb temperatures més baixes i millorar el rendiment. Per tant es recomana:

- Revisar l'equilibrat hidràulic, és a dir, ajustar el sistema perquè cada emissor rebi el cabal de disseny.

- Revisar si el salt tèrmic i el cabal són adequats.
- El dimensionament i posició dels intercanviadors.
- La presència de dipòsits d'inèrcia ben dimensionats per evitar cicles curts

Càrregues parcials i modulació

Donat que les bombes de calor passen la major part de l'any treballant a càrrega parcial, convé que el compressor pugui modular la potència (*inverter*), que no faci cicles curts d'engegada i parada i que la bomba de calor no estigui sobredimensionada. Per tant es recomana:

- Dimensionar la bomba de calor pensant en càrregues parcials, no només en el dia més fred de l'any.
- Utilitzar dipòsits d'inèrcia i control per corba climàtica per suavitzar el funcionament.
- Dividir la potència total en dues o més unitats permet una millor adaptació a càrregues molt baixes i augmentar la seguretat de servei. En sistemes múltiples, el control pot gestionar que una unitat desglaci la unitat exterior de manera alternativa amb l'altra unitat, evitant que tot el sistema deixi de donar calor simultàniament.

Control i regulació

La mateixa bomba de calor pot tenir millors rendiments depèn de com es controli. Aquest punt té a veure amb tot el que s'ha comentat en els punts anteriors, per tant es recomana:

- Ajustar la temperatura d'impulsió segons la temperatura exterior (corba climàtica)
- Ajustar les temperatures de consigna interior a valors més propers a la temperatura de la font exterior (19-21 °C en calefacció i 24-26 °C en refrigeració)
- Gestionar la ventilació i el refredament gratuït (*free-cooling*) doncs en moments on la temperatura de l'aire o la font exterior es baixa, es pot utilitzar per reduir les necessitats de funcionament de la refrigeració activa.

Tecnologia i configuració del sistema

Els sistemes centralitzats són aquells que disposen d'una única bomba de calor per donar cobertura en climatització a tot l'edifici. Aquests tenen una gestió energètica global més fàcil doncs es poden monitoritzar consums i optimitzar el funcionament des d'un únic lloc, permeten la recuperació de calor, sistemes de refredament gratuït (*free-cooling*) i és especialment indicat en edificis amb servei continu o múltiples usos. Aquesta tipologia de sistemes són més complexos (tant en projecte com en instal·lació) i en edificis existents pot requerir reformar la sala de tècnica i ajustar els circuits hidràulics. Per altra banda el sistemes descentralitzats

permeten més flexibilitat i autonomia per espais i pot ser interessant en edificis petits o amb usos esporàdics (locals socials, consultoris,...) tot i que cal tenir en compte la ventilació mecànica, l'impacte visual, acústic i un manteniment dispers. Per tant es recomana:

- En edificis municipals mitjans i grans, especialment si es rehabilita de manera integral, es preferible apostar per sistemes centralitzats amb aigua. En edificis petits, dispersos o amb usos molt puntuals, pot tenir sentit plantejar solucions descentralitzades essent conscient que són més difícils de gestionar energèticament i poden no resoldre la ventilació de forma adequada

Manteniment i estat real de la instal·lació

Un bon manteniment de la instal·lació també influenciarà en el rendiment de la instal·lació. En aquest aspecte es recomana que:

- Els intercanviadors de les unitats exteriors i interiors estiguin nets
- Les bombes i vàlvules funcionin correctament sense bloquejos ni cavitació
- El refrigerant estigui a la càrrega adequada
- Es revisin i reajustin les corbes i consignes després del primer any d'ús

3.2.3 Factors que condicionen el rendiment global de la instal·lació

L'eficiència d'una bomba de calor no s'ha d'analitzar només com un equip aïllat, sinó com a part d'un sistema que interactua amb les demandes de l'edifici i altres components de la instal·lació. Els següents factors afecten al rendiment global:

Simultaneïtat de càrregues

Les unitats polivalents o multicicle, disposen de dos bescanviadors gas-aigua, un pel focus fred i l'altre pel calent, i bescanviador gas-aire per dissipar excedents. Estan dissenyades per treballar automàticament en diferents règims, incloent-hi la recuperació total de l'energia. Quan es detecta demanda simultània de calefacció i refrigeració, la màquina actua com una bomba de calor aigua-aigua interna: utilitza la calor extreta dels espais que cal refredar per escalfar gratuïtament l'aigua del circuit de calefacció o ACS, en lloc de dissipar-la a l'exterior. En aquestes condicions, l'eficiència no es mesura amb el COP o l'EER convencional, sinó mitjançant TER (Total Energy Ratio). Aquest rati es defineix com la suma de la potència frigorífica i la potència calorífica recuperada, dividida per la potència elèctrica consumida

$$TER = (Q \text{ refrigeració} + Q \text{ calefacció}) / W \text{ elèctric}$$

On:

- Q representa la potència tèrmica útil en kW
- W representa la potència elèctrica absorbida en kW

En aquest aspecte, disposar del càlcul de demanda energètica horària per les diferents zones tèrmiques d'un edifici permet identificar i quantificar la simultaneïtat.

Per exemple, en el cas d'un CEM amb requeriments de fred per deshumectar l'espai de piscina i per climatitzar la sala de fitness, i a la vegada escalfar el vas de piscina, calefactar els vestuaris i produir aigua calenta per dutxes, es podria cobrir el consum base amb una bomba de calor polivalent. En un moment que la demanda tèrmica sigui de 100 kW de calor amb un COP de 4, s'estan produint 75 kW de fred consumint 25 kW elèctrics. Per tant el TER serà de $(100+75)/25=7$. S'interpreta que per cada unitat elèctrica consumida se'n produeixen 7 de calor útil.

Recuperació de calor parcial i total en refredadores

Algunes refredadores (bombes de calor només per fred) permeten recuperar fins el 20 % de la calor de condensació (aquella que es dissipa contra el medi, en aerotèrmia a l'aire exterior) per a produir aigua calenta fins a 60 °C (calefacció o ACS).

Altres models permeten recuperació total de la calor de condensació, però només fins a 50 °C.

Aquesta tecnologia pot ser interessant en equipaments amb demanda de fred tot l'any, i demandes de calor recurrents (habitualment ACS).

Per exemple, en un pavelló amb sala de gimnàs amb una refredadora amb recuperació de calor es podria generar part de l'ACS que faran servir per dutxar-se els propis usuaris.

Recuperació de calor en ventilació

La recuperació de calor a través dels sistemes de ventilació és un dels factors amb més impacte al rendiment global perquè redueix directament la potència necessària de la bomba de calor. A la guia de l'IDAE - *Ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización* es descriuen els diferents tipus. En resum aquí es presenten els més utilitzats en edificis municipals:

Existeixen dos tipus de **recuperadors estàtics**:

- **Recuperador de plaques:** Són intercanviadors estàtics formats per una matriu de plaques que creen conductes separats per on els dos fluxos d'aire es creuen sense barrejar-se. Són sistemes fiables i d'alt rendiment sensible (mínim d'un 73 % segons el reglament d'eco-disseny del 2018), especialment efectius a l'hivern. En general, són de fluxos creuats o paral·lels.
- **Recuperador rotatiu:** Utilitzen un rotor que gira entre els dos fluxos. Poden ser entàlpics, cosa que permet recuperar no només el calor sensible (temperatura) sinó també el calor latent (humitat), sent molt recomanables en climes humits o on calgui una deshumectació forta.

La **recuperació de calor activa** és una opció en unitats rooftop o compactes autònomes aire-aire, i fan servir el flux d'aire de ventilació que s'expulsa a l'exterior per a condensar la bomba de calor interna que refrigera el flux impulsat a l'espai interior.

La **deshumectació eficient** d'instal·lacions com piscines cobertes, s'aconsegueix amb bomba de calor incorporada a les deshumectadores i aprofiten la calor de condensació de la humitat per reescalfar l'aire del local o l'aigua del vas. Aquest procés transforma la humitat en energia útil. Aquesta tecnologia ja s'incorpora a les deshumectadores noves, però també es pot incorporar reformant la instal·lació frigorífica de les existents. Una altra opció és utilitzar UTAs pel control de la humitat i la temperatura combinades amb bombes de calor polivalents.

3.3 Energia renovable i reducció d'emissions

3.3.1 Bomba de calor com a energia renovable

La bomba de calor extreu energia tèrmica de l'ambient (aire, aigua o terra) tant per la producció de calor com de fred. Segons la Directiva 2018/2001 i la Decisió de la Comissió 2013/114, la bomba de calor es pot considerar com a energia renovable si el factor SPF (SCOP net) és 2,5 o superior, de manera que l'energia extreta de l'ambient és significativament superior al consum elèctric.

Aquest líndar pot ser revisat en el futur, ja que depèn de l'eficiència mitjana de la UE del sistema de producció d'energia elèctrica, que millora amb la modernització dels sistemes i la integració de les energies renovables.

La mateixa Directiva indica com es calcula l'energia renovable extreta de l'ambient per una bomba de calor:

$$E_{\text{ren}} = Q_{\text{útil}} \times (1 - 1/\text{SPF})$$

Per exemple, en el cas de SCOP=2,5 per cada 1 kWh d'energia elèctrica (E_{elec}) la bomba de calor entrega 2,5 kWh útils de calor ($Q_{\text{útil}}$). Per tant l'energia renovable extreta de l'aire o focus de dissipació (geotèrmica o hidrotèrmica) és la part que no és elèctrica: $E_{\text{ren}} = Q_{\text{útil}} - E_{\text{elec}} = 2,5 - 1 = 1,5$ kWh renovables, o segons la fórmula $E_{\text{ren}} = 2,5 \times (1 - 1/2,5) = 1,5$ kWh. La proporció d'energia renovable sobre el total del calor útil és $\%E_{\text{ren}} = E_{\text{ren}}/Q_{\text{útil}} \times 100 = 1,5/2,5 \times 100 = 60$ % renovable. Si la bomba de calor tingués un SCOP de 4 obtindríem calor un 75 % renovable.

Si a més tenim en compte que l'energia elèctrica que consumeix la bomba de calor presenta una part renovable i una part no renovable en funció del mix de producció determinat per aquell any, la part renovable del calor útil és superior.

Es dedueix doncs de la fórmula anterior:

$$E_{ren} = Q_{útil} \times (1 - (1 - \%EERR)/SPF)$$

On %EERR és el percentatge de penetració de les energies renovables al mix elèctric.

Si considerem que el 2024 el mix Espanyol va tenir un 55 % d'EERR, podríem dir que la bomba de calor $E_{ren} = Q_{útil} - E_{elec} \times (1 - 0,55) = 2,05$ kWh. Segons la fórmula $E_{ren} = 2,5 \times (1 - (1 - 0,55)/2,5) = 2,05$ kWh. Per tant representa el $\%E_{ren} = 2,05/2,5 = 82$ % de la calor útil. **Podem afirmar doncs, que les bombes de calor a partir de 2024 i complint el mínim del SCOP 2,5, produeixen calor un 82 % renovable. Si incloem autoconsum fotovoltaic a l'equipament, aquesta proporció encara pot créixer fins el 100 %.**

3.3.2 L'energia i el CO₂

Per valorar la reducció d'emissions d'efecte hivernacle dels edificis amb l'electrificació dels consums tèrmics, s'explica el concepte d'energia primària i es donen els factors de pas d'emissions de les energies finals que utilitzem als nostres edificis.

L'**energia primària** es aquella procedent de fonts renovables i no renovables, que no ha sofert cap procés previ de conversió o transformació. Es l'energia continguda en els combustibles i altres fonts d'energia i inclou l'energia necessària per generar l'**energia final** consumida, incloent les pèrdues de transport fins l'edifici.

$$\text{Energia primària} = \text{Energia final} + \text{Pèrdues de transformació} + \text{Pèrdues de transport}$$

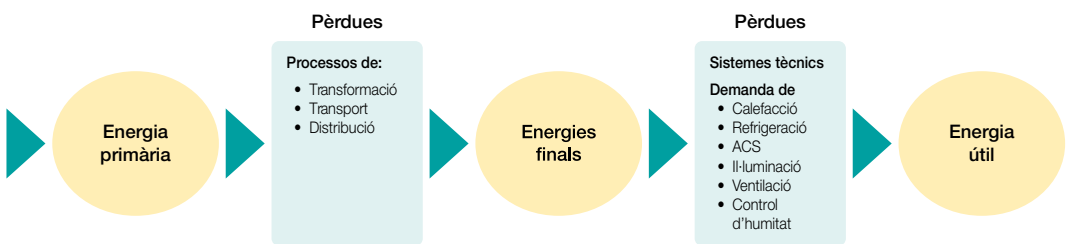


Fig. 10 Flux de l'energia primària. Font: CTE DB HE. Annex A

L'*energia final* es l'energia tal i com s'utilitza en el punts de consum. És la subministrada en els sistemes de l'edifici per proveir els serveis (gas, electricitat, biomassa, ...). L'origen d'aquesta energia pot ser produïda in-situ amb energies renovables, de les proximitats de l'edifici (biomassa solida o xarxes de calor,...) o distant, com podria ser de la xarxa elèctrica o de gas natural, entre d'altres.

Al final de la procés, obtenim *energia útil* per cobrir la demanda energètica (calor, fred, il·luminació, aigua calenta,...).

La ISO 52000-1 estableix la metodologia per calcular el consum d'*energia primària* (renovable i no renovable) a partir dels consums finals d'energia en un edifici:

- Es parteix dels serveis energètics (calefacció, refrigeració, ACS, ventilació, il·luminació...).
- Es defineixen factors de pas per convertir l'energia final (electricitat, gas, biomassa, etc.) en energia primària, distingint: Energia primària renovable (EPR), Energia primària no renovable (EPRN) i Energia primària total (EPT)

$$EPT = EPR + EPRN$$

Factors de pas d'energia final a primària

Els factors de pas d'energia final a energia primària són factors de conversió que permeten obtenir la quantitat equivalent d'energia primària renovables, energia primària no renovable i energia primària total per una determinada quantitat d'energia final. Aquests factors estan establerts en un document reconegut del RITE i són els que es fan servir pels certificats d'eficiència energètica d'edificis (font 3).

	KWh E. primària renovable / kWh E. final	KWh E. primària no renovable / kWh E. final	KWh E. primària total / kWh E. final
Electricitat convencional peninsular	0,414	1,954	2,368
Gasoil C	0,003	1,179	1,182
GLP	0,003	1,201	1,204
Gas natural	0,005	1,190	1,195
Biomassa densificada (pèl·lets)	1,028	0,085	1,113

Taula 2 Factors de pas d'energia final a primària aplicats a la certificació energètica d'edificis. Font: [Doc. Rec. RITE](#)

Aquests factors de pas poden ser revisats en el futur.

Factors de pas d'energia final a emissió de CO₂ equivalents

El consum d'energia final en els edificis té unes emissions de gasos d'efecte hivernacle associats a la combustió dels combustibles fòssils de les energies primàries que componen l'energia final. Aquestes emissions es mesuren en kg de diòxid de carboni equivalent (CO₂ eq). En el citat document reconegut del RITE també es donen els factors de pas de CO₂eq per kWh d'energia final:

	Kg CO ₂ / kWh E. final
Electricitat peninsular	0,331
Gasoil C	0,311
GLP	0,254
Gas natural	0,252
Biomassa	0,018

Taula 3 Factors de pas d'energia final a emissions de CO₂ aplicats a la certificació energètica d'edificis. Font: [Doc. Rec. RITE](#)

Aquests factors de pas poden ser revisats en el futur.

Existeixen altres fonts d'informació amb factors de pas actualitzats anualment, com els que publica el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico pel càlcul de la petjada de carboni de les organitzacions "[Calculadora de huella de carbono para organizaciones 2007-2024](#)" (font 6), però es considera més consistent fer servir els del document reconegut del RITE per alinear els resultats amb els certificats energètics d'edificis.

Ara bé, així com els factors de pas dels combustibles no canvien significativament al llarg del temps, el factor de pas de l'electricitat és molt canviant gràcies a la descarbonització per la penetració de les energies renovables en la producció estatal. Per reflectir aquesta millora en els càlculs dels projectes d'electrificació es pot prendre el que anualment publica la citada calculadora de CO₂ del ministeri segons el mix de producció peninsular anual o també es pot trobar a la [Guia de càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle \(GEH\)](#) (font 22) publicada anualment per la Oficina Catalana de Canvi Climàtic de la Generalitat de Catalunya. Per simplificar, es proposa aplicar als projectes d'electrificació **la mitjana d'emissions per kWh elèctric dels últims 5 anys (2020-2024) de 0,265 kg CO₂eq/kWh_{elec}**.

3.4 Marc normatiu

Les bombes de calor a Europa estan regulades sobretot pel marc europeu d'eficiència energètica i etiquetatge. La taula que segueix, sintetitza els reglaments i normes aplicables en funció de la tipologia de la bomba de calor i la seva potència.

Tipus	Ús	Medi intercanvi	Dipòsit ACS	Reglament	Potència	Norma	Rendiment		
Calefacció	Calefacció	aire-aigua	-	813/2013	≤400 kW	UNE-EN 14825	η _{S,h}		
		aigua-aigua					206/2012	≤12 kW	SCOP
		aire-aire					2281/2016	≤1 MW	η _{S,h}
Calefacció + ACS	Calefacció	aigua-aigua	-	813/2013	≤400 kW	UNE-EN 14825	η _{S,h}		
		aire-aigua							
	ACS	ambdues	Conjunt	813/2013	≤400 kW	UNE-EN 16147	η _{hw}		
		ambdues	Extern	*	*	UNE-EN 14511	COP		
ACS	ACS	aire-aigua	Conjunt	814/2013	≤400 kW	UNE-EN 16147	η _{hw}		
		aigua-aigua	Conjunt	814/2013	≤400 kW	UNE-EN 16147	η _{hw}		
		ambdues	Extern	*	*	UNE-EN 14511	COP		
Refrigeració	Refrigeració	aire-aigua	-	2281/2016	≤1 MW	UNE-EN 14825	η _{S,c}		
		aigua-aigua							
		aire-aire		2281/2016	≤1 MW		η _{S,c}		
				206/2012	≤12 kW		SEER		

Taula 4 Resum dels reglaments d'ecodisseny i normes aplicables a les bombes de calor. Font: [fitxa CAE TER 40 Annex V](#)

3.4.1 Normes i assaigs tècnics

Les normes més rellevants són:

- **EN 14511:** Defineix les condicions de prova per mesurar el COP, EER, potència tèrmica/frigorífica i soroll de les bombes de calor i refrigeradores.
- **EN 14825:** Estableix els mètodes de càlcul del SCOP i SEER, és a dir, l'eficiència estacional. Considera diferents temperatures exteriors i càrregues parcials. Nota: Els fabricants calculen l'SCOP i SEER de les seves màquines considerant que s'aplica la modulació de temperatura d'impulsió en funció de temperatura exterior. En cas de no fer aquest control, l'SCOP cau dràsticament.
- **EN 16147:** Defineix condicions de mesura i assaig per a bombes de calor destinades a producció d'aigua calenta sanitària (ACS).
- **EN 12102:** Defineix criteris de mesura d'emissions sonores.

Les normes EN 14511 i EN 14825 serveixen per calcular els valors que després s'usen a les etiquetes ErP d'eficiència energètica.

3.4.2 Ecodisseny i etiquetatge energètic

Els reglaments europeu més rellevants són:

- **ErP (Energy-related Products Directive, 2009/125/CE):** Estableix els requisits mínims d'eficiència i disseny ecològic.
- **Reglament (UE) 813/2013:** Ecodisseny per a generadors de calor (calderes i bombes de calor ≤ 400 kW). Inclou la eficiència energètica estacional mínima permesa i limitació acústica
- **Reglament (UE) 814/2013:** Ecodisseny per a escalfadors d'aigua (ACS) i dipòsits d'aigua calenta (i equips relacionats), habitualment fins a ≤ 400 kW i amb límits també per a capacitat d'emmagatzematge. Inclou requisits mínims d'eficiència energètica, limitació acústica i altres paràmetres de rendiment segons tipologia d'equip.
- **Reglament (UE) 811/2013:** Etiquetatge energètic de calefacció i ACS (classes A+++ a G).
- **Reglament (UE) 206/2012:** Ecodisseny per a unitats de refrigeració i climatització < 12 kW.

3.4.3 Nomenclatura i fitxa tècnica

En aquesta secció es donaran algunes indicacions per interpretar la fitxa tècnica:

1) Nomenclatura i condicions de referència

Quan es donen els rendiments de les bombes de calor s'identifiquen les condicions de referència amb un seguit de lletres i números (A7W35, B0W30, W5W35...) que fan referència als focus de calor i es descriuen a continuació:

- La primera lletra indica el medi de la font d'intercanvi d'energia per la seva primera lletra en anglès: A = Air (Aire exterior), W = Water (Aigua) o B = Brine (Solució d'aigua i anticongelant)
- El primer número (després de la lletra de la font) indica la temperatura de la font en °C.
- La segona lletra indica el medi de sortida: W = Water (Aigua per calefacció o refrigeració) o A = Air (Aire interior)
- El número final és la temperatura d'impulsió del medi calefactor/refrigerant en °C.

Exemple:

A7W35 = Aire exterior a 7 °C i aigua del circuit interior a 35 °C

B15W55 = Solució d'aigua i anticongelant a 15 °C i aigua del circuit interior 55 °C

Quan es comparen equips, cal assegurar que es comparen valors declarats en les mateixes condicions (mateixa temperatura de font i mateixa temperatura d'impulsió). Les fitxes tècniques o catàlegs poden donar diverses potències o rendiments referenciats a diferents situacions climàtiques (clima fred, mitjà o càlid), diferents temperatures d'impulsió d'aigua (baixa temperatura a 35 °C, mitja a 45 °C alta a 55 °C, o altres valors), i diferents temperatures de la font energètica (temperatures d'aire per aerotèrmia, de mescla glicolada pels circuits geotèrmics o de l'aigua subterrània bombejada).

- **Aerotèrmia:** COP nominal habitual a A7/W35 i EER a A35/W7
- **Geotèrmia:** COP nominal habitual a B0/W35 i EER a B30/W7
- **Hidrotèrmia:** COP nominal habitual a W10/W35

2) Aplicació

Cal verificar que la bomba de calor encaixa amb l'ús real de l'edifici i amb el sistema de distribució existent o previst.

Sistema de captació

- **Aerotèrmia:** Verificar si és monobloc o split, ubicació de la unitat exterior i requeriments d'espai/recirculació d'aire.
- **Geotèrmia:** Verificar si la captació és en circuit tancat o circuit obert i els requisits de temperatura/cabals i recomanacions de glicol.
- **Hidrotèrmia:** Revisar la temperatura i qualitat de l'aigua de captació, cabals i requisits de filtració/intercanvi.

ACS

- Confirmar si l'equip incorpora producció d'ACS integrada (i amb quin esquema: prioritat d'ACS, vàlvula desviadora, acumulador, etc.) o si necessita una solució externa. En cas que la demanda d'ACS sigui molt diferent a la de calefacció, es recomana implementar sistemes independents.

- Revisar temperatura màxima d'ACS assolible amb compressor i si requereix resistència elèctrica de suport per a cicles antilegionel·la o per arribar a consignes elevades.

Cal recordar que per edificis terciaris és d'aplicació el Real Decret per a la prevenció de legionel·losis, pel qual l'aigua calenta s'ha d'acumular a 60 °C i per tant la producció s'ha de poder fer a 65 °C com a mínim.

Refrigeració

- **Refrigeració activa:** Verificar les condicions de fred que declara el fabricant i quin control fa de la condensació.
- **Refrigeració passiva (*free-cooling*):** és una opció habitual en sistemes geotèrmics/hidrotèrmics (intercanvi sense comprimir). La fitxa ha d'indicar potència "passiva", components necessaris i límits de temperatura. Alguns equips aerotèrmics també ho incorporen, podent fer una part de l'aportació per free-cooling al condensador.

3) Prestacions energètiques

A continuació es descriuen algunes consideracions pel que fa a les prestacions energètiques:

Rendiments instantanis (COP/EER)

- COP i EER són valors a un punt concret que són útils per comparar però no descriuen el comportament anual.
- Comprovar sempre quina és la temperatura de la font exterior, la temperatura d'impulsió i si el consum inclou bombes i equips auxiliars.

Corbes i comportament amb temperatura

- Comprovar com cau la potència disponible quan baixa la temperatura exterior.
- Comprovar com empitjora el rendiment quan s'augmenta la temperatura d'impulsió (COP) o es disminueix la temperatura d'impulsió (EER).

Prendre en consideració dimensionar correctament la bomba de calor ja que la potència nominal de calefacció sol donar-se a 7 °C exterior, però per temperatures exteriors inferiors la bomba de calor perd potència i cal escollir una potència nominal superior.

Prestacions estacionals (SCOP/SEER i clima)

- Prioritzar SCOP i SEER quan hi siguin ja que incorporen el funcionament a càrrega parcial. Mirar si el valor és per clima càlid/mitjà/fred i per quina temperatura d'impulsió .

Cal recordar que les prestacions estacionals són per condicions estàndard de la norma, i en cada projecte el rendiment anual real de la màquina serà diferent.

Modulació i potència mínima

- Revisar el rang de modulació del compressor (potència mínima i màxim). Una potència mínima alta pot provocar arrencades/aturades freqüents, pèrdua de rendiment i més desgast. En aquests casos, la fitxa també pot indicar volum mínim d'aigua o recomanar dipòsit d'inèrcia.

Descongela en aerotèrmia (defrost)

- Verificar si el fabricant aporta informació del funcionament amb defrost i el seu impacte en potència i COP en dies freds/humits.

4) Límits d'operació

Els límits d'operació defineixen en quines condicions la bomba de calor pot funcionar amb garanties.

Rangs de temperatura

- En calefacció revisar quina és la temperatura mínima/màxima de la font exterior i temperatura màxima d'impulsió assolible.
- En refrigeració revisar quina és la temperatura mínima d'impulsió i límits de condensació.
- En geotèrmia/hidrotèrmia, revisar límits de temperatura d'entrada a l'evaporador/condensador i condicions de protecció antigèl.

Límits hidràulics

- Revisar el cabal mínim i màxim admissible, pèrdua de càrrega a l'intercanviador, i recomanacions del salt tèrmic de disseny.
- Revisar la pressió màxima del circuit, precàrrega i volum del vas d'expansió (si està integrat) i requisits de seguretat.
- Respectar el volum mínim d'aigua del circuit.
- En unitats partides revisar les limitacions del model de la distància i diferència de cota màxima entre unitat interior i exterior.

Circuit frigorífic

- Revisar les dades de pressió mínima/màxima i rangs de treball del refrigerant per un correcte manteniment.

ACS

- Revisar límits del dipòsit: pressió màxima, temperatura de treball i condicions d'higiene/estratègies antilegionel·la.

5) Fluids de treball

Per les implicacions en seguretat, manteniment i compliment normatiu:

- Identificar el tipus de refrigerant i la quantitat (kg)

- Identificar el tipus i quantitat de l'oli del compressor.
- En geotèrmia, identificar el tipus i concentració d'anticongelant.

Atenció: Es recomana en el moment del projecte, escollir un refrigerant amb baix PEA. Cal revisar quina situació de la normativa FGAS aplica al projecte (veure apartat Refrigerants) i valorar si quan s'executi pot haver prohibició pel gas escollit, i per tant el contractista hagi de proposar un canvi de model de bomba de calor amb el conseqüent possible pressupost contradictori d'obra.

6) Emissió sonora

Les dades que es solen representar a les fitxes tècniques són:

- **Potència sonora $L_w(A)$ o LWA [dB(A)]:** Expressa el volum de soroll en dB i és la dada més comparable entre fabricants.
- **Pressió sonora $L_p(A)$:** És la intensitat de soroll a una distància concreta (per exemple 10 m a l'aire lliure). Serveix per estimar l'impacte, però depèn fortament de la distància i l'entorn.

Atenció: en algun projectes pot ser un factor altament limitant segons la ubicació disponible per la unitat exterior aerotèrmica i la situació relativa d'habitatges o activitats colindants.

3.4.4 Refrigerants

Els refrigerants utilitzats en el cicle frigorífic de la bomba de calor es poden classificar segons criteris de toxicitat, inflamabilitat, composició, potencial d'escalfament atmosfèric (PEA), entre d'altres.

A continuació s'expliquen aquests conceptes i es llisten els gasos més habituals, es presenta el marc normatiu, es donen unes recomanacions per escollir-los i s'expliquen les mesures de seguretat necessàries.

Definicions

Potencial d'escalfament atmosfèric (PEA) o global warming potential (GWP) en anglès, és l'índex que indica el CO_2 equivalent de cada kg de refrigerant alliberat a l'atmosfera. Per això el PEA del CO_2 és 1.

Per exemple, un sistema de bomba de calor compacta de 70 kW tèrmics (27 kW elèctrics) amb R-32 pot contenir 15kg de refrigerant. Amb un règim de 1.500 hores equivalents anuals consumeix $1.500 \text{ h} \times 27 \text{ kW} = 41 \text{ MWh}$ /anys d'energia elèctrica. Amb el factor de pas del mix elèctric de Catalunya de $0,26 \text{ kgCO}_2\text{eq/kWh}$ les emissions indirectes associades al funcionament són de $41 \text{ MWh} \times 0,26 = 10 \text{ Tn CO}_2\text{eq}$ anuals. Si la màquina pateix una fuga del 100 % del gas la repercussió en emissions directes de CO_2 equivalent es calcula com $m \times \text{PEA} = 15 \text{ kg gas} \times 675 \text{ kg CO}_2\text{eq/kg gas} = 10 \text{ Tn CO}_2\text{eq}$. Aquest exemple mostra la gran repercussió ambiental de la fuga de gasos refrigerants a l'atmosfera, podent ser igual o més importants que les emissions d'ús en tot un any. Per això és cabdal escollir gasos amb baix PEA.

Classificació de seguretat: és l'escala de risc d'inflamabilitat i toxicitat amb què la normativa ASHRAE classifica els refrigerants, i segueix el següent esquema:

	Baixa toxicitat	Alta toxicitat
Altament inflamable	A3	B3
Inflamable	A2	B2
Lleugerament Inflamable	A2L	B2L
No Inflamable	A1	B1

Taula 5 Classificació segons el risc d'inflamabilitat i la toxicitat dels refrigerants. Font: Elaboració pròpia

Llista de refrigerants

La següent taula presenta una mostra dels refrigerants que es troben als catàlegs dels fabricants de bombes de calor, en negreta es marquen els usats més habitualment, i es donen les seves característiques:

Gas	Nom comú	PEA	Classificació de seguretat
R-717	amoníac	0	B2L
R-744	CO ₂	1	A1
R-290	propà	3	A3
R-1234yf		4	A2L
R-1234ze		7	A2L
R-454C		148	A2L
R-515B		293	A1
R-454B		466	A2L
R-32		675	A2L
R-452B		698	A2L
R-134a		1.430	A1
R-407C		1.774	A1
R-410A		2.088	A1

Taula 6 Resum dels refrigerants més comuns, ordenats segons el seu PEA. Font: Elaboració pròpia

Es pot observar com el propà (R290) és el més inflamable de la llista, l'amoníac (R717) el més tòxic, els més innocus són els A1 en canvi tenen els majors PEA, i en el cas del CO₂ que és innocu (A1) i PEA=1, presenta dificultats tècniques per a la seva implementació (altes pressions i alts salts tèrmics) que el fan adequat només per grans produccions d'ACS. La majoria presenten una classificació A2L que requereix algunes mesures de seguretat segons l'ús.

Els refrigerants naturals són aquells presents a la natura i que no contenen fluor. Són l'amoníac (NH₃), el diòxid de carboni (CO₂) i els hidrocarburs (propà).

Marc regulatiu

El marc regulatiu que determina el seu ús queda recollit en les següents normatives sobre les quals es basaran les recomanacions per al contingut d'aquesta guia:

- El *Reglament de Seguretat per a Instal·lacions Frigorífiques* (RSIF - RD 552/2019) regula les instal·lacions frigorífiques: defineix categories, requisits de seguretat, documentació, posada en servei i inspeccions. Entre d'altres defineix els següents grups de seguretat per als refrigerants en gasos d'alta seguretat (A1), de mitjana seguretat (A2L, A2, B1, B2L, B2) i de baixa seguretat (A3, B3). Essent la A indicador de baixa toxicitat i la B d'alta toxicitat. Essent el número 1 indicador de “no inflamable”, el 2 “inflamable” i el 3 “molt inflamable”
- La norma europea EN 378 estableix criteris de disseny i seguretat per a sistemes de refrigeració i bombes de calor: límits de càrrega de refrigerant, tipus de locals, ventilació, detectors, sales de màquines i mesures per protegir persones i béns en cas de fuites.
- La norma internacional IEC 60335-2-40 fixa els requisits de seguretat elèctrica i d'ús per a bombes de calor especialment quan utilitzen refrigerants inflamables.
- El reglament europeu 2024/573 (**F-GAS**) estableix prohibicions progressives de gasos fluorats d'efecte hivernacle amb alt PEA, la recuperació i traçabilitat dels gasos, un control de fuites i registres obligatoris, la formació i certificació del personal tècnic entre d'altres.

Recomanacions per a futures instal·lacions

La normativa FGAS imposa fites per eliminar els gasos amb més problemàtica ambiental. La conseqüència és que aquells gasos que no poden fer-se servir en noves màquines cauen en desús i el cost del refrigerant per operacions de manteniment puja. Cal vigilar quins gasos es prescriuen als nous projectes per evitar comprometre el manteniment futur.

La següent taula resumeix les limitacions del PEA per tipologia d'equips i potència:

Tipologia	Potència	Any	Limitació
Bombes de calor compactes (aire-aigua, aigua-aigua, rooftop)	< 50 kW	2027	PEA<150 (<12 kW 2032 gasos naturals)
	> 50 kW	2030	PEA<150
Refredadores (aire-aigua només fred)	< 12 kW	2027	PEA<150 (2032 gasos naturals)
	> 12 kW	2027	PEA<750
Equips partits	< 3kg ¹	2025	PEA<750
	AW < 12 kW	2027	PEA<150 (2035 gasos naturals)
	AA < 12 kW	2029	
	> 12 kW	2029	PEA<750 (2033 PEA<150)

Taula 7 Resum de les limitacions del PEA segons la tipologia d'equip i potència. Font: Elaboració pròpia

1. Com a referència, una màquina partida AW de 16 kW tèrmics nominals amb 15 metres de longitud de línees frigorífiques (distància entre unitat interior i exterior) conté 1,65kg de R32

Per tant es recomana:

- Prescriure sempre refrigerants amb PEA < 750 (evitar el R410 i R134)
- Prescriure preferentment PEA < 150 en totes les bombes de calor aire-aigua de menys de 50 kW. Poden ser: CO₂ (només ACS), R290 (propà), R1234ze o R454C.
- En sistemes partits discernir el cas d'aplicació. En qualsevol cas tenir en compte les mesures de seguretat del gas (per PEA<750 el R32 és el més habitual i és A2L) i les implicacions d'instal·lar equips i línies frigorífiques de gas dins l'edifici. Avaluar el risc d'una fuga, sistemes de ventilació, detecció automàtica, sistemes de seguretat addicionals, etc...
- Cal tenir en compte les mesures de seguretat segons la classificació del gas

Els elements de seguretat

Es presenten els elements de seguretat que cal tenir en compte en funció del tipus de gas refrigerant. Donat que es tendeix a una major utilització de refrigerants com el R290 pel seu baix impacte ambiental i alta eficiència enèrgica, en aquest apartat es mencionarà els elements de seguretat a tenir en compte per aquest refrigerant que alhora és el que demana més restriccions (Grup de seguretat A3 - baixa toxicitat (A) molt inflamable (3))

Es plantegen 3 opcions:

- 1) Equips monobloc a l'exterior:** Quan el refrigerant es concentra a l'exterior de l'edifici només cal respectar les distàncies de seguretat i ubicació de l'equip, per tant no requereix elements de seguretat addicionals (atenció distàncies a obertures en façana, patis o embornals, ja que el propà pesa més que l'aire).
- 2) Instal·lació interior sense sala tècnica:** Quan les càrregues son molt petites i el fabricant ho permet es podria prescindir de sala tècnica, però igualment caldria
 - Respectar la càrrega màxima admissible per superfície del local (IEC 60335-2-40 / EN 378).
 - Respectar l'altura de muntatge sobre el terra, per limitar l'acumulació de gas (el propà és més pesant que l'aire).
 - Evitar completament instal·lacions en soterranis o locals on el gas es pugui acumular.
 - Posar detectors d'hidrocarburs prop del terra i una parada automàtica del compressor i ventilació mecànica del local en cas de fuga.
- 3) Instal·lació en sala de màquines:** En el cas de càrregues més grans, o quan el gas refrigerant ha d'anar situat a l'interior de l'edifici cal dissenyar una sala tècnica que compleixi certs requeriments:

Característiques de la sala

- Sala tècnica específica, sense ús per a altres activitats.
- Dimensions suficients i bona accessibilitat per a muntatge i manteniment.
- Porta que obre cap a fora, amb el tancament adequat i la resistència al foc que marqui la normativa.
- Cartells indicadors del tipus: «Sala de màquines – refrigerant inflamable (R-290) – risc d'explosió – prohibit fumar / flames obertes».

Ventilació

- Ventilació mecànica independent de la resta de l'edifici.
- En funcionament normal, almenys unes 4 renovacions/hora.
- Ventilació d'emergència amb un cabal suficient, dimensionat en funció de la càrrega de refrigerant.
- Presa i sortida d'aire col·locades de manera que s'evitin zones mortes on es pugui acumular gas.

Detecció de fuites

- Sistema fix de detecció d'hidrocarburs col·locat a les zones on el gas es podria acumular (part baixa del local).
- Quan el detector arriba, com a màxim, al 25 % del límit inferior d'inflamabilitat (LFL), ha d'activar com a mínim: Parada dels compressors, tall de les línies elèctriques no essencials, posada en marxa de la ventilació d'emergència i limitar la quantitat de refrigerant que es pugui alliberar.

Equip elèctric i ATEX (Atmosferes explosives)

- Cal una avaluació d'atmosferes explosives i la classificació de zones (habitualment, com a mínim, zona 2 dins la sala).
- La il·luminació, motors de ventilació, bombes i altres equips elèctrics s'han d'adequar a la categoria ATEX que correspongui a la sala.

Altres elements de seguretat

- Vàlvules de seguretat amb la descàrrega conduïda a l'exterior fins a un punt segur.
- Botó d'aturada d'emergència situat a l'exterior de la sala, en un lloc fàcilment accessible.
- Extintors adequats per a focs de classe B (hidrocarburs) situats a l'entrada de la sala.
- Procediments de treball específics per a refrigerants A3 (R-290) i equips de protecció adequats: eines compatibles ATEX, detectors personals, equips de recuperació i buit certificats per a hidrocarburs, etc.

3.4.5 RITE, CTE i altres normatives associades

Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis (RITE, RD 1027/2007 i modificacions)

El RITE regula com s'han de dissenyar, executar, posar en servei, mantenir i inspeccionar les instal·lacions tèrmiques (calefacció, refrigeració, ventilació i ACS) per garantir benestar i higiene, eficiència energètica i seguretat. A continuació s'apunten algunes consideracions que cal tenir en compte:

- **Documentació i tramitació administrativa:** Quan s'instal·la una bomba de calor (o es reforma la instal·lació), cal un projecte si la potència nominal útil de generació de calor o fred és més gran que 70 kW o memòria tècnica si és entre 5 i 70 kW. La posada en servei d'instal·lacions noves o reformades requereix el registre del certificat d'instal·lació a l'òrgan competent de la CCAA.
- **Confort i qualitat d'aire interior:** S'ha de garantir condicions de qualitat tèrmica (temperatura, humitat, velocitat de l'aire, ...) i qualitat d'aire interior (aportació suficient d'aire exterior i extracció d'aire viciat). Es defineixen les categories de qualitat d'aire interior (IDA) segons l'ús de l'edifici i es fixen criteris per calcular el cabal mínim de ventilació. Això és especialment rellevant en equipaments municipals amb ocupacions variables.
- **Eficiència energètica:** Es posa èmfasi en adaptar la generació a la demanda: en instal·lacions més grans de 70 kW es demana que s'apliquin estratègies de modulació per evitar sobredimensionaments i cicles curts.
- **Posada en marxa, equilibrat hidràulic i control automàtic:** En substituir calderes per bombes de calor (especialment en sistemes aigua-aigua o aire-aigua), es demana parer a la posta en marxa, és a dir, a ajustar les bombes al cabal de disseny, l'equilibrat hidràulic, l'ajust de vàlvules de pressió diferencial i verificar el control automàtic segons projecte.
- **Mesura, comptabilització i seguiment energètic:** En instal·lacions majors a 70 kW s'exigeix mesurar i registrar els consums (segons tipologia de la font energètica). També es preveu diferenciar la contribució d'electricitat renovable (per exemple amb autoconsum fotovoltaic) quan s'alimenten generadors de més de 70 kW.
- **Manteniment, gestió energètica i transparència:** La instal·lació ha de disposar de programa de manteniment preventiu (IT 3.3) i de programa de gestió energètica (IT 3.4). També incorpora obligacions d'informació de consums (amb històrics) a disposició d'usuaris/titulars en lloc visible en certs casos, útil en equipaments públics.
- **Inspeccions periòdiques:** Els sistemes de calefacció/ACS amb generadors de calor majors a 70 kW han de passar inspeccions periòdiques d'eficiència energètica per un organisme de control acreditat.

Codi Tècnic de l'Edificació (RD 314/2006 i DB aplicables)

El CTE és el marc d'exigències bàsiques de qualitat en edificació (seguretat, salubritat, soroll, energia, etc.) i, en rehabilitació, pot aplicar segons l'abast de la intervenció. A continuació s'apunten algunes consideracions que cal tenir en compte:

- **DB-HE:** Fixa que s'ha de limitar el consum energètic i que aquest consum s'ha de satisfer en gran mesura amb energies renovables (HE0), i que les instal·lacions tèrmiques (HE2) es desenvolupen via RITE. A més reforça la necessitat de deixar documentat al Llibre de l'Edifici el manteniment i les intervencions, especialment quan hi ha instal·lacions renovables.
- **HE0 i HE1:** En projectes municipals, és important que la substitució de generació vagi acompanyada d'una visió de conjunt. HE1 (envolupant i control de demanda) condiona la potència necessària i les temperatures de treball. HE0 (consum d'energia primària, especialment no renovable) és on una BC eficient i/o l'autoconsum poden tenir un impacte significatiu.
- **HE4:** S'aplica a edificis existents quan hi ha una demanda d'ACS més gran a 100 litres per dia i es reforma íntegrament la instal·lació de generació tèrmica. S'exigeix que la contribució renovable de l'ACS sigui del 60 % o bé del 70 % si hi ha un consum de més de 5.000 litres per dia.
- **HE5:** S'obliga, en usos no residencials, a incorporar generació renovable elèctrica en edificis nous o ampliacions, o reformes integrals/canvi d'ús quan se superen els 3.000 m². També es defineix la potència mínima a instal·lar i estableix límits (i també un mínim de 30 kW i màxim de 100 kW en el marc de l'exigència).

Emissió sonora (Llei 16/2002, Decret 176/2009, Decret 245/2005 i ordenances municipals)

Per verificar si una bomba de calor (unitat exterior) pot complir una ordenança municipal de soroll, cal comparar els límits d'immissió (els dB(A) màxims permesos segons zona acústica i franja horària dia/vespre/nit) amb les dades acústiques de l'equip i amb la seva implantació real (ubicació, distància a veïns, reflexions, etc.).

Requisits sanitaris per a la prevenció i el control de la legionel·losi (RD 487/2022)

La prevenció de la legionel·losi és una exigència de disseny i cal garantir les temperatures, la circulació i l'absència d'estancament en tot el sistema. Cal assegurar que l'acumulació final de la ACS arribi a una temperatura homogènia mínima de 60 °C, evitant estratificacions que deixin zones fredes dins el dipòsit. En el cas d'interacumuladors de doble tanc el requisit és de 70 °C com a temperatura mínima per garantir la seguretat sanitària.

Alerta: una temperatura d'acumulació mínima de 60 °C requereix produccions de mínim 65 °C, temperatures que penalitzen el rendiment de les bombes de calor, sobretot amb aerotèrmia amb temperatures exteriors baixes.

Pel que fa a la distribució, s'ha de garantir que la temperatura mínima de qualsevol punt del circuit sigui de com a mínim 50 °C. En les configuracions on no hi hagi recirculació la normativa exigeix que aquests trams no superin els 5 metres o tinguin capacitat de fins a 3 litres (el que sigui més restrictiu), ja que són possibles punts d'estancament i proliferació.

Si no hi ha acumulació d'aigua, la producció instantània i la recirculació cal impulsar-la mínim a 60 °C.

Addicionalment, la instal·lació ha d'estar preparada per a actuacions correctives, i si el pla de control ho requereix, s'ha de poder fer una desinfecció tèrmica i portar el sistema a 70 °C i assegurar temperatures elevades als punts terminals.

Recomanació: el millor sistema per evitar la proliferació de la legionel·la i reduir costos d'operació i manteniment en instal·lacions amb grans consums d'ACS es basa en acumulacions d'inèrcia a 65 °C i bescanviadors per a producció instantània amb control de temperatura i recirculació. La millor estratègia d'eficiència energètica en aquests casos és el control de l'estratificació de l'acumulació amb dipòsits especials anomenats "hubs energètics" i un control acurat de la demanda i la recirculació.

4

criteris de disseny

4.1 Càlcul de la demanda i càrrega tèrmica per climatització

Per dimensionar correctament la bomba de calor i els emissors a cada zona climatitzable i aportar informació d'utilitat al projecte es recomana disposar de la demanda i la càrrega tèrmica per calefacció i refrigeració en diferents escenaris. Es recomana fer un càlcul adequat a les necessitats que es volen cobrir i no instal·lar la mateixa potència de bomba de calor que el sistema de generador actual basat en combustibles fòssils.

Metodologia de càlcul

La metodologia per al càlcul de la demanda i la càrrega tèrmica d'un edifici ha evolucionat des de càlculs estacionaris simples cap a la simulació dinàmica, que permet considerar la complexitat del comportament tèrmic real.

A la guia "[Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios](#)" de l'IDAE es defineix una metodologia aplicable a tots els edificis municipals.

A continuació, es descriuen els passos i conceptes clau d'aquesta metodologia:

1. **Definició del model de l'edifici:** Es tracta d'una representació digital detallada de l'edifici que inclou la geometria (les zones tèrmiques i les superfícies que els limiten), les propietats de l'envolupant (per calcular la transmitància tèrmica i la inèrcia tèrmica) i les condicions d'ús (temperatures de consigna, horaris, il·luminació, ventilació...)
2. **Selecció de les dades climàtiques:** Es fan servir fitxers de dades horàries coneguts com a Anys Meteorològics Tipus (TMY), que proporcionen dades reals de temperatura seca, humitat i radiació solar per a les 8.760 hores de l'any.
3. **Càlcul de la demanda energètica:** Es pot fer segons diferents mètodes (balanç d'energia, RTS i simulació dinàmica) i s'obtenen resultats per cada recinte tèrmic.
4. **Determinació de la càrrega tèrmica:** Es calculen els pics màxims (el dia més fred per a calefacció i el més calorós per a refrigeració) per dimensionar la bomba de calor

La generació d'un model tèrmic (bessó digital) permet analitzar escenaris i comparar mesures amb criteris de cost/eficiència, identificant quines actuacions redueixen més la demanda i les puntes de potència. A més, es pot detectar la simultaneïtat d'usos i dimensionar la bomba de calor no com la suma de la potència dels seus emissors sinó com la potència d'ús real basat en els horaris reals.

Escenaris de càlcul

A partir de l'estat actual, que es pren de referència, es poden estudiar diferents escenaris que influeixen de manera significativa el dimensionat de la bomba de calor i els emissors:

- **Incorporació de ventilació i condicionament d'aire, refredament gratuït i recuperació de calor**

Com ja s'ha apuntat anteriorment, molts dels edificis municipals existents tenen una manca de ventilació i condicionament de l'aire, per sota de les exigències de la normativa actual. En totes aquelles situacions on s'adeqüin les instal·lacions tèrmiques interiors, caldrà, a més, satisfer les exigències de la normativa. Es considera que un escenari de càlcul recomanat és incorporant ventilació mecànica. A més, si s'afegeix un control adequat es pot incloure un sistema de refredament gratuït per aire (*free-cooling*). La recuperació de calor permet aprofitant el calor de l'interior de l'edifici per pre-escalfar o pre-refredar l'aire exterior i també representa un estalvi important d'energia.

- **Rehabilitació de l'envolupant tèrmica**

Abans d'augmentar potències instal·lades, s'ha de prioritzar l'aplicació d'accions que redueixin la demanda i, per tant, el consum elèctric dels sistemes de climatització. En aquest sentit, una línia d'actuació rellevant és la millora de l'envolupant tèrmica, especialment mitjançant la substitució i millora d'obertures (prestacions tèrmiques i estanquitat), la millora de l'aïllament de murs, terres, sostres i cobertes i/o incorporar proteccions solars per limitar l'entrada de radiació en període estival i reduir càrregues de refrigeració.

- **Escenaris de canvi climàtic**

Al introduir un fitxer climàtic que incorpori perspectives de canvi climàtic pot ajudar a dimensionar la refrigeració pensant a un futur que no queda reflectit en les simulacions energètiques habituals que sovint agafen dades històriques i no preveuen l'increment en la temperatura global.

Resultats a obtenir:

- Demandes horàries de calefacció, refrigeració i ACS (kWh) i la seva distribució horària
- Càrregues tèrmiques (kW) i la seva distribució horària. Es recomanable comptar també amb la distribució de càrregues tèrmiques en funció de la temperatura de l'aire exterior pel dimensionament de les bombes de calor aire-aire i aire-aigua.

4.2 Càlcul de la demanda i càrrega tèrmica per ACS

El valor de demanda d'ACS pot ser molt significatiu en funció del nombre d'usuaris i la tipologia de l'equipament municipal (centres educatius amb molts alumnes, centres esportius, piscines municipals...). Tot i que també hi haurà d'altres amb demandes molt reduïdes (ajuntaments amb pocs treballadors, centres cívics amb usos puntuals...) en comparació amb la demanda de calefacció i refrigeració.

La manera normativa de calcular la demanda tèrmica d'ACS parteix d'una demanda de referència en litres/dia a 60 °C i després es passa a energia (kWh) i s'hi afegixen les pèrdues per distribució, acumulació i recirculació. Aquesta metodologia de càlcul queda recollida al CTE.

Per tant, el primer que caldrà realitzar és identificar els usos de l'edifici estudiat i comprovar si aplica la normativa corresponent. A continuació es descriu la metodologia de manera simplificada:

- **Identificar els diferents usos de l'edifici:** oficina/administratiu, escola amb o sense dutxes, vestidors, gimnàs, centre de salut, residència, etc.
- **Calcular la demanda de referència en volum (l/dia a 60 °C):** Per cada ús, s'agafa el criteri l/dia·persona de la *taula c-Anejo F* i es multiplica per la ocupació prevista. Per determinar l'ocupació prevista es recomana recollir dades reals de l'ús de les instal·lacions, i en cas de no disposar d'aquesta informació fer una hipòtesis en base a l'ocupació de projecte o criteris d'ocupació reglamentaris. Si la demanda d'ACS és més de 100 l/dia, caldrà a més, complir la normativa HE4 sobre la contribució mínima d'energia renovable per satisfer la demanda energètica.
- **Calcular l'energia a partir del volum:** Cal disposar de la temperatura mitjana mensual de l'aigua de xarxa (Disponible a l'*Anejo G*, per capital de província), la temperatura del dipòsit final (habitualment 60 °C en el càlcul de referència) i aplicar les corresponents fórmules.
- **Afegir les pèrdues tèrmiques:** Calcular les pèrdues per distribució, recirculació i acumulació. A la pràctica, això es fa amb el càlcul de pèrdues per longituds i aïllaments de canonades, cabals de recirculació i temperatures, pèrdues estàtiques dels acumuladors i/o procediments/eines reconegudes (programes justificatius HE4, documents reconeguts RITE).

La demanda tèrmica per ACS correspon a la suma de l'energia calculada a partir del volum i les pèrdues tèrmiques considerades.

Pel que fa a la càrrega pic el que es recomana fer és estimar el volum d'aigua necessari en l'hora de major demanda, tenint en compte l'ús i aplicant factors de simultaneïtat. A partir d'aquesta dada es pot calcular la càrrega pic, que correspondrà a la potència tèrmica que el conjunt de generador i dipòsit acumulador ha de poder proporcionar en 30 minuts o 1 hora en funció de l'acumulació que es prevegi.

Per exemple, en un camp de futbol municipal la demanda pic sol ser el matí de dissabte, quan poden coincidir 2 partits de futbol 7 simultanis, i al finalitzar, 2 simultanis més. Això fa un total de 30 usuaris dutxant-se al final dels primers 2 partits (14 jugadors per partit més els àrbitres), i 30 més al cap de 1 hora al finalitzar els següents. El CTE marca 21 litres/usuari a 60 °C, per tant es calculen 630 litres a 60 °C per la primera tanda de dutxes i 630 litres més a continuació. Escalfar aquesta quantitat d'aigua a 10 °C de xarxa en 1 hora requereix una potència de 37 kW tèrmics útils (si la mínima exterior baixa a 0 °C cal incrementar la potència nominal un 25 %). Si no es preveu més demanda després de la segona tanda, es pot reduir la inversió amb un dipòsit més gran (1.200 litres) i una bomba de calor de menys potència, per exemple 20 kW nominals (entregant 15 kW útils a 0 °C i requerint 5h per regenerar l'acumulador).

4.3 Elecció d'emissors i règim de funcionament per la climatització

L'elecció dels emissors i del seu règim de funcionament (temperatures d'impulsió/retorn i salt tèrmic) és clau perquè condiciona directament l'eficiència estacional, la potència necessària de la bomba de calor, el confort i la viabilitat d'incorporar refrigeració.

Com a criteri de disseny, cal tendir a temperatures d'impulsió baixes en calefacció i temperatures d'aigua moderades en refrigeració; en aquest sentit el RITE (RD 178/2021) estableix que els emissors s'han de dimensionar per temperatures d'entrada en calefacció menors a 60 °C i d'entrada en refrigeració més grans que 7 °C.

En edificis municipals és habitual que els emissors instal·lats per calefacció siguin radiadors d'alumini i que, per tant, la calefacció es realitzi amb aigua calenta. En aquest apartat només es mencionarà aquells emissors compatibles amb aigua, per tant amb bombes de calor aire-aigua i aigua-aigua.

Avaluació d'emissors existents i adequació a baixa temperatura

En molts casos, la potència dels emissors estan sobredimensionats i abans de substituir-los, es recomana:

- Revisar la potència instal·lada i recalculat la potència emissiva dels radiadors a règims de baixa temperatura (per exemple a temperatures d'impulsió de 45 °C i un salt tèrmic de 10 °C) per justificar si poden mantenir el confort.
- Fer proves prèvies durant un hivern: reduir progressivament la temperatura d'impulsió de la caldera existent i verificar confort (temperatures interiors, temps de recuperació,...). Aquesta prova aporta evidència real del marge disponible i pot evitar canvis innecessaris d'emissors.
- Verificar la potència per recinte en els diferents escenaris de càlcul (estat actual i escenaris amb ventilació, millores d'envolupant, etc.), evitant sobredimensionats futurs.

Tipologies d'emissors i rangs típics de treball

Els emissors compatibles amb bombes de calor més són:

Emissor	Temperatura d'impulsió (Calefacció)	Temperatura d'impulsió (Refrigeració)
Terra radiant	30-40 °C	16-18 °C
Ventiloconvectors (fancoil)	40-50 °C	6-8 °C
Radiadors baixa temperatura	40-50 °C	No adequats per fred
Radiadors convencional	50-70 °C	No adequats per fred

Taula 8 Tipologies d'emissors i temperatura d'impulsió habitual. **Nota:** els rangs són orientatius; el règim final s'ha d'ajustar a càrregues, emissors reals i estratègia de control. **Font:** Elaboració pròpia

Consideracions

- El terra radiant és molt eficient en calefacció i refrigeració. En refrigeració cal controlar bé el punt de rosada i deshumidificar si s'escau.
- Els ventiloconvectors són la solució més flexible per calefacció i refrigeració, però requereix un bon control, drenatges de condensats per refrigeració i una adequada ventilació.
- Si només es vol calefacció pot ser viable mantenir radiadors (si mantenen el confort a temperatures d'impulsió més baixes). En aquest cas, el projecte ha de definir un règim d'impulsió objectiu (el més baix possible) i comprovar que la bomba de calor pot cobrir la potència a les temperatures exteriors de disseny.
- Si es vol calefacció i refrigeració cal descartar la opció de mantenir els radiadors. El que es sol fer és substituir-los per ventiloconvectors i adaptar el circuit hidràulic. En aquest cas, com ja s'ha comentat, al modificar la instal·lació tèrmica interior, caldrà adequar la ventilació de l'edifici segons normativa i per tant, és una modificació que anirà acompanyada d'altres actuacions.

4.4 Elecció de l'esquema per l'ACS

És habitual que en equipaments municipals l'esquema de l'ACS estigui compost d'un sistema generador centralitzat amb acumulació i recirculació. Aquest esquema és interessant quan hi ha un ús intensiu i continu (piscines climatitzades, centres esportius d'ús diari,...) perquè les pèrdues per distribució i acumulació no són altes comparativament amb la necessitat d'ACS per a ús final. En canvi, en equipaments amb ús irregular, amb franges d'ús de ACS curtes o que no té un control sobre l'activitat, pot penalitzar molt el consum energètic total.

Es recomana quantificar les pèrdues de recirculació, acumulació i funcionament fora d'hores abans d'escollir un esquema centralitzat o descentralitzat per la producció de l'ACS. No hi ha un llindar establert que determini quin percentatge de pèrdues energètiques justifiquen un esquema descentralitzat però per sobre el 40 % convé valorar-ho, ja sigui per redissenyar la distribució o directament per canviar d'esquema.

Arribats a aquest punt es descriu els dos esquemes proposats i les consideracions que cal tenir en compte.

Esquema descentralitzat

En aquest esquema no hi haurà recirculació i la producció d'ACS es realitzarà propera al punt de d'ús. La producció serà doncs instantània o bé amb petits acumuladors, a continuació se n'esmenten alguns:

- **Escalfadors instantanis elèctrics:** Ocupen poc espai i no necessiten dipòsit d'acumulació. Donat que escalfen l'aigua just en el moment d'ús, també faciliten el control del risc de legionel·la. El principal inconvenient és que requereixen una potència elèctrica elevada per donar el cabal necessari. Per rentamans amb 6 kW pot ser suficient. Per dutxes o cuines és habitual necessitar aproximadament 13-27 kW elèctrics. L'augment de potència a

contractar i l'adequació de la instal·lació elèctrica ho fa indicat per pocs punts de consum i baixa simultaneïtat.

- **Acumuladors amb resistència elèctrica:** Ocupen més espai que els instantanis i es dimensionen segons la demanda, ja que el volum determina la capacitat de reserva. En perfils petits (M) és habitual trobar equips de 100–300 L amb 1–3 kW de resistència; en volums grans (per exemple 1.000 l) la resistència pot arribar fins a 10 kW. Amb un control adient és una opció més econòmica que els escalfadors instantanis, i permeten una bona coordinació amb sistemes d'autoconsum fotovoltaic.
- **Acumulador amb bomba de calor integrada:** Es tracta d'una solució compacta on hi ha una bomba de calor que produeix l'ACS i el dipòsit d'acumulació en el mateix equip. La bomba de calor s'utilitza només per ACS per tant ha de permetre arribar a la suficient temperatura per complir els requeriments de legionel·la (60 °C). N'hi ha de diferents tipus segons la classificació de bombes de calor prèviament definides (compactes, partits...).

Aquests sistemes estan condicionats també pel volum mínim que requereix l'equipament. Com s'ha comentat anteriorment, per sobre 100 l/dia caldrà garantir la contribució mínima renovable de l'ACS segons CTE DB-HE4. Per tant, en els casos on la producció d'ACS sigui a partir d'una resistència elèctrica s'hauria de justificar que un mínim prové a partir d'autoproducció fotovoltaica. Per calcular la potència fotovoltaica per cobrir la demanda mínima amb contribució renovable s'ha de tenir en compte l'autoconsum real fent un balanç mensual (si hi ha emmagatzematge o altres punts de consum).

El següent exemple mostra el consum energètic del sistema d'ACS existent en una llar d'infants, compostat per caldera de gas de calefacció i acumulador centralitzat de 500 litres i recirculació. Amb 100 places i un consum segons CTE de 4 litres/dia per usuari a 60 °C, la distribució energètica del consum anual indica un 55 % de pèrdues. La següent figura mostra les alternatives estudiades, incloent un nou sistema centralitzat amb bomba de calor, descentralitzat amb termos elèctrics a cada bany (7 unitats) i un mix d'escalfadors instantanis de 6 kW a piques (5 uts) i 2 termos (un a la cuina i l'altra a la dutxa). En aquests últims caldria justificar una cobertura renovable del 60 %.

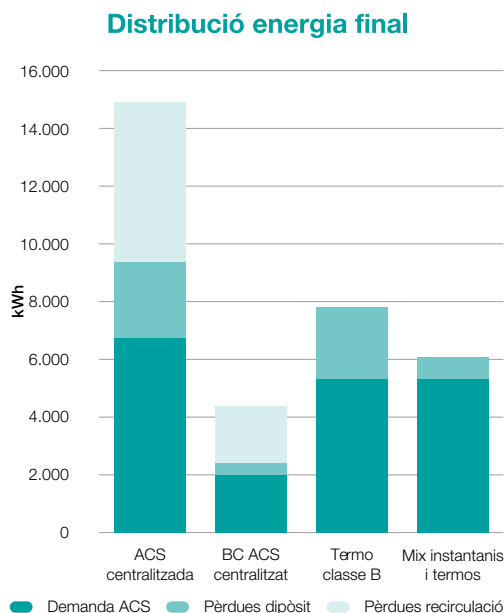


Fig. 11 Distribució en kWh de l'energia final d'un sistema d'ACS comparant diverses solucions tècniques. **Font:** Elaboració pròpia

Esquema centralitzat

En aquest esquema hi haurà recirculació i la producció d'ACS es realitzarà més allunyada dels punts d'ús. Algunes mesures que cal implementar per fer més eficient el sistema és disposar d'un bon control d'engegada (programació horària o control per demanda), reduir la consigna de temperatura en hores de poc ús (sense comprometre criteris sanitaris), aplicar un control de cabal a la bomba de recirculació i aïllar les canonades i el dipòsit. La producció es podria realitzar per mitjà de diferents sistemes de bomba de calor, tal i com es descriu.

- **Bomba de calor d'alta temperatura només per ACS:** Es tracta d'una bomba de calor que produeixi ACS en una única etapa, és a dir a partir de la temperatura de l'aigua freda i de la recirculació. Pot ser adient, en alguns casos en que no es pugui aprofitar el disseny dels equips de climatització o la demanda tèrmica d'ACS sigui significativament superior a la de climatització (interessa independitzar la producció), o significativament inferior (no interessa invertir en un excés de potència de bombes de calor d'alta temperatura que són més cares).
- **Bomba de calor com a segona etapa (booster):** Consisteix en que una bomba de calor elevi la temperatura a partir d'una font pre-escalfada, normalment a partir d'un acumulador. Aquest acumulador pot ser alimentat a partir d'una altra bomba de calor (primera etapa) que en ocasions pot servir pel sistema de calefacció que requereix una temperatura més baixa que l'ACS. Aquest esquema pot ser útil quan la demanda d'ACS no sigui significativament superior a la de climatització. L'escalfament en dos etapes sol penalitzar el rendiment respecte una sola etapa, a menys que la primera etapa es realitzi aprofitant calors residuals, una recuperació de calor d'una refredadora o bomba de calor polivalent.
- **Hub energètic:** amb qualsevol dels sistemes de producció anterior, en comptes d'acumular aigua calenta sanitària, s'acumula calor en un dipòsit d'inèrcia estratificat (amb discs estratificadors i col·lectors interiors, maniflows) amb un control acurat de la temperatura de retorn, i estacions de producció instantània d'ACS amb bescanviadors de calor de plaques i bombes de cabal variable. Aquests sistemes optimitzen el consum energètic i redueixen el risc de proliferació de la legionel·la.

A l'hora de pre-dimensionar el dipòsit d'inèrcia es pot valorar uns 10 – 20 litres per kW per tal d'evitar cicles curts del compressor. Preveure que cada fabricant té els seus propis paràmetres vinculats a les garanties.

4.5 Sistema de distribució i hidràulica

És determinant perquè la bomba de calor treballi dins del seu rang de cabals i temperatures, amb estabilitat, eficiència i sense problemes d'operació (sorolls, desequilibris, parades per falta de cabal, brutícia, etc.). S'apunten 5 criteris de disseny a tenir en compte:

Tipologia de sistema de distribució

- **Sistema directe:** La bomba de calor alimenta directament els emissors. És més senzill i amb menys pèrdues, però exigeix que el cabal mínim/màxim requerit per la bomba de calor sigui compatible amb la modulació de la instal·lació (canvis de demanda, vàlvules de zona, terminals que tanquen, etc.). Pot incloure dipòsit d'inèrcia en sèrie al retorn.
- **Sistema amb separació hidràulica:** S'introdueixen elements per desacoblar el circuit de la bomba de calor (primari) del circuit de distribució (secundari). Aporta robustesa davant variacions de cabal i facilita la zonificació, especialment en reformes amb circuits existents i emissors heterogenis. L'agulla hidràulica facilita el control quan hi ha múltiples zones o circuits existents amb incertesa de pèrdues de càrrega. El dipòsit d'inèrcia aporta volum d'aigua, estabilitza el funcionament (menys cicles curts), pot ajudar a garantir cabal mínim i és especialment útil en circuits amb poca inèrcia o forta modulació per vàlvules.

Hidràulica i equilibrat

- **Cabals de disseny:** S'han de calcular per a cada circuit i per a cada règim de treball (tant per calefacció com per refrigeració) a partir de les potències i del salt tèrmic previst. Cal verificar també el cabal mínim admès per la bomba de calor i els cabals mínims dels terminals.
- **Bombes primàries i secundàries:** En sistemes amb separació hidràulica és habitual disposar d'una bomba primària per la bomba de calor i una o diverses bombes secundàries per la distribució. Es pot fer la selecció d'aquestes bombes basant-se en rang de cabal, alçada manomètrica i punt de treball real (incloent pèrdues a vàlvules, filtres, intercanviadors, bateries, etc.).
- **Vàlvules de control:** Les de 2 vies afavoreixen el cabal variable, però cal assegurar cabals mínims de la bomba de calor (mitjançant desacoblament, dipòsit d'inèrcia o bypass controlat). Les de 3 vies poden facilitar cabal constant en certs circuits o terminals, però pot penalitzar l'eficiència i no sempre és necessari.
- **Control de terminals:** Definir si és engegada/parada o modulant. La modulació redueix oscil·lacions i millora confort i eficiència, però requereix una regulació coherent.
- **Equilibrat hidràulic:** Preveure vàlvules d'equilibri o PICV (vàlvules independents de pressió) als ramals/terminals per garantir cabals de disseny, limitar excés de cabals i facilitar la posada en marxa.

Dimensionament de canonades i aïllaments

- **Dimensionament de diàmetres:** Per complir velocitats màximes raonables (sense tenir soroll ni erosió) i pèrdues de càrrega compatibles amb l'alçada manomètrica disponible, evitant sobredimensionaments que penalitzen cost i inèrcia, o infradimensionaments que penalitzen consum i control.
- **Especificació de materials i aïllaments:** Obligatori i especialment crítics en circuits de refrigeració per evitar condensacions i pèrdues energètiques.

Qualitat de l'aigua i seguretat

- **Separadors:** De llots, ferritja (magnètics) i d'aire col·locats en punts adequats (zones de baixa velocitat, retorns principals). Molt important per protegir bombes de calor noves connectades a sistemes de clima i calefacció antics.
- **Elements de seguretat:** Filtres, vas d'expansió, vàlvules de seguretat, manòmetres, purgadors i punts de buidatge/ompliment correctament dimensionats.
- **Protecció contra la corrosió:** Neteja química del sistema de distribució per evitar avaries.
- **Pla de manteniment i tractament de l'aigua del circuit.**

4.6 Aspectes de contorn i condicionants previs

Per tal de definir el dimensionament de la bomba de calor, cal verificar un conjunt d'aspectes de contorn que poden condicionar la viabilitat tècnica, el cost i el calendari de la intervenció. Aquests condicionants s'han d'identificar a l'inici del projecte per evitar redissenys i garantir que la instal·lació es pot executar i legalitzar correctament. S'apunten 4 aspectes a considerar:

Context urbà i xarxes de districte

En entorns urbans consolidats, pot ser rellevant considerar:

- La possibilitat de connexió a una xarxa de calor/fred de districte (existent o prevista), especialment si l'edifici és gran, té ús intensiu o hi ha una estratègia municipal de xarxes de districte.
- La compatibilitat amb planificació urbana, obres previstes, servituds i disponibilitat d'espai per a traçats i sales tècniques.

Espai disponible, accessibilitat i condicionants normatius municipals

La ubicació de la unitat exterior de la bomba de calor i els elements associats (mòduls, circuits hidràulics, UTA si escau) pot ser un factor limitant:

- Disponibilitat d'espai (coberta, patis, façana, sala tècnica) i requisits de separacions, ventilació de l'equip, drenatges i traçats de canonades.
- Accessibilitat per a muntatge i manteniment (grues, passos, càrrega estructural, recorreguts, espai de maniobra).
- Compliment de normativa municipal (ocupació de via pública per obra, impacte visual o sonor, restriccions en façanes/cobertes, protecció patrimonial, etc.).

Confort acústic i vibracions

Les bombes de calor, especialment les aerotèrmiques, poden generar soroll i vibracions que afectin a veïns, per tant cal avaluar el risc acústic segons emplaçament,

façanes properes, patis interiors i horaris d'ús (nit/dia). Cal verificar el compliment de criteris i ordenances acústiques aplicables i, si cal, incorporar un estudi acústic específic.

Les mesures recomanades que atenuen el soroll de les màquines exteriors de clima i poden reduir els nivells de soroll que reben els edificis o espais veïns i són:

- Instal·lació d'un sistema d'atenuació acústic i panells atenuadors.
- Assegurar que la velocitat dels ventiladors potenciat puguin ser configurable per tal de poder-los reduir en cas que es generin molèsties.
- Escollir el model de màquina "silenciat", a vegades els fabricants ofereixen variants amb carcasses reforçades acústicament i silenciadors als ventiladors
- Disposar de bandes antivibradores a les connexions del conducte d'aire per a reduir la transmissió de les vibracions.
- Instal·lar maniguets antivibradores a les canonades hidràuliques.
- Recolzament de la màquina sobre silenciadors segons les especificacions del fabricant o empresa especialista.

Potència elèctrica disponible i adequació de la instal·lació existent

Un cop s'ha determinat la tecnologia de la bomba de calor (i els equips auxiliars associats) atenent als criteris detallats a l'apartat 4.7, es disposarà de la potència elèctrica a instal·lar. Caldrà tenir en compte que s'incrementarà el pes del consum elèctric de l'edifici així com també la potència total instal·lada de la instal·lació existent. Per això, cal:

- Estimar la potència elèctrica necessària dels nous equips en els diferents escenaris de funcionament (calefacció, refrigeració i ACS si escau), considerant simultaneïtats i arrencades.
- Revisar l'estat actual del quadre principal de la instal·lació: capacitat d'ampliació, capacitat de les proteccions, seccions de cablejat, etc... Comprovar la capacitat de l'interruptor general automàtic i de la derivació individual.
- Dissenyar l'ampliació de la instal·lació elèctrica existent que sigui més convenient per tal de poder donar servei als nous equips que cal instal·lar.
- Reserva d'espai per a nous equips (p. ex. quadres, comptatge, protecció contra sobretensions) i compatibilitat amb la instal·lació existent.

Abans de l'ampliació d'una instal·lació elèctrica s'ha de verificar que aquesta estigui inscrita al RITSIC, sinó s'haurà de seguir el procediment d'inscripció que es detalla a l'article 9 del Decret 192/2023. Caldrà verificar també que es disposi de la pertinent documentació tècnica actualitzada com és la memòria tècnica o projecte, segons s'escaigui i el certificat d'instal·lacions elèctriques. Si no es disposa de registre al RITSIC ni de la documentació tècnica pertinent, caldrà preveure en el projecte executiu la regularització de la instal·lació elèctrica existent.

Adequació de l'escomesa i tràmits a amb la empresa de distribució elèctrica

Si s'ha de incrementar la potència màxima admissible de la instal·lació, caldrà sol·licitar l'ampliació de la capacitat admissible de l'escomesa a la empresa de distribució elèctrica. Els aspectes a tenir en compte són:

- Un cop es tingui la proposta definitiva del disseny de la instal·lació elèctrica i abans de la redacció del projecte executiu, es recomanable iniciar amb antelació la petició de punt d'accés i connexió amb la distribuïdora elèctrica, a fi de preveure terminis i condicionants (potències, reforços, etc.).
- Si l'increment de la potència instal·lada és superior al 50 % caldrà adequar la instal·lació d'enllaç a la normativa tècnica particular de la empresa de distribució elèctrica. Això suposa revisar o actualitzar: la CGP, el conjunt de protecció i mesura, canalitzacions i proteccions.
- L'adequació de la instal·lació d'enllaç a la normativa tècnica particular de la empresa de distribució elèctrica pot suposar la modificació dels elements constructius de la instal·lació d'enllaç, o si aquest no pot ser modificat per a donar compliment a la normativa tècnica particular, valorar el trasllat de la ubicació dels equips.

L'augment de la potència contractada suposa haver de pagar uns dret d'escomesa i drets de connexió. Els drets d'escomesa estan dividits amb els drets d'extensió i els drets d'accés. El dret d'extensió té un cost regulat per llei de 17,37 € per cada kW d'augment. Si es supera la capacitat màxima a contractar per l'escomesa, també caldrà abonar els costos de dret d'accés que aquests tenen un cost de 19,7 € per cada kW d'augment. Els drets de connexió per a tur e terme el tràmit, el qual aquest té un cost de 9,04 €+IVA.

L'augment de la potencia contractada, generarà un augment del terme fix de la factura que no es pot veure compensat amb l'autoconsum.

4.7 Elecció i dimensionament de la bomba de calor

L'elecció i el dimensionament de la bomba de calor s'han de basar en les càrregues tèrmiques calculades i en el règim de funcionament dels emissors, evitant prendre directament la potència instal·lada de la caldera existent. A continuació es descriuen els passos que es poden seguir per l'elecció de la bomba de calor:

Elecció de tipologia de bomba de calor en funció del context urbà

- **Bomba de calor aigua-aigua a través d'una xarxa de districte:** Pot ser interessant si hi ha disponibilitat d'espai per les perforacions geotèrmiques o fonts d'aigua, es vol aprofitar la intervenció en un edifici per millorar les condicions en edificis propers a través d'una xarxa de calor i fred de districte, es vol minimitzar l'efecte de l'impacte visual, les vibracions, el soroll, la sobrecarrega estructural o la calor emesa pels equips que intercanvien energia amb l'aire.

- **Bomba de calor aire-aigua o aire-aire:** Habitual com a solució individual en edificis existents per cost i facilitat d'implantació, condicionada per espai, impacte visual, acústica i l'efecte d'illa de calor.

Estratègia de dimensionament de la bomba de calor

A continuació es descriuen algunes consideracions que poden ajudar a definir quina és la potència de la bomba de calor:

- **Aprofitar calderes existents de manera provisional:** En alguns edificis municipals pot ser adequat adoptar una estratègia bivalent: dimensionar la bomba de calor per cobrir la major part de l'energia anual i utilitzar un sistema de suport per a les puntes o condicions extremes (per exemple les calderes existents). Aquesta estratègia pot ser especialment interessant si les intervencions a l'edifici es fan en diferents fases i es preveu una reducció de les càrregues tèrmiques en intervencions futures (rehabilitació de l'envolupant tèrmica, incorporació de ventilació i recuperació de calor, etc.) i evitaria sobredimensionar de forma excessiva la bomba de calor. Una opció per evitar dependre en excés de la caldera existent és instal·lar-la en paral·lel amb la bomba de calor contra un dipòsit d'inèrcia.
- **Dimensionar en base als càlculs tèrmics i les dades del fabricant de bombes de calor:** En cas de disposar del càlcul de càrregues tèrmiques horàries es pot dimensionar la bomba de calor per cobrir el 99 % de la demanda (o un altre valor) que assegurí un confort en la gran majoria de l'any però eviti sobredimensionaments excessius. Es pot creuar la potència tèrmica necessària amb les temperatures exteriors (en cas de les bombes de calor que intercanvien energia amb l'aire) o amb la temperatures de l'aigua o el subsol (en cas de les bombes de calor que intercanvien energia amb l'aigua) que aporten les fitxes tècniques del fabricant per acabar de determinar la potència necessària.

4.8 Disseny de la sala tècnica, i emplaçament per a les unitats exteriors i interiors

En aquesta secció es descriuen algunes consideracions a tenir en compte a l'hora de fer el disseny de la sala tècnica:

Espai, accessibilitat i manteniment

- Preveure espais de pas i maniobra, accessos per substitució d'equips (portes, escales, recorreguts), i espais de manteniment al voltant de BC, col·lectors, bombes, filtres, separadors, etc.
- Considerar si la caldera existent es manté com a element de suport i respectar l'espai per a elements hidràulics (dipòsit d'inèrcia, separació, col·lectors), i per a futures ampliacions.

Ventilació de la sala i evacuació de condensats

- Assegurar una ventilació adequada de la sala tècnica (i, si hi ha equips frigorífics amb refrigerant a l'interior, seguir criteris de seguretat específics). El RITE i la normativa frigorífica remeten a requisits de ventilació/detecció en funció del refrigerant i l'emplaçament.
- Preveure l'evacuació de condensats (especialment en mode calefacció en aerotèrmia i en equips que produeixen condensació), amb punts de desguàs, sifonats i protecció davant gelades si escau.

Protecció contra incendis

- Verificar requeriments de sectorització, reacció/resistència al foc d'elements i recorreguts d'evacuació, i la dotació d'instal·lacions de protecció segons l'ús i el risc de la sala (criteris del CTE DB-SI). Si es mantenen calderes de gas/gasoil, recordar que continuen aplicant criteris de seguretat i manteniment associats a la instal·lació existent.

Criteris acústics i vibracions

- Avaluar el risc d'immissió sonora a recintes interiors i a veïns (especialment si les unitats queden a coberta/pati/façana) i definir mesures: ubicació, pantalles, distàncies, i suports antivibració i connexions flexibles.
- Considerar també el soroll i vibració de bombes, canonades i flux d'aigua (ancoratges, passos a estructura, etc.).

Emplaçament exterior (unitats aerotèrmiques i equips a coberta/patis)

- Garantir circulació d'aire (evitar recirculació d'aire fred/calent), distàncies mínimes a obstacles i ubicacions que no comprometin el rendiment.
- Comprovar càrregues estructurals, vibracions a l'edifici i accessos de muntatge (grua), i compatibilitat amb ordenances/condicionants municipals (impacte visual i soroll).
- Si hi ha refrigerants amb requeriments específics (p. ex. A2L com el R290), considerar criteris de seguretat aplicables (font d'ignició, ventilació en espais confinats, etc.)

4.9 Elements de regulació i control

A continuació es descriuen algunes de les estratègies de regulació i control a tenir en compte:

Estratègia de control de la temperatura d'impulsió (corba climàtica)

El principi bàsic per maximitzar SCOP i el SEER és adaptar la temperatura d'impulsió a la demanda, habitualment mitjançant compensació per temperatura exterior (corba climàtica) i/o control modulant. Això redueix temperatures d'aigua d'impulsió

a mesura que augmenta la temperatura exterior, millora l'eficiència i estabilitza el funcionament. En instal·lacions amb circuits d'aigua, aquesta lògica s'ha de coordinar amb consignes de temperatura d'impulsió i salt tèrmic, el control de pressió i cabal de les bombes.

Control horari i per zones

Si es pot disposar d'una calendarització de les activitats dutes a terme a l'edifici, així com les diferents zones tèrmiques a climatitzar es poden adoptar estratègies diferents i evitar climatitzar de manera continua i homogènia a totes les zones.

Control del sistema auxiliar i punt de bivalència

Si existeix suport (caldera existent), el control ha de definir explícitament quin és el punt de bivalència (per temperatura exterior, càrrega o límit de potència) i les condicions d'entrada/sortida del suport per evitar solapaments ineficients i cicles curts.

Regulació de ventilació

Quan hi ha UTA o ventilació mecànica, la regulació ha d'incloure control horari i/o ventilació per demanda (DCV) ajustant cabal a la necessitat real segons els indicadors que es vulgui controlar (CO_2 , ocupació, humitat).

Sistema de control i adquisició de dades

En equipaments municipals és molt recomanable disposar de supervisió per detectar desviacions i optimitzar consignes de temperatura, salts tèrmics, el consum elèctric, hores de funcionament, alarmes, etc.

Integració amb fotovoltaica: estratègies d'autoconsum i desplaçament de càrregues

Alguns inversors fotovoltaics o sistemes de gestió energètica disposen d'una sortida lliure de potencial que poden tancar en llindars determinats de producció solar o d'excedent a xarxa. Aquesta senyal pot fer funcionar la bomba de calor a determinades temperatures d'operació per acumular energia tèrmica per a calefacció o refrigeració mitjançant acumuladors d'inèrcia.

L'optimització del sistema fotovoltaic i climatització i ACS també pot funcionar mitjançant una integració domòtica. Els fabricants de bombes de calor disposen de passarel·les que permeten traduir el llenguatge de la seva electrònica al protocol estàndard de comunicació ModBus.

Amb aquesta solució es poden modificar moltes variables per tal d'optimitzar els dos sistemes, temperatures d'impulsió, modes d'operació, engegades i aturades, etc.

Alguns fabricants de bombes de calor incorporen modes d'operació adaptatius, que operen al 100 % fins arribar a temperatures de consigna de confort establertes per l'usuari i un cop assolides modulen el règim de funcionament de les bombes de calor a partir de la producció o excedent fotovoltaic. Per a què això succeeixi, l'excedent fotovoltaic ha de ser com a mínim superior a la etapa mínima d'arrancada del compressor.

5

Exemples de projectes

Es presenten quatre casos amb diferents configuracions de climatització i diferents tipologies d'edificis municipals, aportant quina ha estat la solució adoptada en cada cas. A la següent taula es pot veure el resum de la situació inicial i de les actuacions proposades:

Casos	1	2	3	4
Tipologia equipament municipal	Centre educatiu	Oficines	Centre esportiu	Altres usos
Zona climàtica	C2	D1	C3	D2
Sistema de calefacció inicial	Caldera de gas	Caldera de gas	Caldera de gasoil	Caldera de gas
Emissors inicials per calefacció	Radiadors alumini + aerotermos	Radiadors alumini	Aerotermos	Radiadors alumini
Sistema de refrigeració inicial	Bomba calor aire-aire	Bomba calor aire-aire	Sense refrigeració	Bomba calor aire-aire
Emissors inicials per refrigeració	Splits en zones puntuals	Splits	-	Splits
Auditoria energètica	Nivell avançat	Nivell avançat	Nivell complet	Nivell complet
Implementació per fases	Sí	Sí	No	No
Substitució caldera per bomba de calor	Sí	Sí	Sí	Sí
Ventilació + AC + Recuperació calor	Sí	Sí	Sí	No
Climatitzar a través de la ventilació	No	No	Sí	No
Modificació emissors inicials	Sí (Fase B)	Sí (Fase C)	Sí	No
Rehabilitació envolupant	No (Fase A i B) Sí (Fase C)	Sí (Fase D)	No	No
Xarxa de districte	Sí	No	No	No

Taula 9 Resum dels casos pràctics exposats. Font: Elaboració pròpia

5.1 Centre educatiu

5.1.1 Estat inicial

Es tracta d'un centre educatiu en una localitat de 5.000 habitants en una zona climàtica C2. Aquest centre consisteix en un conjunt de 4 edificis:

- **Edifici de primària:** La calefacció es realitza amb una caldera de gas (264 kW) per donar servei de calefacció a les aules i despatxos amb radiadors d'alumini. Només hi ha refrigeració en zones puntuals com despatxos o sales grans amb bombes de calor aire-aire 1 x 1. La instal·lació d'ACS no està operativa.

- **Edifici infantil:** La calefacció es realitza amb una caldera de gas (70 kW) per donar servei de calefacció a les aules amb radiadors d'alumini. No hi ha refrigeració. L'ACS es realitza amb un escalfador d'aigua elèctric als lavabos.
- **Edifici de la llar d'infants:** La calefacció es realitza amb una caldera de gas (60 kW) per donar servei de calefacció a les aules amb radiadors d'alumini. Hi ha refrigeració en una sala amb una bomba de calor aire-aire 1x1. L'ACS es realitza amb un escalfador d'aigua elèctric als lavabos.
- **Gimnàs:** La calefacció es realitza amb una caldera de gas (95 kW) per donar servei de calefacció amb aerotermos. No hi ha refrigeració. Hi ha dipòsits per l'acumulació d'ACS de 1.000 litres.

5.1.2 Proposta de descarbonització i electrificació

Auditoria energètica: Es realitza una auditoria energètica detallada (nivell 3), que permet dimensionar amb molta precisió les càrregues i demandes tèrmiques en diferents escenaris i permetrà dimensionar amb precisió la bomba de calor. Es realitza el càlcul en 3 fases: A) l'estat actual, B) incorporant ventilació mecànica, recuperadors de calor i ventiloconvectors com a elements terminals i C) rehabilitant l'envolupant tèrmica a cadascun dels edificis.

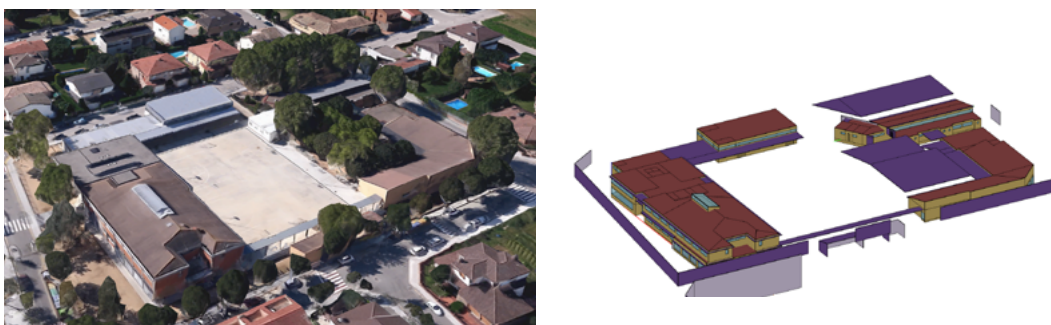


Fig. 12 Imatge del centre educatiu i model tèrmic resultant de l'auditoria energètica (Cas núm. 1)

Es presenten els indicadors més rellevants del CEE per unitat de superfície:

Consum d'energia final [kWh/m ²]	84
Consum d'energia primària no renovable [kWh/m ²]	102
Emissions de diòxid de carboni [kgCO ₂ eq/m ²]	16
Demanda calefacció [kWh/m ²]	58
Demanda ACS [kWh/m ²]	8
Demanda refrigeració [kWh/m ²]	5

Taula 10 Ratis energètics del CEE en l'estat actual (Cas núm. 1)

De la anàlisi de càrregues i demandes amb resolució horària es pot determinar amb precisió quina és la potència necessària per assegurar una cobertura del 99 % de la demanda tèrmica per calefacció i refrigeració pels diferents escenaris segons els dies de disseny. En la següent imatge es pot veure el resultat de la distribució

horària de les demandes i càrregues en funció de la temperatura exterior per l'estat actual al llarg d'un any a l'edifici de primària (el més gran):



Fig. 13 Distribució horària de les demandes i càrregues en funció de la temperatura exterior (Cas núm. 1) Font: SUNO

S'observa que en l'estat actual la potència de la caldera de gas està sobredimensionada per les necessitats actuals i que una substitució de la caldera de gas per una bomba de calor de la mateixa potència hagués estat un error.

A la següent taula es presenta les càrregues tèrmiques resultants per cobrir el 99 % de les hores pels dies de disseny corresponent a la zona climàtica per l'edifici de l'escola primària i per les diferents fases d'intervenció:

	Fase A	Fase B	Fase C
Càrrega per calefacció [kW]	169	135	101
Càrrega per refrigeració [kW]	97	78	80

Taula 11 Càrregues de disseny per diferents escenaris (Cas núm. 1)

En la fase B disminueix significativament la càrrega per calefacció i refrigeració a l'incorporar la ventilació mecànica i recuperadors de calor comparat amb la fase A on la ventilació es produïa de manera natural (obrint finestres).

A la fase C la càrrega de refrigeració augmenta lleugerament al ja tenir l'edifici optimitzat les proteccions solars a la fase B i al millorar l'envolupant tèrmica. La càrrega de calefacció disminueix considerablement.

Full de ruta d'intervenció a l'edifici

Es dissenya el full de ruta d'actuacions en l'edifici pensant en realitzar tres intervencions per dividir la inversió inicial.

En la primera fase es substituirà la caldera de gas per una bomba de calor, per tant la potència de disseny de la bomba de calor serà la fase actual. Només caldrà adequar la sala tècnica on es troba la caldera de gas, sense modificar les instal·lacions interiors. En una segona fase s'incorporarà la ventilació i el condicionament de l'aire i s'incorporarà ventiloconvectors per proporcionar calefacció i refrigeració. En la tercera fase es rehabilitarà l'envolupant tèrmica per reduir les demandes, especialment de calefacció.

Donat que l'edifici funcionarà un temps en la primera fase, es dimensionarà la bomba de calor per cobrir les necessitats de refrigeració de l'estat actual i les necessitats de calefacció i refrigeració de les següents fases. Per cobrir els pics de potència per calefacció a la fase 1 s'hibridarà la bomba de calor amb una de les caldera de gas existents. Per tant, es proposa la instal·lació d'una bomba de calor que combinat amb el sistema de disseny permeti assolir 135 kW de calefacció i 97 de refrigeració per al 99 % de hores de l'any.

Per la resta d'edificis que són més petits es dimensionarà la bomba de calor per cobrir les necessitats de calefacció i refrigeració en l'estat actual, tot i que això impliqui un sobredimensionat en fases futures

Context urbà

Aprofitant que es donarà cobertura a 4 edificis independents i es disposa d'espai exterior es planteja realitzar una xarxa de districte de calor i fred a baixa temperatura per donar servei no només al centre educatiu sinó també els edificis que es troben a les proximitats.

S'analitza quina són les necessitats tèrmiques per calefacció, refrigeració i ACS a partir d'una simulació energètica als edificis propers per dimensionar la magnitud de la infraestructura de climatització conjunta.

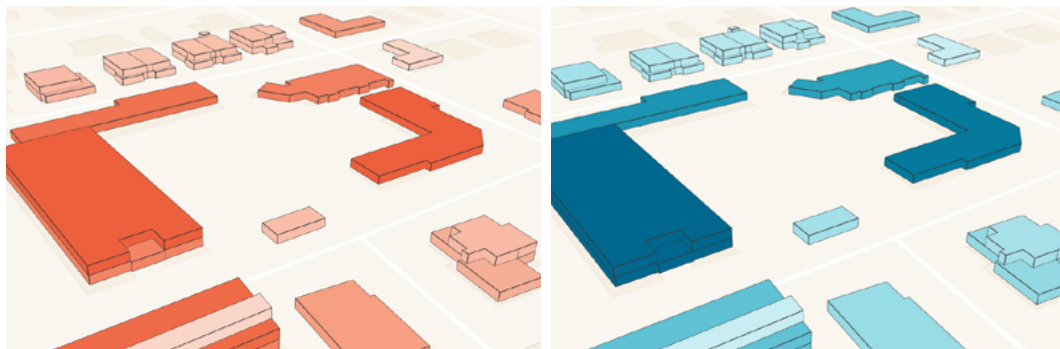


Fig. 14 Demandes energètiques dels edificis propers al centre educatiu (Cas núm. 1). Font: SUNO

El disseny de la xarxa de districte que permet utilitzar a tots els edificis un sistema de climatització compartit no és objecte d'estudi d'aquesta guia. A nivell de cada edifici l'intercanvi d'energia amb la font externa serà amb l'aigua que circula a una temperatura constant (15 – 20 °C) durant tot l'any.

A l'apartat 2.5 ja s'ha comentat les diferències conceptuals entre les bombes de calor per a solucions individuals o per solucions col·lectives (xarxes de districte).

Solució proposada

En el cas de l'edifici de primària, es proposa la instal·lació d'una bomba de calor aigua-aigua per cobrir la càrrega de refrigeració per l'estat actual (97 kW) i cale-

facció (135 kW). Per cobrir els pics de potència per calefacció s'hibridarà amb una caldera de gas de 60 kW (Existent en un dels altres edificis del centre educatiu). La potència de la bomba estarà dimensionada també per les fases B i C.

A més, es planteja una bomba de calor aigua-aigua per a ús en una xarxa de districte de baixa temperatura. En aquest cas, s'escull bombes de calor aigua-aigua per ser eficient i econòmic que les bombes de calor aire-aigua.

Conclusions

Les actuacions en els diferents fases suposa:

	Fase A	Fase B	Fase C
Pressupost [€]	350.000	250.000	450.000
Reducció demanda energètica (%)	0	13	34
Reducció de l'energia primària no renovable (%)	53	72	79
Reducció d'emissions [tones CO ₂ eq]	23	31	33

Taula 12 Resum dels indicadors per a cada fase (Cas núm. 1)

5.2 Administratiu

5.2.1 Estat inicial

Es tracta d'un ajuntament en una localitat de 15.000 habitants en una zona climàtica D1. Aquest centre consisteix en un conjunt d'oficines en un edifici emblemàtic.

Per al servei de calefacció es disposa de radiadors d'alumini d'alta temperatura a totes les estances, alimentats amb una caldera central de gas natural (61 kW). En alguns espais disposen també de bombes de calor aire-aire que permeten treballar en mode calefacció. Puntualment, també es disposa de radiadors per efecte Joule. Per al servei d'ACS es disposa d'un acumulador amb resistència elèctrica (1,2 kW i 30 litres). Per la refrigeració, l'equipament disposa de bombes de calor aire-aire, tipus split 1x1, amb fins a 8 unitats repartides i controlades independentment.



Fig. 15 Unitats exteriors de les bombes de calor aire-aire (Cas núm. 2). Font: SUNO

L'edifici no disposa d'un sistema de ventilació mecànica dedicat als espais habitables, tan sols d'algun sistema puntual d'extracció d'aire de banys, que funciona mitjançant el mateix interruptor de l'enllumenat de l'espai, amb temporitzador. Per tal de garantir una mínima qualitat de l'aire a les zones que son mes freqüentades per visitants es disposa de dos purificadors d'aire (equips de filtratge).

5.2.2 Proposta de descarbonització i electrificació

Auditoria energètica: Es realitza una auditoria energètica detallada (nivell 3), que permet identificar moltes mesures per la millora de l'eficiència energètica, més enllà de la proposta d'electrificació i descarbonització. Cadascuna de les mesures es descriu a l'auditoria indicant els estalvis energètics, l'estalvi en emissions de CO₂, la inversió necessària, l'estalvi econòmic anual i el període de retorn. En aquest apartat només es farà menció explícita al fet de substituir la caldera de gas per una bomba de calor.

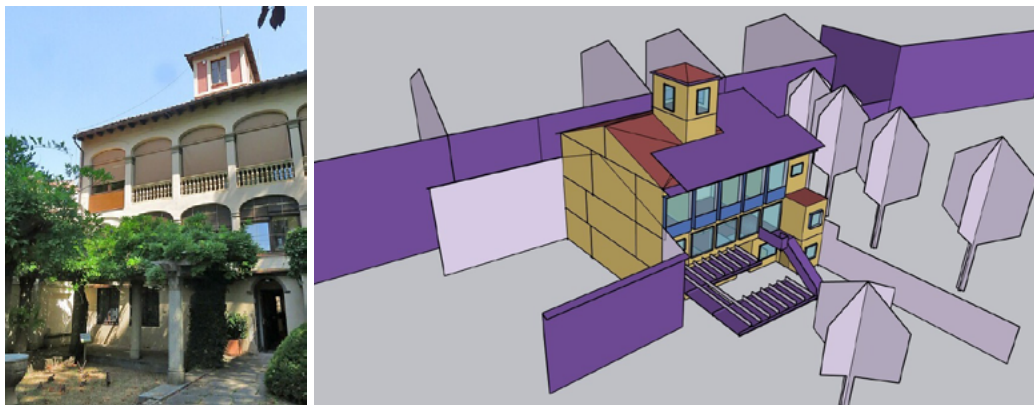


Fig. 16 Imatge de l'ajuntament i del model tèrmic resultat de l'auditoria energètica. (Cas núm. 2). Font: SUNO

Es detalla a continuació el resum de resultats dels ratis energètics principals obtingudes a partir del model de simulació dinàmic semi-calibrat de l'edifici objecte d'estudi:

Consum d'energia final [kWh/m ²]	112
Consum d'energia primària no renovable [kWh/m ²]	133
Emissions de diòxid de carboni [kgCO ₂ eq/m ²]	26
Demanda calefacció [kWh/m ²]	90
Demanda ACS [kWh/m ²]	5
Demanda refrigeració [kWh/m ²]	3

Taula 13 Resum d'indicadors energètics en base a la simulació semi-calibrada (Cas núm. 2)

En aquest **recurs**, consten els consums energètics d'equipaments municipals, agrupats per font energètica, provinent dels diferents Plans d'Acció per a l'Energia Sostenible realitzats a municipis de la província de Barcelona. Es pot veure que la mediana del consum per unitat de superfície per a edificis administratius i oficines és de 133 kWh/m², per sobre els 112 kWh/m² que ha sortit en aquest cas. Aquest valor ens pot donar una idea de la situació de l'edifici en comparació amb d'altres similars.

Les principals conclusions que es poden extreure a partir dels resultats de demanda tèrmica són les següents:

- Es pot observar com la demanda predominant és la de calefacció, amb 90,5 kWh/m²-any, que suposa el 98 % sobre el total. Per tant, és un edifici que clarament demanda calefacció. La demanda de refrigeració de l'edifici és de tan sols 2,1 kWh/m²-any, suposant només el 2 % sobre el total.
- La càrrega extrema de calefacció és de 78,81 kW, que succeiria a les 13:00h d'un 15 de gener amb una temperatura exterior coincident de 14 °C.
- La càrrega extrema de refrigeració seria de 2,14 kW, que succeiria a les 14:00h d'un 31 de juliol amb una temperatura exterior coincident de 32 °C.

Comparativa de potencia instal·lada i necessitats tèrmiques de càlcul

A continuació es mostra una comparativa entre la potencia instal·lada per a calefacció i refrigeració amb les necessitats tèrmiques de l'edifici determinades segons la simulació tèrmica per als dies de disseny de calefacció i refrigeració:

Espai	Planta	Àrea [m ²]	Refrigeració (DX)				Calefacció (radiadors)				
			Instal·lada		Dimensionat		Instal·lada		Dimensionat		
			[kW]	[W/m ²]	[kW]	[W/m ²]	[kW]	[W/m ²]	[kW]	[W/m ²]	
P01_ATENCIO_CIUADANA	PB	40,5	3,98	98,3	1,41	34,8	4,58	113,1	3,78	93,3	
P01_DESPATX_REUNIONS_01		12,7	0,00	0,0	0,51	40,1	1,41	111,0	1,68	132,3	
P01_DESPATX_REUNIONS_02		18,6	0,00	0,0	1,00	53,9	1,53	82,3	2,78	149,3	
P01_PAS_01		6,4	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	
P01_PAS_02		2,8	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	
P01_RENTADOR		10,1	0,00	0,0	0,00	0,0	0,59	58,4	1,43	141,5	
P01_SALA_ESPERA		17,4	0,00	0,0	0,49	28,1	1,06	60,9	2,12	122,0	
P01_SALA_VENDING		17,1	0,00	0,0	0,49	28,7	0,82	48,0	1,82	106,7	
P01_SERVEIS		11,2	0,00	0,0	0,35	30,9	0,94	83,9	1,31	116,5	
P01_VESTIBUL		40,5	0,00	0,0	1,17	29,0	3,06	75,6	4,34	107,0	
P02_DESPATX_01	P1	28,4	3,96	139,4	1,41	49,5	2,12	74,6	2,95	103,8	
P02_DESPATX_02		23,3	0,00	0,0	1,34	57,4	2,23	95,7	2,53	108,7	
P02_DESPATX_03		15,1	1,88	124,5	1,04	68,8	1,53	101,3	2,28	151,2	
P02_DESPATX_04		10,7	3,96	370,1	0,69	64,8	0,90	84,1	1,26	117,9	
P02_DESPATX_05		13,5	0,00	0,0	1,65	122,2	1,06	78,5	3,04	224,9	
P02_DESPATX_06		29,3	3,96	135,2	1,27	43,5	2,35	80,2	2,30	78,4	
P02_DESPATX_07		15,2	0,00	0,0	0,83	54,9	1,29	84,9	1,83	120,1	
P02_DESPATX_GALERIA		28,6	3,96	138,5	2,29	80,1	3,06	107,0	3,93	137,4	
P02_ESCALES		10,9	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	
P02_PAS		6,5	0,00	0,0	0,22	34,2	0,71	109,2	0,54	82,5	
P02_SERVEIS		7,3	0,00	0,0	0,41	56,1	0,47	64,4	0,99	135,9	
P03_DESPATX_01		P3	14,1	1,68	119,1	1,47	104,0	1,53	108,5	2,54	179,9
P03_DESPATX_02			5,1	0,96	188,2	0,68	132,6	1,29	252,9	1,13	222,5
P03_DESPATX_03			7,3	2,63	360,3	0,92	126,4	1,29	176,7	1,68	229,7
P03_DESPATX_04	28,4		2,44	85,9	1,76	62,1	2,59	91,2	3,76	132,4	
P03_DESPATX_05	19,6		2,63	134,2	1,38	70,2	3,53	180,1	3,01	153,8	
P03_DESPATX_06	29,4		1,68	57,1	2,41	82,1	2,35	79,9	4,86	165,1	
P03_DESPATX_07	19,7		2,63	133,5	1,50	76,1	1,53	77,7	2,80	141,9	
P03_DESPATX_08	25,0		2,68	107,2	1,47	58,9	2,23	89,2	2,81	112,3	
P03_ESCALES	10,9		0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	
P03_OFFICE	9,5		0,00	0,0	0,85	89,8	1,29	135,8	1,70	178,6	
P03_PAS	6,5		0,00	0,0	0,32	49,2	0,47	72,3	0,73	112,4	
P03_SERVEIS	7,9		0,00	0,0	0,84	106,0	0,47	59,5	1,96	247,8	
P04_ESCALA	PSC		10,9	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	2,33	213,8
P05_BADALOT	PBA		10,9	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	3,94	361,5
TOTAL		571,3	39,0	68,3	30,2	52,8	48,3	913,9	74,1	129,8	

Taula 14 Comparativa de potencia instal·lada i necessitats tèrmiques de càlcul. (Cas núm. 2). Font: SUNO

Degut a les condicions d'ús actual de l'edifici, sobretot pel que fa a la ventilació natural, les potències màximes requerides en gran part dels espais de l'equipament no són suficients, remarcades en color vermell, o bé per manca de potència en moments extrems, o bé perquè no es disposa directament d'equip mecànic per al servei, sobretot en refrigeració. Cal tenir en compte que, per al càlcul de calefacció, només s'ha considerat la potència dels elements zonals tipus radiadors, pel que hi hauria diverses zones que, al disposar de duplicitat d'equips de calefacció gràcies també a les bombes de calor, poden cobrir aquestes puntes de demanda amb equips secundaris. La potència total necessària de disseny per a les condicions d'ús actual seria d'uns 74,1 kW, mentre que la potència instal·lada en unitats terminals suma 52,8 kW, sumat a la disponibilitat del sistema de calefacció central en moments en que el fred ja ha avançat, provoca cert grau de desconfort tèrmic malgrat estar consumint gran quantitat d'energia.

Full de ruta d'intervenció a l'edifici

Les intervencions en l'edifici es determinen en 3 fases per millorar l'eficiència energètica de l'edifici:

- **Fase A:** Implementació de mesures que no requereixen inversió: Canvi de patrons de conducta i formació a les usuàries de l'edifici
- **Fase B:** Implementació de mesures on el període de retorn és menor a 5 anys: Implementació d'un sistema de gestió i monitoratge i millores senzilles en l'envolupant tèrmica
- **Fase C:** Incorporació de la ventilació, condicionament del aire, bomba de calor i substitució dels emissors
- **Fase D:** Millora de l'envolupant tèrmica

No es detalla el seguit de mesures que es realitzen en cadascuna de les fases però sí que es fa referència a les que corresponen a aquesta guia.

Context urbà

L'ajuntament es troba en una zona del municipi amb un recurs per una instal·lació geotèrmica i hidrotèrmica limitat, per tant, es descarta com a proposta per una xarxa de calor i fred de districte.

Solució proposada

A la fase C es proposa:

- La incorporació d'un sistema de ventilació mecànica amb recuperació de calor sensible i free-cooling. Aquests equips podrien ser compactes i descentralitzats (ideals en casos de rehabilitació amb limitació d'espai), idealment un sistema per planta.
- Substitució dels emissors actuals per ventiloconvectors calculats per l'escenari de càlcul C.
- La instal·lació de dues bomba de calor aire-aigua de 50 kW per cobrir les càrregues calculades per la fase C.

Conclusions

Les actuacions en els diferents fases suposa:

	Fase A	Fase B	Fase C	Fase D
Pressupost [€]	0	10.000	130.000	110.000
Reducció demanda energètica (%)	4	8	21	43
Reducció de l'energia primària no renovable (%)	4	8	75	81
Reducció d'emissions [tones CO ₂ eq]	0	1	9	10

Taula 15 Resum dels indicadors per a cada fase (Cas núm. 2)

5.3 Centre esportiu

5.3.1 Estat inicial

Es tracta d'un centre esportiu en una zona climàtica C3. Aquest centre consisteix en un pavelló de 1.000 m² de planta, amb 850 m² de pista poliesportiva i una zona de vestidors, lavabos i distribuïdors de 150 m². Hi ha una segona planta amb graderies de 150 m² que es climatitzarà conjuntament amb la pista poliesportiva.

La calefacció es realitza amb una caldera de gasoil per donar servei de calefacció a través de aerotermos a la pista poliesportiva i graderies i per radiadors de fosa als vestidors. La temperatura d'impulsió és a 70 °C. No hi ha refrigeració i els aerotermos no tenen safates de condensat. La ventilació es realitza de manera manual, obrint portes o alguns accessos destinats a tal ús. No hi ha control de cabal, ni filtració ni recuperador de calor. Per l'ACS hi ha un dipòsit de 5.000 litres



Fig. 17 Imatge del centre esportiu. Font: SUNO

5.3.2 Proposta de descarbonització i electrificació

Auditoria energètica

Es realitza una auditoria energètica de nivell 2 que permet conèixer la distribució de càrregues i demandes amb distribució horària. En aquest edifici el consum

d'ACS acaba representant un pes significatiu de la demanda energètica total (50 %) que depèn principalment del nombre d'usuaris que utilitzen la instal·lació. La refrigeració té un pes important en la demanda total (30 %) per les característiques constructives i l'ús que se'n fa de les instal·lacions a l'estiu. La calefacció suposa la resta (20 %). De l'estudi de càrregues tenim que la potència de disseny per calefacció és de 101,2 kW i la de refrigeració de 132,6 kW a 5 °C i 32 °C respectivament. La resta d'indicadors més rellevants del CEE per unitat de superfície es mostren a continuació:

Consum d'energia final [kWh/m ²]	104
Consum d'energia primària no renovable [kWh/m ²]	132
Emissions de diòxid de carboni [kgCO ₂ eq/m ²]	30
Demanda calefacció [kWh/m ²]	21
Demanda ACS [kWh/m ²]	52
Demanda refrigeració [kWh/m ²]	31

Taula 16 Ratis energètics del CEE en l'estat actual (Cas núm. 3)

Full de ruta d'intervenció a l'edifici

Les intervencions es realitzaran en una única fase: Per a la pista poliesportiva i les graderies s'incorporarà una unitat de tractament d'aire (UTA) que permetrà satisfer els requeriments de ventilació i permetrà la recuperació de calor i el refredament gratuït. La climatització es realitzarà a través de la UTA amb una bateria de fred i calor a partir d'un dels circuits de distribució des de la bomba de calor aire-aigua. La distribució de conductes permet ajustar els cabals a les condicions reals d'ocupació i implementar estratègies de ventilació segons demanda.

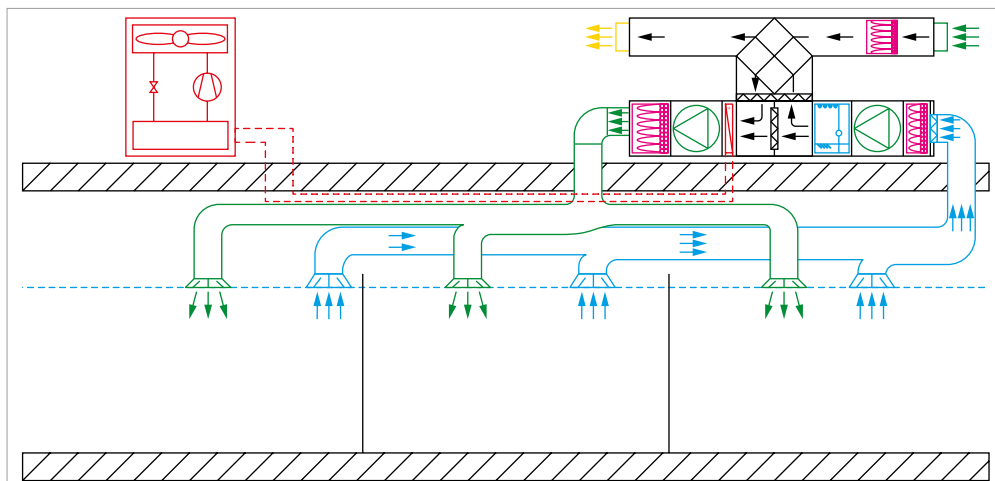


Fig. 18 Esquema de ventilació, climatització i condicionament de l'aire per la pista esportiva i graderies. Font: IDAE

Per la zona de vestidors, lavabos i vestíbul es climatitzarà substituint els radiadors de fosa per ventilconvectors de paret i adequant el circuit de distribució per fer-lo adequat per refrigeració. Pel que fa a la ventilació i recuperació de calor s'instal·laran unitats dedicades i independents a la UTA de la pista polivalent i graderies.

No es rehabilitarà l'envolupant tèrmica, per tant, la única reducció de la demanda tèrmica serà la que es donarà a terme per la recuperació de calor a través de la ventilació.

Context urbà

El poliesportiu es troba en un extrem del municipi en un entorn poc urbanitzat i amb un recurs per una instal·lació geotèrmica i hidrotèrmica limitat, per tant, es descarta com a proposta per una xarxa de calor i fred de districte.

Solució proposada

Es proposa la instal·lació de dos bombes de calor de 65 kW en cascada (130 kW en total) amb el següent esquema de funcionament:

- En mode refrigeració la instal·lació alimentarà un circuit d'aigua independent, amb el seu corresponent dipòsit d'inèrcia, bombes de circulació i elements de regulació. Aquest circuit es connectarà a un seguit de ventiloconvectors i a les bateries de les Unitats de Tractament d'Aire (UTA). La temperatura d'impulsió del sistema serà a 7 °C amb un salt tèrmic de 5 °C.
- En mode calefacció la instal·lació alimentarà un circuit d'aigua independent, amb el seu corresponent dipòsit d'inèrcia, bombes de circulació i elements de regulació. Aquest circuit es connectarà a un seguit de ventiloconvectors i a les bateries de les Unitats de Tractament d'Aire (UTA). La temperatura d'impulsió del sistema serà a 45 °C amb un salt tèrmic de 10 °C.
- Per l'ACS, es comptarà amb una bomba de calor de 20 kW que farà de elevador (*booster*) des del dipòsit que hi ha en mode calefacció per pujar la temperatura fins a 60 °C.

Conclusions

El resum de l'actuació s'expressa a la següent taula:

Pressupost [€]	450.000
Reducció demanda energètica (%)	8
Reducció de l'energia primària no renovable (%)	54
Reducció d'emissions [tones CO ₂ eq]	21

Taula 17 Resum dels indicadors (Cas núm. 3)

5.4 Altres usos

5.4.1 Estat inicial

Es tracta d'una sala polivalent o un centre cívic petit que s'utilitza de manera puntual en una zona climàtica D2. Es tracta d'un espai diàfan d'uns 60 m² amb uns lavabos i un petit magatzem. Actualment la calefacció es duu a terme amb una caldera de gas de 24 kW i radiadors d'alumini repartits uniformement. La refrige-

ració es duu a terme amb una bomba de calor aire-aire de 5 kW i un emissor tipus *cassette* al centre de la sala diàfana. L'ACS es duu a terme amb un acumulador per efecte Joule i un dipòsit de 20 litres.



Fig. 19 Imatge de la sala polivalent. Font: SUNO

5.4.2 Proposta de descarbonització i electrificació

Auditoria energètica

Es realitza una auditoria energètica de nivell complet que permet conèixer la distribució de càrregues i demandes amb distribució horària. En aquest edifici el consum de calefacció acaba representant un pes significatiu de la demanda energètica total (89 %), mentre que la refrigeració (7 %) i ACS (4 %) representa un pes petit en la demanda total. De l'estudi de càrregues tenim que la potència de disseny per calefacció és de 9 kW i la de refrigeració de 4 kW a 3 °C i 31 °C respectivament.

La resta d'indicadors més rellevants del CEE per unitat de superfície es mostren a continuació:

Consum d'energia final [kWh/m ²]	89
Consum d'energia primària no renovable [kWh/m ²]	110
Emissions de diòxid de carboni [kgCO ₂ eq/m ²]	17
Demanda calefacció [kWh/m ²]	71
Demanda ACS [kWh/m ²]	3
Demanda refrigeració [kWh/m ²]	6

Taula 18 Ratis energètics del CEE en l'estat actual (Cas núm. 4)

Full de ruta d'intervenció a l'edifici

En aquest cas es buscarà realitzar la mínima intervenció per descarbonitzar i electrificar aquest equipament. No es planteja una rehabilitació de l'envolupant tèrmica ni la intervenció en la instal·lació interior, per tant la reducció de la demanda energètica serà 0. La ventilació i condicionament de l'aire seguirà essent manual.

Donat que la bomba de calor aire-aire no cobreix les càrregues de calefacció es necessari abordar-ho amb un sistema complementari.

Context urbà

L'equipament es troba en un entorn poc urbanitzat i amb un recurs per una instal·lació geotèrmica i hidrotèrmica limitat, per tant, es descarta com a proposta per una xarxa de calor i fred de districte.

Solució proposada

Donat que l'equipament ja té una bomba de calor aire-aire per la refrigeració suficientment dimensionada i el consum d'ACS es realitza a partir d'una font energètica i ja consta d'un circuit independent i només utilitzat en usos puntuals, es planteja la instal·lació d'una bomba de calor aire-aigua només per la calefacció i pensada únicament per substituir la caldera de gas existent. Els emissors seran els existents i per tant la temperatura d'impulsió haurà de ser de 55 °C per garantir el confort tèrmic adequat.

La instal·lació es pot plantejar com a distribució directe sense dipòsit d'inèrcia doncs hi ha pocs radiadors i només hi ha una zona tèrmica a escalfar i els radiadors no tenen vàlvules termostàtiques. El que sí es recomana és la instal·lació de separadors de llots i magnètics i un vas d'expansió (si l'existent està envellit o no té capacitat suficient).

Donat que és una substitució de l'element generador es proposa una bomba de calor aire-aigua monobloc situada a l'exterior i per tant a l'interior només entrat els dos tubs de la impulsió i el retorn que es connectaran al circuit de distribució existent. D'aquesta manera no cal adequar cap sala tècnica malgrat s'utilitzi un refrigerant com el R-290 ja que aquest quedarà a l'exterior en la seva totalitat.

La potència de la bomba de calor es pot dimensionar per cobrir les demandes tèrmiques en refrigeració pensant en que el futur es puguin substituir els radiadors per ventiloconvectors i substituir la bomba de calor aire-aire quan aquesta quedi desfasada. Per exemple, una bomba de calor aire-aigua de 6 kW podria proporcionar la calefacció necessària a través dels radiadors la majoria de hores i utilitzar la bomba de calor aire-aire per moments puntuals de màxima demanda.

Conclusions

El resum de l'actuació s'expressa a la següent taula:

Pressupost [€]	9.000
Reducció demanda energètica (%)	0
Reducció de l'energia primària no renovable (%)	47
Reducció d'emissions [tones CO ₂ eq]	0,5

Taula 19 Resum dels indicadors (Cas núm. 4)

5.5 Estudi dels costos d'electrificar amb bomba de calor

El cost d'una instal·lació de bomba de calor en substitució de calderes de combustible fòssil depèn de molts factors, entre altres destaquen:

- La potència tèrmica necessària (kWt)
- La tecnologia escollida (geotèrmia, aerotèrmia...)
- El servei a cobrir: calefacció, refrigeració, aigua calenta sanitària...
- La necessitat de noves unitats interiors
- La necessitat d'incorporar ventilació mecànica

S'ha fet l'estudi de 77 projectes executius de l'àmbit geogràfic de Catalunya, alguns executats i altres només redactats. Hi ha una varietat d'usos dels edificis, incloent equipaments docents, esportius, administratius, etc.

Els projectes s'han agrupat per tecnologies amb l'objectiu d'identificar correlacions entre el cost i variables físiques com la superfície o la potència tèrmica:

- Bomba de calor aire-aigua per fer només calefacció (BC AW CAL a partir d'ara), sense noves unitats interiors ni ventilació (en usos no esportius s'han comptat també projectes on l'ACS era poc significativa en termes de potència).
- Bomba de calor aire-aigua per fer calor i fred, on s'inclouen noves unitats interiors, i la ventilació per tal de complir la normativa actual, RITE.
- Bomba de calor aire-aire per fer calor i fred, incloent noves unitats interiors i ventilació per complir el RITE.

També s'han obviat alguns casos que per superfície útil o complexitat tècnica quedaven allunyats als extrems de la correlació.

Tot i que des d'un punt de vista estadístic la mostra de projectes és petita i poc representativa, sobretot al separar els diferents grups per tecnologies, s'ha buscat la correlació entre variables per poder aportar un ordre de magnitud de costos una mica més complerta que una simple mitjana aritmètica. S'han estudiat les variables dimensionals de la potència tèrmica en kWt i la superfície climatitzada en m², per trobar la correlació amb les variables econòmiques extretes del pressupost d'execució material (PEM).

En conjunt, la correlació principal trobada és entre el cost de les bombes de calor i la potència tèrmica (kWt). En el cost de la bomba de calor s'hi ha sumat els costos hidràulics associats al circuit primari, com poden ser: el dipòsit d'inèrcia, canonada, aïllaments, bombes de primari i col·lectors. Això permet comparar projectes amb la hidràulica subministrada dins de la bomba de calor amb els que s'ha subministrat i instal·lat per separat.

En els projectes on s'incorpora refrigeració a l'edifici, habitualment s'inclouen unitats interiors noves (generalment fancoils) i ventilació mecànica amb filtratge i recuperació de calor. En aquests casos s'ha trobat una correlació entre el cost de tots els sistemes i la potència tèrmica (kWt), incloent la bomba de calor i la seva hidràulica, les unitats interiors amb els circuits de distribució, i el sistema de ventilació amb els conductes.

5.5.1 Projectes BC AW per a calefacció

Aquest tipus de projectes consisteixen en la substitució de la caldera de combustible fòssil per una bomba de calor aire-aigua que produeix només calefacció, no incorporen noves unitats interiors ni afegeixen ventilació mecànica. En general són projectes on es mantenen els radiadors i es prescriu bomba de calor de R290 d'alta temperatura capaç d'assolir la temperatura de treball actual. D'altres tenen terra radiant i es treballa amb R32 a baixa temperatura, aportant inclús refrescament a l'estiu (però el tractem en aquest grup per què no comporta que instal·lació ni cost addicional significatiu). Alguns projectes poden incorporar la producció d'ACS quan no és significativa respecte el clima, però s'han exclòs els equipaments esportius.

Aquesta mostra conté 13 projectes fins a 200 kWt, on s'ha relacionat el cost PEM de la bomba de calor aire-aigua incloent la part hidràulica del circuit primari (PEM BC AW):

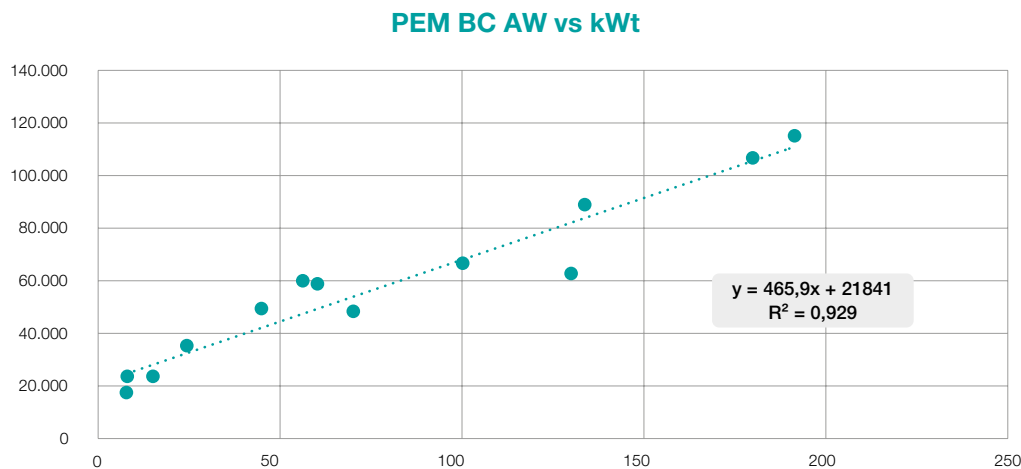


Fig. 20 Correlació del cost PEM (€) amb la potència tèrmica (kWt) de la BC AW. Font: Elaboració pròpia

.Segons la regressió lineal el cost és de 466 €/kWt amb una base de 21.841 €, i l'ajust del model és d'un 0,92 (coeficient de determinació, R^2), és a dir que el 92 % de la variació de PEM BC AW s'explica per la variable kWt. De tota manera el model té un error de fins +/- 20 % del PEM en alguns com es veu al gràfic (punts allunyats verticalment de la recta puntejada).

Per acabar de completar el PEM del projecte cal afegir els altres capítols que solen intervenir. Aquests no tenen relació directa amb la potència tèrmica del projecte i es facilita a títol informatiu la mitjana aritmètica del percentatge del cost sobre PEM_BC_AW dels projectes de la mostra:

- **Instal·lació elèctrica associada (EL):** Aquest cost és molt variable, sobretot depenent de si la potència elèctrica necessària supera àmpliament

la potència disponible a l'equipament. Es pot incórrer en grans costos de reforç de línies de distribució de la companyia distribuïdora si cal ampliació de potència adscrita. En la mostra estudiada representa de mitjana un 20 % del cost PEM BC AW, tot i que el rang oscil·la entre el 6 % i el 39 %.

- **Sistema de control associat (CN):** aquest cost no és massa elevat en sistemes de només calor, habitualment amb pocs circuits hidràulics i pocs termòstats. La mitjana de la mostra està en el 6 %. De tota manera la tendència actual és la instal·lació de sistemes amb telegestió que poden incrementar el cost fins un 12 %, però faciliten molt la gestió i el control dels consums.
- **Costos d'obra civil i treballs previs i de condicionament (OC):** aquest és un capítol del PEM molt variable que pot ser de l'1 % per ajudes de paleta, o pot doblar el pressupost per incloure reforços estructurals, noves edificacions auxiliars, rases o aïllaments acústics. La mitjana de la mostra és del 26 %, amb un rang entre el 6 % i el 70 % del PEM BC AW.

El total del pressupost d'execució material (PEM) és la suma dels costos exposats (dependent directament de les instal·lacions a executar) més les partides genèriques habituals:

- **Feines d'enginyeria (EN):** com a mínim hi haurà les legalitzacions pertinents (RITE i REBT) i caldria sempre incloure una partida de posada en marxa, proves i assajos d'eficiència (*comissioning*). També pot incloure gestions amb la companyia elèctrica, i la direcció facultativa d'obra, tot i que sol ser independent de la licitació d'obra. Les feines d'enginyeria oscil·len entre el 3-6 % del PEM.
- **Seguretat i salut (SS):** habitualment es calcula com el 2 % del PEM, tot i que obres molt senzilles pot ser inferior o en obres complexes amb treballs en alçada pot incrementar-se.
- **Gestió de residus (GR):** en obres de rehabilitació es solen desballestar instal·lacions obsoletes que generen residus, aquest cost es pot estimar sobre un 1 % del PEM, tot i que és molt variable.

Finalment el Pressupost d'Execució per Contracte (PEC) es calcula afegint:

- **Despeses Generals (DG):** habitualment un 13 %
- **Benefici Industrial (BI):** habitualment un 6 %
- **Impost sobre el Valor Afegit (IVA):** actualment un 21 %

Exemple d'estimació del PEC

En una substitució de caldera per bomba de calor es determina que calen 100 kW tèrmics.

L'estimació econòmica amb el model proposat seria:

$$\text{PEM_BC_AW} = 466 \times P(\text{kWt}) + 21.184 = 466 \times 100 + 21.841 = 68.441 \text{ €}$$

Prenem com exemple els coeficients mitjans exposats per a cada capítol del projecte:

$$\begin{aligned} \text{PEM TOTAL} &= \text{PEM BC AW} \times (1 + \%EL + \%CN + \%OC) \times (1 + \%EN + \%SS + \%GR) \\ &= \text{PEM_BC_AW} \times (1 + 20\% + 6\% + 26\%) \times (1 + 3\% + 2\% + 1\%) \\ &= \text{PEM_BC_AW} \times 1,52 \times 1,06 = \text{PEM_BC_AW} \times 1,6 \end{aligned}$$

$$\text{PEM TOTAL} = 68.441 \text{ €} \times 1,6 = 109.505 \text{ €}$$

El pressupost d'execució per contracte (IVA inclòs) seria:

$$\begin{aligned} \text{PEC} &= \text{PEM TOTAL} \times (1 + \% \text{DG} + \% \text{BI}) \times (1 + \% \text{IVA}) = \text{PEM TO-} \\ &\text{TAL} \times (1 + 13\% + 6\%) \times (1 + 21\%) = \text{PEM TOTAL} \times 1,19 \times 1,21 \\ &= \text{PEM TOTAL} \times 1,44 = 109.505 \times 1,44 = 157.687 \text{ €} \end{aligned}$$

En aquest exemple podem dir que:

$$\text{PEC} = \text{PEM_BC_AW} \times 1,6 \times 1,44 = \text{PEM_BC_AW} \times 2,3$$

Cal ser molt prudent amb aquests números i prendre'ls només com una primera orientació de l'ordre de magnitud del cost econòmic, ja que cada pas de l'estimació conté un marge d'error considerable.

5.5.2 Projectes BC AW per a calefacció i refrigeració

Aquests projectes són com els de calefacció amb la particularitat que s'aprofita la bomba de calor aire-aigua reversible per aportar refrigeració, incloent la majoria dels casos noves unitats interiors (en general fancoils, alguns de conductes) i sistemes de ventilació (en general recuperadors entàlpics, però també hi ha UTAs amb conductes i en algun projecte amb grans volums com teatres i pavellons substitueixen les unitats interiors). Igualment l'ACS pot estar inclosa si no és significativa. Els equipaments esportius amb ACS s'han exclòs de la mostra.

Aquesta mostra conté 28 projectes fins a 300 kW, tots amb bomba de calor aire-aigua. S'ha relacionat amb la potència tèrmica el cost PEM de la bomba de calor aire-aigua incloent la part hidràulica del circuit primari (PEM BC AW):

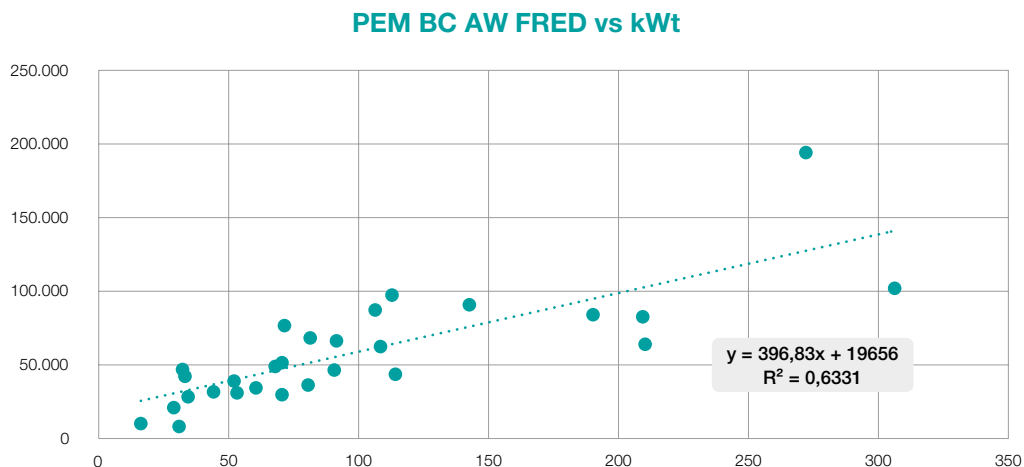


Fig. 21 Correlació del cost PEM (€) amb la potència tèrmica (kWt) de la BC AW FRED. Font: Elaboració pròpia

Segons la regressió lineal el cost és de 397 €/kW amb una base de 19.656 €, i l'ajust del model és d'un 0,63 (coeficient de determinació, R²), és a dir que només el 63 % de la variació de PEM BC AW s'explica per la variable kWt. L'error del model és de fins +/- 40 % del PEM real com es veu al gràfic (punts allunyats verticalment de la recta puntejada). Aquesta regressió és del mateix ordre de magnitud que la calculada amb la mostra de projectes de només calefacció.

S'han analitzat els costos de les unitats interiors i circuits hidràulics associats (UI) sumats als sistemes de ventilació i conductes (VENT), sense incloure la bomba de

calor, en relació amb la superfície climatitzada i ventilada. S'ha trobat que la correlació és fluixa amb tota la mostra, però traient els sistemes sense noves unitats interiors i els sistemes tot aire amb UTA (auditoris i esportius), es troba la següent correlació moderada entre els 14 projectes restants:

PEM UI + VENT vs m² climatitzats

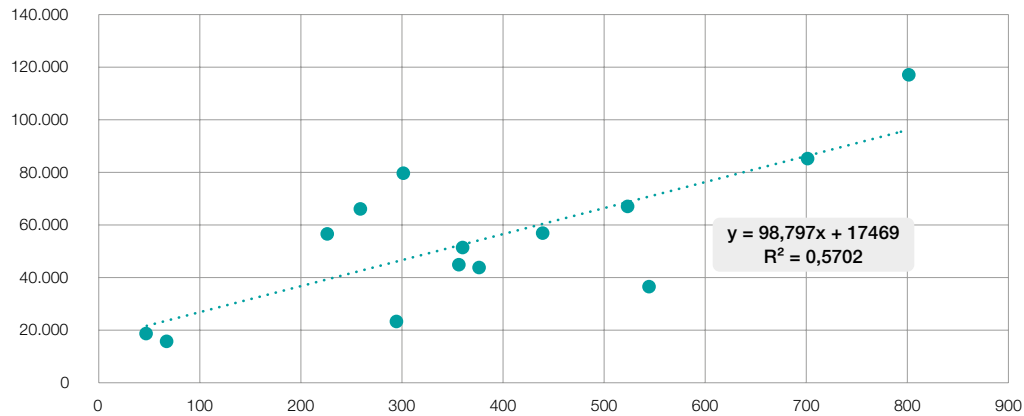


Fig. 22 Correlació del cost PEM (€) de les unitats interiors i sistema de ventilació amb la superfície climatitzada (m²). Font: Elaboració pròpia

Aquesta correlació juntament amb l'anterior de la bomba de calor, poden servir per estimar el cost de projectes on la instal·lació de clima no cobreixi tota la superfície servida per la nova bomba de calor.

S'ha analitzat també el cost PEM en conjunt de bomba de calor (BC AW), unitats interiors (UI) i ventilació (VENT), en relació amb la potència tèrmica instal·lada (kWt). S'exclouen els projectes que no ho inclouen i s'ajusta la mostra a 19 projectes fins a 300 kWt:

PEM BC AW+UI+VENT vs kWt

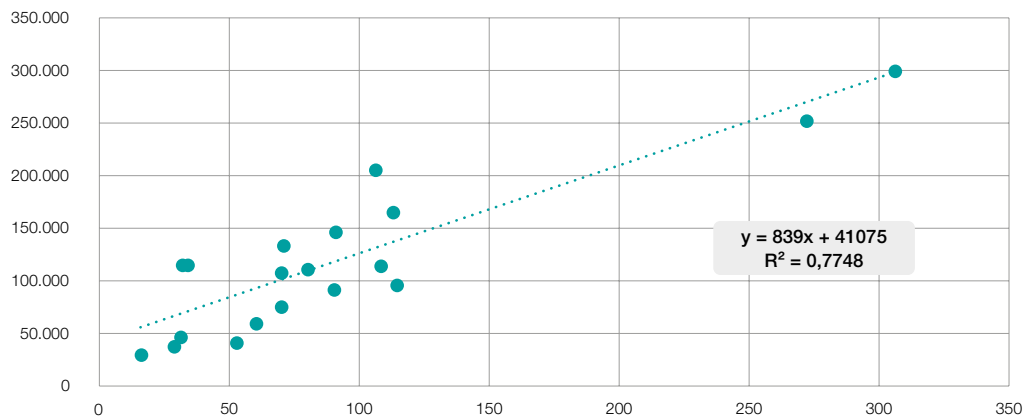


Fig. 23 Correlació del cost PEM (€) amb la potència tèrmica (kWt) de la BC AW, unitats interiors i sistema de ventilació. Font: Elaboració pròpia

Segons la regressió lineal el cost és de 839 €/kWt amb una base de 41.075 €, i l'ajust del model és d'un 77 % (R2). L'error del model és de fins +/- 40 % del PEM real en alguns projectes i a l'interval central faltarien dades per comprovar l'encaix. S'aprecia clarament comparant aquesta regressió amb l'anterior de bomba

de calor, com es dobla el cost quan s'inclouen les unitats interiors i la ventilació, passant la pendent d'uns 400 €/kWt a uns 840 €/kWt. El punt de tall també es doble d'uns 20.000 € a 40.000 €.

La resta de capítols del PEM tenen les següents proporcions respecte PEM_BC_AW_UI_VENT:

- **Instal·lació elèctrica associada (EL):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 12 %, tot i que el rang oscil·la entre el 7 % i el 32 %.
- **Sistema de control associat (CN):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 8 %, tot i que el rang oscil·la entre el 2 % i el 31 %.
- **Costos d'obra civil, treballs previs i de condicionament (OC):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 12 %, tot i que el rang oscil·la entre el 2 % i el 39 %.

Tenint en compte que es referencien a un PEM del doble que el de la regressió de calefacció, es podria dir que la instal·lació elèctrica i l'obra civil representen un percentatge del PEM similar al voltant del 24 %. En canvi el control passa del 6 % en calefacció a un 16 % amb refrigeració (mantenint les proporcions). Això pot explicar-se per què en calefacció el control sol mantenir-se l'existent o només es controlen circuits hidràulics a nivell de sala tècnica, però en fred incloent noves unitats interiors cal estendre el control a tot l'edifici, amb termòstats per cada espai independent.

La resta de capítols del PEM són equivalents i pel PEC cal aplicar els mateixos escreixos.

Exemple d'estimació del PEC

En una substitució de caldera per bomba de calor es determina que calen 100 kW tèrmics i s'aprofiten per fer fred.

L'estimació econòmica amb el model proposat seria:

$$PEM_{BC_AW_UI_VENT} = 839 \times P(\text{kWt}) + 41.075 = 839 \times 100 + 41.075 = 124.975 \text{ €}$$

En cas d'aprofitar unitats interiors existents faríem servir la regressió de només bomba de calor AW per fred i calor:

$$PEM_{BC_AW} = 397 \times P + 19.656$$

Per estimar la resta del pressupost prenem per exemple els coeficients mitjans exposats per a cada capítol del projecte:

$$\begin{aligned} PEM_{TOTAL} &= PEM_{BC_AW_UI_VENT} \times (1 + \%EL + \%CN + \%OC) \times \\ &(1 + \%EN + \%SS + \%GR) = PEM_{BC_AW_UI_VENT} \times (1 + 12\% + 8\% + 12\%) \\ &\times (1 + 3\% + 2\% + 1\%) = PEM_{BC_AW_UI_VENT} \times 1,32 \times 1,06 = \\ &PEM_{BC_AW} \times 1,4 \end{aligned}$$

$$PEM_{TOTAL} = 124.975 \text{ €} \times 1,4 = 174.965 \text{ €}$$

El pressupost d'execució per contracte (IVA inclòs) seria:

$$PEC = PEM_{TOTAL} \times 1,44 = 174.965 \times 1,44 = 251.950 \text{ €}$$

En aquest exemple podem dir que:

$$PEC = PEM_{BC_AW_UI_VENT} \times 1,4 \times 1,44 = PEM_{BC_AW} \times 2,0$$

Cal ser molt prudent amb aquests números i prendre'ls només com una primera orientació de l'ordre de magnitud del cost econòmic, ja que cada pas de l'estimació conté un marge d'error considerable.

5.5.3 Projectes BC AA per a calefacció i refrigeració

Aquests projectes són com els anteriors de fred amb la diferència que la bomba de calor és aire-aire partida, per tant inclouen circuits de refrigerant, inclouen sempre unitats interiors (splits de paret, de peu, cassetes o splits de conductes) i sistemes de ventilació. Els usos dels edificis són administratius, escolars, centres cívics, biblioteques o museus. No s'han inclòs esportius ni rooftops.

Aquesta mostra conté 11 projectes fins a 160 kWt, tots amb bomba de calor aire-aire tipus VRV o splits. S'ha relacionat amb la potència tèrmica el cost PEM de la bomba de calor aire-aire amb unitats exteriors, unitats interiors incloent circuits de refrigerant i sistemes de ventilació incloent conductes (PEM BC AA):

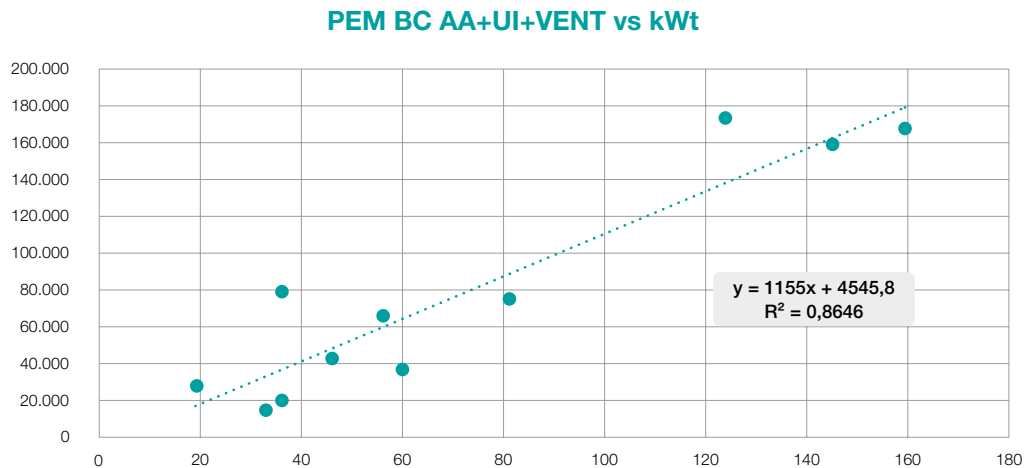


Fig. 24 Correlació del cost PEM (€) amb la potència tèrmica (kWt) de la BC AA (complet). Font: Elaboració pròpia

Segons la regressió lineal el cost és de 1.155 €/kW amb una base de -4.546 €, i l'ajust del model és d'un 86 % (R²). L'error del model és de fins +/-50 % del PEM real en alguns projectes i a l'interval central faltarien dades per comprovar l'encaix. No es pot fer servir la regressió per estimar costos per sota dels 20 kWt. S'aprecia comparant aquesta regressió amb l'anterior (sistemes d'aigua) com a baixes potències és més econòmic però a altes potències s'encareix, estant el tall al voltant dels 150 kWt.

La resta de capítols del PEM tenen les següents proporcions respecte PEM_BC_AA:

- **Instal·lació elèctrica associada (EL):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 19 %, tot i que el rang oscil·la entre el 2 % i el 105 %.
- **Sistema de control associat (CN):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 5 %, tot i que el rang oscil·la entre el 0 % i el 17 %.
- **Costos d'obra civil, treballs previs i de condicionament (OC):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 18 %, tot i que el rang oscil·la entre el 2 % i el 56 %.

Exemple d'estimació del PEC

En una substitució de caldera per bomba de calor es determina que calen 100 kW tèrmics i s'aprofiten per fer fred.

L'estimació econòmica amb el model proposat seria:

$$PEM_{BC_{AA}} = 1.155 \times P(kWt) - 4.546 = 1.155 \times 100 - 4.546 = 110.954 \text{ €}$$

Per estimar la resta del pressupost prenem per exemple els coeficients mitjans exposats per a cada capítol del projecte:

$$PEM_{TOTAL} = PEM_{BC_{AA}} \times (1+19\%+5\%+18\%) \times (1+3\%+2\%+1\%) \\ = PEM_{BC_{AA}} \times 1,42 \times 1,06 = PEM_{BC_{AA}} \times 1,5$$

$$PEM_{TOTAL} = 110.954 \text{ €} \times 1,5 = 166.431 \text{ €}$$

El pressupost d'execució per contracte (IVA inclòs) seria:

$$PEC = PEM_{TOTAL} \times 1,44 = 166.431 \times 1,44 = 239.660 \text{ €}$$

En aquest exemple podem dir que:

$$PEC = PEM_{BC_{AA}} \times 1,5 \times 1,44 = PEM_{BC_{AA}} \times 2,2$$

Cal ser molt prudent amb aquests números i prendre'ls només com una primera orientació de l'ordre de magnitud del cost econòmic, ja que cada pas de l'estimació conté un marge d'error considerable.

5.5.4 Projectes de geotèrmia

Es disposa de 6 projectes de geotèrmia a la mostra fins a 300 kW. Tots disposen de bomba de calor aigua-aigua amb sondes geotèrmiques verticals d'entre 100 i 125m de profunditat. Cinc projectes aporten calefacció i refrigeració, i un calefacció i ACS (essent l'ACS poc significatiu). Els usos dels edificis són variats: biblioteca, administratiu, educatiu i centre cívic. Un dels projectes és una xarxa centralitzada per a 3 equipaments petits. Només tres projectes inclouen unitats interiors noves i només un ventilació, de manera que aquests costos no s'han inclòs a l'anàlisi (es pot agafar la relació UI+VENT vs m2 de l'anàlisi de BC AW).

A continuació s'exposen les correlacions trobades amb la bomba de calor i circuit primari (BC WW), els pous geotèrmics i la xarxa soterrada fins a sala tècnica (POUS) i la suma de les dues en conjunt:

PEM BC WW vs kWt

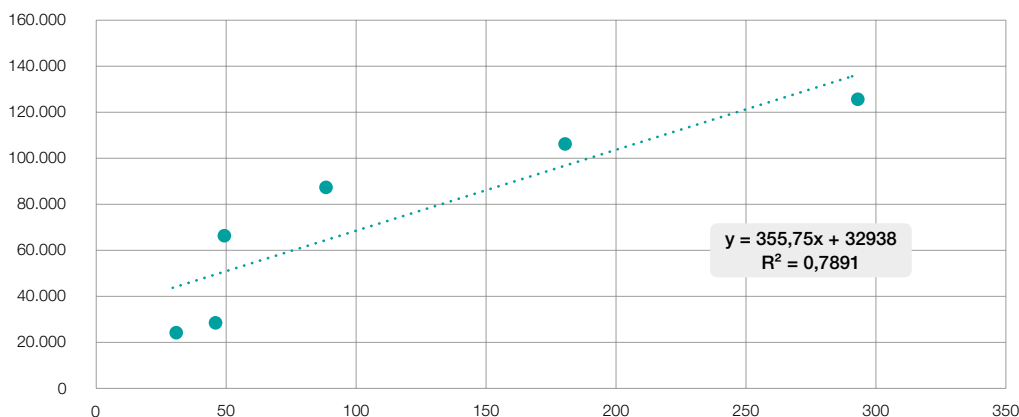


Fig. 25 Correlació del cost PEM (€) de la BC WW (inclouent hidràulica de circuit primari) amb la potència tèrmica (kWt). Font: Elaboració pròpia

Comparant aquesta correlació amb les trobades pel cas de de BC AW per només calefacció i també la de calefacció i fred, es veu que els costos estan en el mateix ordre de magnitud. Els preus de les màquines aigua-aigua solen estar per sota de les d'aerotèrmia a igual potència, ja que aquestes últimes han d'anar a l'exterior i són més grosses pels bescanviadors amb aire que necessiten molta superfície.

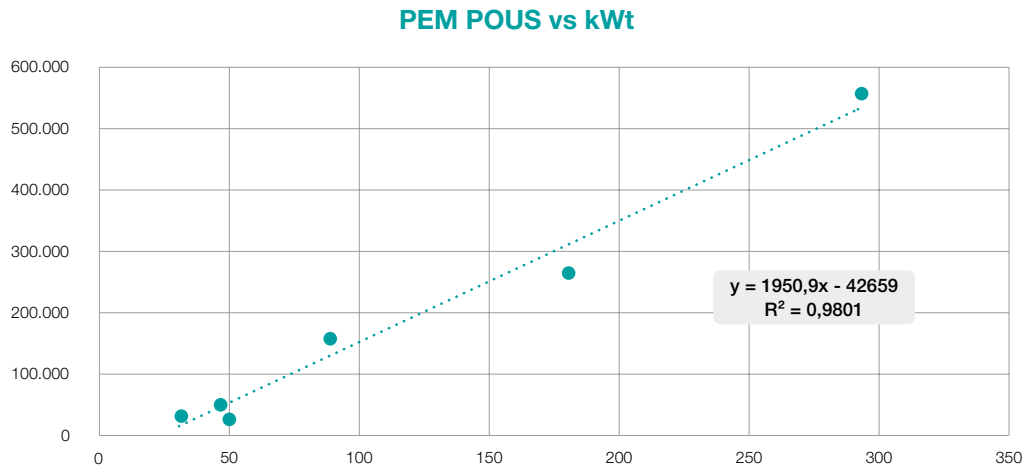


Fig. 26 Correlació del cost PEM (€) dels pous geotèrmics i la xarxa soterrada amb la potència tèrmica (kWt). Font: Elaboració pròpia

Els pous geotèrmics són el cost més significatiu d'una instal·lació de geotèrmia. Cada pou val entre 4.000-7.000€ i té una potència disponible entre 5-7 kW (1.000 €/kW aproximadament), la resta del cost són les rases, arquetes, estesa horitzontal i col·lectors de pous.

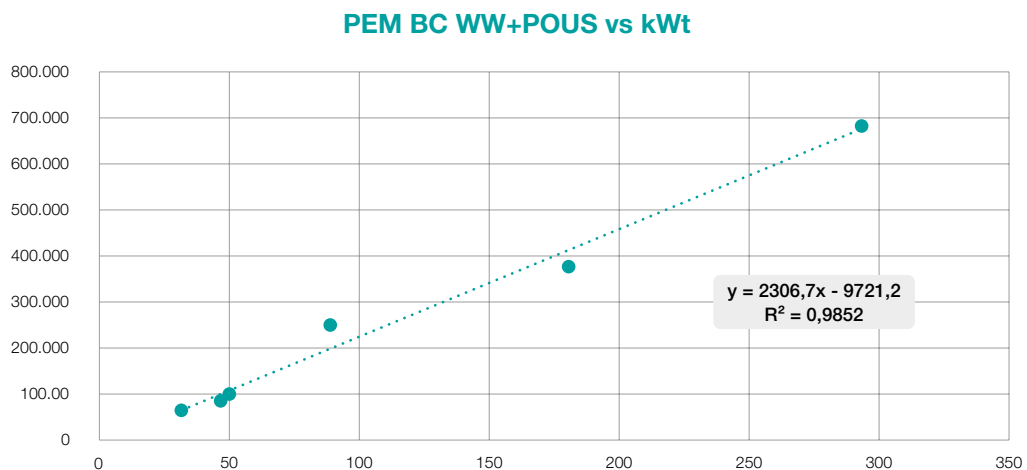


Fig. 27 Correlació del cost PEM (€) de la BC WW i els pous geotèrmics, amb la potència tèrmica (kWt). Font: Elaboració pròpia

Estudiant tot el cost PEM en conjunt és quant s'assoleix un ajust de correlació del 98 %. El cost relatiu és de 2.306 €/kWt i el tall a -9.721 €.

La resta de capítols del PEM tenen les següents proporcions respecte PEM_BC_WW_POUS:

- **Instal·lació elèctrica associada (EL):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 3 %, tot i que el rang oscil·la entre el 2 % i el 6 %.
- **Sistema de control associat (CN):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 2 %, tot i que el rang oscil·la entre el 0 % i el 5 %.
- **Costos d'obra civil, treballs previs i de condicionament (OC):** en la mostra estudiada representa de mitjana un 2 %, tot i que el rang oscil·la entre el 1 % i el 15 %.

Exemple d'estimació del PEC de geotèrmia

En una substitució de caldera i refredadora obsoleta per bomba de calor geotèrmica es determina que calen 100 kW tèrmics.

L'estimació econòmica amb el model proposat seria:

$$PEM_BC_WW_POUS = 2.306 \times P(\text{kWt}) - 9.721 = 220.879 \text{ €}$$

Per estimar la resta del pressupost prenem per exemple els coeficients mitjans exposats per a cada capítol del projecte:

$$\begin{aligned} PEM \text{ TOTAL} &= PEM_BC_WW_POUS \times (1 + \%EL + \%C- \\ &N + \%OC) \times (1 + \%EN + \%SS + \%GR) = PEM_BC_WW_POUS \\ &\times (1 + 3\% + 2\% + 2\%) \times (1 + 3\% + 2\% + 1\%) = PEM_BC_WW_ \\ &POUS \times 1,07 \times 1,06 = PEM_BC_WW_POUS \times 1,13 \end{aligned}$$

$$PEM \text{ TOTAL} = 220.879 \text{ €} \times 1,13 = 249.593 \text{ €}$$

El pressupost d'execució per contracte (IVA inclòs) seria:

$$PEC = PEM \text{ TOTAL} \times 1,44 = 249.593 \text{ €} \times 1,44 = 359.414 \text{ €}$$

Cal ser molt prudent amb aquests números i prendre'ls només com una primera orientació de l'ordre de magnitud del cost econòmic, ja que cada pas de l'estimació conté un marge d'error considerable.



6

Casos d'èxit

La descarbonització de sistemes tèrmics es un tema que està a l'ordre del dia. Originalment es prioritzava la substitució per caldera de biomassa, i des de fa un cert temps, sense oblidar la biomassa i gràcies als avenços tècnics s'està promovent també aquesta substitució per bombes de calor, que, tal com s'ha exposat en aquesta guia, ens proporcionen certs avantatges, entre d'altres la capacitat de produir calor i fred.

Es vol agrair als municipis totes les dades facilitades, que han permès la seva presentació en aquest document. D'aquesta manera, es posa de manifest l'existència d'instal·lacions on s'ha substituït el sistema tèrmic de combustió en funcionament, amb resultats d'estalvi anual d'energia en kWh i d'emissions en kgCO₂eq, així com una inversió condicionada per diversos factors, com la substitució exclusiva de la caldera, la renovació dels emissors interiors o la combinació amb pous geotèrmics.

Es mostra la taula resum de les dades que s'han obtingut,. S'han classificat segons tipologia d'equipament


Casos d'èxit d'instal·lacions existents de descarbonització de sistemes tèrmics

REF	Tipologia Equipament	Actuació	Estalvi ENERGIA kWh	Estalvi emissions kgCO ₂ eq	Inversió amb IVA €
ES.01	ESPORTIU	Reforma de la generació i distribució de l'ACS al CMF	73.312	25.154	136.696 €
ES.02	ESPORTIU	Substitució de la caldera per producció d'ACS i calefacció	88.865	22.155	47.597 €
ED.01	ESCOLA BRESSOL	Renovació instal·lació tèrmica a Escola Bressol	58.347	14.352	171.301 €
ED.02	ESCOLA	Descarbonització de la demanda de calderes de gas	215.297	54.031	118.000 €
ED.03	ESCOLA BRESSOL	Substitució de la caldera de gas per als radiadors de l'EB	55.169	13.903	21.594 €
CD.01	CENTRE DIA	Substitució de la caldera per calefacció i introducció ventilació	-	-	-
AJ.01	AJUNTAMENT	Introducció de Geotèrmia i Aerotèrmia a la Climatització	70.483	-	155.488 €
VA.01	VARIS	Climatització al Local Social i Ajuntament amb BC Geotèrmica	-	-	439.800 €

Taula 20 Resum dels casos d'èxi. Font: Elaboració pròpia

Segueix una fitxa amb la descripció més detallada de cada cas d'èxit.

Actuació	Reforma de la generació i distribució de l'ACS al CMF			ES. 01
Tipus d'equipament	Esportiu	Comarca	Vallès Occidental	

Estat original	<p>El consum principal en aquest complex esportiu és la generació d'ACS per als vestidors. Estava format per una caldera de gasoil de 44 kW de potència tèrmica i un dipòsit de gasoil de 2.000 L. Disposava de tres acumuladors de 445L. Es va procedir a desarmar tota la instal·lació comentada.</p> 
----------------	---

Solució adoptada	<p>Actualment s'ha instal·lat un sistema d'aerotèrmia tipus bibloc que consta de dues unitats exteriors de 25kW cadascuna i cada unitat té associada un equip interior i un interacumulador, a més d'un tercer acumulador, tots amb una capacitat de 1000L.</p> <p>La interconnexió de les unitats s'ha fet mitjançant refrigerant R410A.</p> <p>La nova instal·lació no ha requerit d'una gran actuació elèctrica ni ampliació de la potència contractada.</p> 
------------------	--

Milliores de confort i eficiència	Superfície amb noves UI	X	Nou sistema ACS més eficient
	Superfície amb nova ventilació	X	Millor control i eficiència
	Més espais calefactats	X	Més autoconsum FV
	Més espais refrigerants		Sistema actual com a backup

Dades	Pressupost (PEC + IVA)	136.696,00 €
	Posada en marxa: desembre 2024	

Actuació	Reforma de la generació i distribució de l'ACS al CMF			ES. 01
Tipus d'equipament	Esportiu	Comarca	Vallès Occidental	

Estalvis anuals	L'estalvi total en kWh és de:	73.312 kWh
	L'estalvi d'electricitat en kWh és de:	46.159 kWh
	L'estalvi de combustible en kWh és de:	119.471 kWh
	L'estalvi d'emissions en kg de CO ₂ equivalent és de:	25.154 kg CO ₂ eq

Informació adicional


The screenshot displays the control interface for the ACS system. It includes the following elements:


- Navigation Menu:** DIARI, ALARMESES, **SNÍPTIC**, COMPTAD, GRÀFICS.
- System Title:** CONTROL ACS CFM SANT LLORENÇ.
- Company Logo:** ista Smart Technologies, 8406/2025 12:01:01.
- Module 1 (ARUM086LTE5):**
 - COP Hidràk 1: 2:1
 - Power consumption: 14472.6 kWh
 - Temperature: 63.6°C
 - Status: MIA Resistència 1 ATURADA, MIA Resistència 2 ATURADA.
- Module 2 (ARUM086LTE5):**
 - COP Hidràk 2: 2:2
 - Power consumption: 13817.6 kWh
 - Temperature: 67.3°C
 - Status: MIA Resistència 3 ATURADA, MIA Resistència 4 ATURADA.
- Labels and Data:**
 - 49.6°C (Return ACS)
 - IMPULSIÓ ACS
 - AFS (Automatic Flow Stop)
- Etiqueta (Labels):**
 - ESTAT Centralita Reg: ATURADA
 - MIA Bomba Reg: ATURADA
 - Consigna Retard Arrencada Reg: 120 seg
- Table of Parameters:**

Etiqueta	Estado
Horari Màquina 1	Parado MARXA
Horari Màquina 2	Parado MARXA
Consigna Temp. Massa Resistència	60.0 °C
Consigna Temp. Màquina 1	65.0 °C
Consigna Temp. Màquina 2	65.0 °C
Consigna Potència Elèctrica Apatat	50.0 kW
Consigna Hòrari Arrencada	60 seg

The photograph shows the physical installation of the ACS system. It features two red hydronic modules (ARUM086LTE5) and a control cabinet (MÓDUL HIDRÒNIC ARNH086K3A4) mounted on a wall. The system is connected to a network of pipes and valves.

Actuació	Substitució de la caldera per producció tèrmica d'aigua calenta			ES. 02
Tipus d'equipament	Esportiu	Comarca	Vallès Occidental	

Estat original	<p>El consum principal en aquest complex esportiu és la generació d'ACS i calefacció per als vestidors. Es disposava d'una caldera de gas natural de 160 kWt de potència tèrmica. Hi havia un sistema de plaques solars tèrmiques en desús. Es va procedir a desarmar tota la instal·lació comentada.</p> 
-----------------------	---

Solució adoptada	<p>Actualment s'ha instal·lat dos acumuladors amb bomba de calor integrada de 275L i plaques fotovoltaïques enloc del sistema de plaques tèrmiques (exclòs del preu mencionat) i un sistema d'aerotèrmia tipus monobloc de 40kW amb R454C (GWP:146) canalitzada cap a l'exterior. Compta amb un dipòsit d'inèrcia de 500L i un acumulador de 1.000 L (previst de canviar).</p> <p>S'ha instal·lat un sistema de descalcificació per al tractament de l'aigua</p> 
-------------------------	---

Milliores de confort i eficiència	Superfície amb noves UI	X	Nou sistema ACS més eficient
	Superfície amb nova ventilació	X	Millor control i eficiència
	Més espais calefactats	X	Més autoconsum FV
	Més espais refrigerants		Sistema actual com a backup

Dades	Pressupost (PEC + IVA)	47.597,00 €
	Posada en marxa: desembre 2024	


Actuació	Substitució de la caldera per producció tèrmica d'aigua calenta			ES. 02
Tipus d'equipament	Esportiu	Comarca	Vallès Occidental	

Estalvis anuals	L'estalvi total en kWh és de:	88.865 kWh
	L'estalvi d'electricitat en kWh és de:	-29.929 kWh
	L'estalvi de combustible en kWh és de:	118.793 kWh
	L'estalvi econòmic en € és de:	10.740,00 €
	L'estalvi d'emissions en kg de CO ₂ equivalent és de:	22.155 kg CO ₂ eq

Informació
addicional



Actuació	Renovació instal·lació tèrmica a Escola Bressol			ED. 01
Tipus d'equipament	Escola Bressol	Comarca	Maresme	

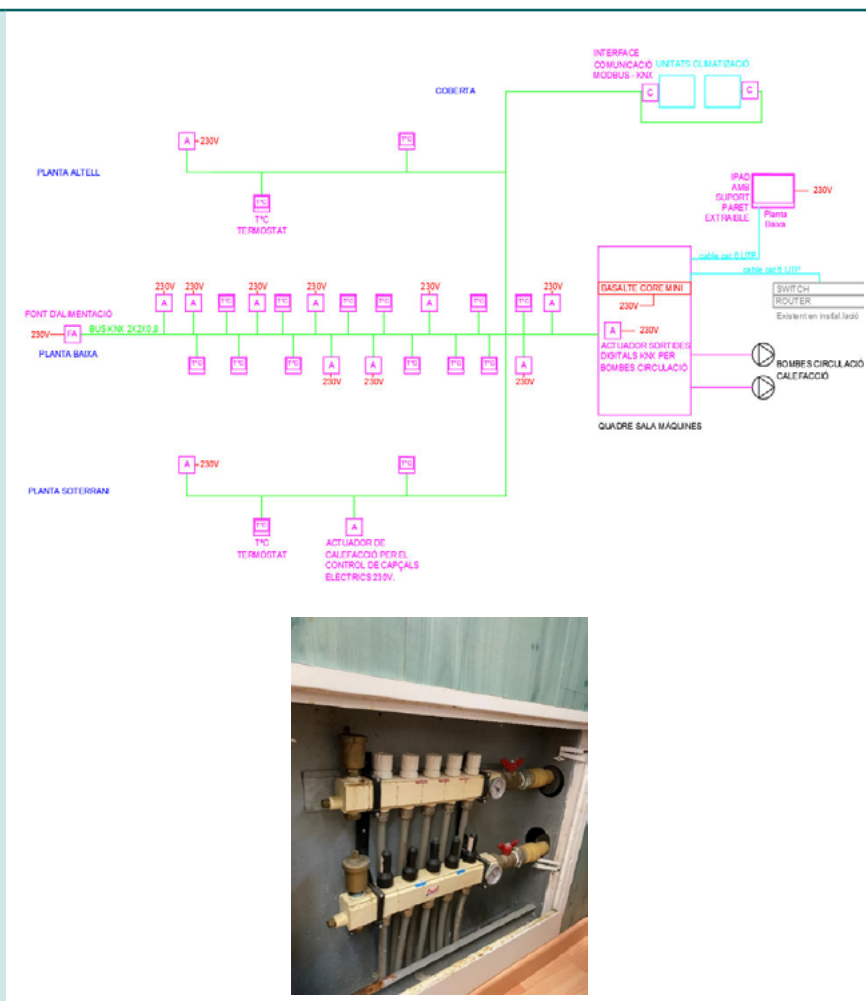
Estat original	<p>L'escola bressol disposava d'una caldera de gas de 105 kWt per donar servei a la calefacció amb terra radiant. El consum d'ACS es cobreix a partir de dos acumuladors termoelèctrics de 100 l/unitat</p> <p>Segons es menciona el projecte executiu la caldera es trobava en mal estat de conservació (2003) i després de diverses reparacions important van empitjorar l'eficiència energètica d'aquesta. L'equipament hi havia un sistema de plaques solars tèrmiques en desús.</p>  <p>S'ha procedit a la retirada de de tots els elements que s'han quedat obsolets i que ja no s'utilitzaran: caldera de gas i bloc prefabricat, tota la instal·lació de plaques solars tèrmiques, bombes i col·lectors hidràulics.</p>
----------------	--

Solució adoptada	<p>Actualment s'han instal·lat dues bombes de calor aire-aigua, en paral·lel, de 50kW cadascuna, amb gas refrigerant R410A. El funcionament de les bombes es amb cascada, augmentant el rang de potències de treball per adaptar-se a les necessitats tèrmiques. S'ha previst d'un dipòsit d'inèrcia de 800L. Les bombes circuladores i els col·lectors de distribució aïllant-los amb espuma electromerica segons RITE.</p> <p>El sistema de producció d'ACS s'ha renovat instal·lant nous acumuladors termoelèctrics, un per cada dos aules, de 75L/cadascun. S'han adaptat les canonades per garantir ACS a tots els punts. Els dos acumuladors existents s'han conservat.</p> <p>Els sistemes de refrigeració 1x1 s'han renovat per adaptar-se a la normativa FGAS. S'han instal·lat 3 unitats de 5kWt.</p> <p>El sistema de control s'ha millorat per amb sistema KNX per poder controlar les temperatures.</p> <p>En els càlculs d'estalvi d'electricitat (kWh) no s'ha tingut en compte l'autoconsum de fotovoltaica.</p> <p>S'ha aprofitat l'actuació per instal·lar plaques fotovoltaiques a la coberta de l'equipament.</p>
------------------	---


Milliores de confort i eficiència		Superfície amb noves UI	X	Nou sistema ACS més eficient
		Superfície amb nova ventilació	X	Millor control i eficiència
		Més espais calefactats	X	Més autoconsum FV
	X	Més espais refrigerants		Sistema actual com a backup


Actuació	Renovació instal·lació tèrmica a Escola Bressol			ED. 01
Tipus d'equipament	Escola Bressol	Comarca	Maresme	
Dades	Pressupost (PEC + IVA)		171.301,93 €	
	Posada en marxa: finals 2024			
Estalvis anuals	L'estalvi total en kWh és de:		58.347 kWh	
	L'estalvi d'electricitat en kWh és de:		-	
	L'estalvi de combustible en kWh és de:		-	
	L'estalvi d'emissions en kg de CO ₂ equivalent és de:		14.352 kg CO ₂ eq	

Informació
addicional



Actuació	Descarbonització de la demanda de calderes de gas			ED. 02
Tipus d'equipament	Escola	Comarca	Baix Llobregat	


Estat original	<p>L'actuació es fa arrel de la detecció d'una avaria en les calderes de gas natural existents (216 kWt entre les dues).</p> <p>La potència elèctrica contrada és de 32,4 kWe.</p> <p>Es va procedir al desmuntatge de les instal·lacions existents.</p>
	

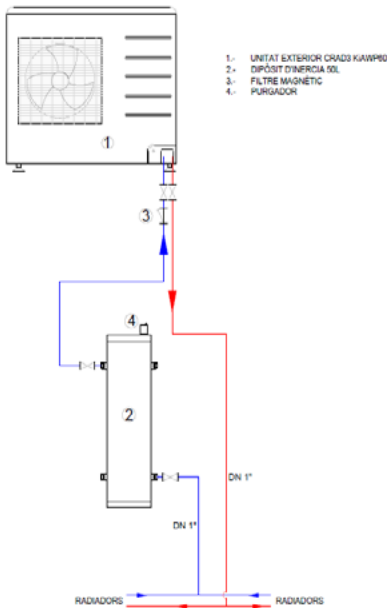
Solució adoptada	<p>Es presenta la cronologia de l'actuació:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2022/23: Proposta, Acceptació i Redacció del Projecte. • 2023/24: Assoliment del finançament i licitació. • 2024: Adjudicació execució. • 2025: Posada en marxa. <p>Actualment s'han instal·lat dues bombes de calor aire-aigua, en paral·lel, de 75 kW cadascuna. S'ha modificat la sala tècnica per tal d'adaptar-ho al funcionament de l'equipament.</p> <p>S'ha realitzat un canvi en la potència elèctrica contractada, passant actualment a 55kW, el qual va derivar a l'ampliació dels drets d'escomesa amb un cost de 6.000€, mentre que el termini d'acceptació de l'escomesa per part de la companyia van ser 17 mesos.</p>
	

Milliores de confort i eficiència	Superfície amb noves UI		Nou sistema ACS més eficient
	Superfície amb nova ventilació	X	Millor control i eficiència
	Més espais calefactats	X	Més autoconsum FV
	Més espais refrigerants		Sistema actual com a backup

Actuació	Descarbonització de la demanda de calderes de gas			ED. 02
Tipus d'equipament	Escola	Comarca	Baix Llobregat	
Dades	Pressupost (PEC + IVA)		118.000,00 €	
	Posada en marxa: inicis 2025			
Estalvis anuals	L'estalvi total en kWh és de:		215.297 kWh	
	L'estalvi d'electricitat en kWh és de:		-28.020 kWh	
	L'estalvi de combustible en kWh és de:		243.317 kWh	
	L'estalvi d'emissions en kg de CO ₂ equivalent és de:		54.031 kg CO ₂ eq	



Actuació	Substitució de la caldera de gas per als radiadors de l'espai			ED. 03
Tipus d'equipament	Escola	Comarca	Anoia	

Estat original	<p>Es tracta d'una escola amb diferents edificis. L'edifici de l'espai infantil es aïllat amb 4 aules, uns 200 m2 aproximadament. La caldera de gas de 44kWt que hi donava servei estava a la sala tècnica de l'edifici de primària i a través de canonades soterrades pel pati arribava a l'edifici d'infantil.</p> <p>Aquest espai disposava de radiadors d'alumini i ferro.</p>
	

Solució adoptada	<p>Actualment s'han instal·lat dues bombes de calor aire-aigua de 16 kW cadascuna per funcionar amb els radiadors existents, conjuntament amb dos dipòsits d'inèrcia de 50L cadascun.</p>
	 <p>1- UNITAT EXTERIOR CRAZO KIAWP10 2- DIPÒSIT D'INÈRCIA SOL 3- FILTRE MAGNÈTIC 4- PURGADOR</p>
	<p>Continua havent-hi consum de gas a l'equipament, ja que a la resta d'edificis segueix tenint el subministrament de calefacció amb gas.</p>

Milliores de confort i eficiència	Superfície amb noves UI		Nou sistema ACS més eficient
	Superfície amb nova ventilació	X	Millor control i eficiència
	Més espais calefactats	X	Més autoconsum FV
	Més espais refrigerants		Sistema actual com a backup

Actuació	Substitució de la caldera de gas per als radiadors de l'espai			ED. 03
Tipus d'equipament	Escola	Comarca	Anoia	
Dades	Pressupost (PEC + IVA)		21.594,18 €	
	Posada en marxa: novembre 2023			
Estalvis anuals	L'estalvi total en kWh és de:		55.169 kWh	
	L'estalvi d'electricitat en kWh és de:		6.980 kWh	
	L'estalvi de combustible en kWh és de:		111.720 kWh	
	L'estalvi d'emissions en kg de CO ₂ equivalent és de:		13.903 kg CO ₂ eq	


Actuació	Substitució de la caldera per calefacció i introducció ventilació			CD. 01
Tipus d'equipament	Centre dia	Comarca	Garraf	
Estat original	L'equipament disposava d'una caldera de gasoil obsoleta i un sistema de radiadors funcionant a alta temperatura. Consisteix en un centre de dia amb un espai diàfan.			
Solució adoptada	La solució ha consistit en el desmantellament de la caldera de gasoil i el dipòsit i la instal·lació d'una bomba de calor aerotermia d'alta temperatura per així conservar els radiadors existents per calefacció. L'equipament s'ha dotat de refrigeració a través d'uns ventilovectors per tal de la millora del confort en l'època estival. Per tal de complir la normativa vigent i en benefici de la qualitat de l'aire interior, s'ha incorporat ventilació mecànica amb recuperació de calor a través de conductes vistos.			
				
Millors de confort i eficiència		Superfície amb noves UI		Nou sistema ACS més eficient
	X	Superfície amb nova ventilació	X	Millor control i eficiència
		Més espais calefactats	X	Més autoconsum FV
		Més espais refrigerants		Sistema actual com a backup
Dades	Pressupost (PEC + IVA)			-
	Posada en marxa: inicis 2025			
Estalvis anuals	L'estalvi total en kWh és de:			-
	L'estalvi d'electricitat en kWh és de:			-
	L'estalvi de combustible en kWh és de:			-
	L'estalvi d'emissions en kg de CO ₂ equivalent és de:			-

Actuació	Substitució de la caldera per calefacció i introducció ventilació			CD. 01
Tipus d'equipament	Centre dia	Comarca	Garraf	

Informació
addicional



Actuació	Introducció de Geotèrmia i Aerotèrmia a la Climatització			AJ. 01
Tipus d'equipament	Ajuntament	Comarca	Osona	

Estat original	<p>La producció de calor per la calefacció es disposava de dos calderes de GLP de 85 kW, cadascuna. Aquestes alimentaven un col·lector amb 3 sortides per alimentar els radiadors de planta baixa i primera i una ramal que alimentava el col·lector de fred/calor de la segona planta.</p> <p>Algunes parts de l'equipament disposen ja d'un sistema VRV per calefacció i refrigeració. Local d'arxiu i office es van reformar, fa un temps, substituint radiadors de fosa per fan-coils de conductes.</p>
	




Solució adoptada	<p>S'ha decidit per la realització d'un sistema híbrid amb bombes de calor d'aerotèrmia i geotèrmia, aquesta última amb 4 pous de 100m de profunditat.</p> <p>La instal·lació consta d'una bomba de calor geotèrmica de 25 kWt i dos bombes de calor aerotèrmiques compactes de 12 kWt cadascuna. S'han instal·lat dos acumuladors de 500L de capacitat.</p>
	

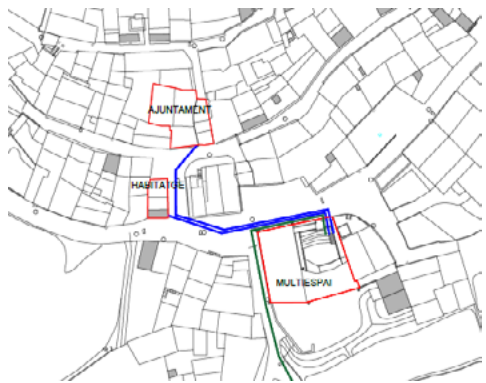
Milliores de confort i eficiència		Superfície amb noves UI		Nou sistema ACS més eficient
		Superfície amb nova ventilació	X	Millor control i eficiència
		Més espais calefactats	X	Més autoconsum FV
	X	Més espais refrigerants		Sistema actual com a backup

Dades	Pressupost (PEC + IVA)	155.488,21 €
	Posada en marxa: inicis 2025	

Actuació	Introducció de Geotèrmia i Aeroèrmia a la Climatització			AJ. 01
Tipus d'equipament	Ajuntament	Comarca	Osona	

Estalvis anuals	L'estalvi total en kWh és de:	-
	L'estalvi d'electricitat en kWh és de:	-
	L'estalvi de combustible en kWh és de:	70.483 kWh
	L'estalvi d'emissions en kg de CO ₂ equivalent és de:	-

Informació addicional	 
	

Actuació	Producció i distribució de la climatització al Local Social i Ajuntament amb BC Geotèrmica			VA. 01
Tipus d'equipament	Varis	Comarca	Anoia	
Estat original	Es desconeixen les condicions anteriors			
Solució adoptada	<p>S'ha instal·lat un sistema geotèrmia a través de 12 pous de captació de 125m de profunditat.</p> <p>Al local social s'ha ubicat la sala tècnica on hi ha 4 bombes de calor geotèrmiques de 40 kWt cadascuna, les qual abasteixen mitjançant una petita xarxa de climatització a l'ajuntament, el local social i un habitatge. S'ha instal·lat un dipòsit d'inèrcia de 1500 litres.</p> <p>L'abast d'aquest projecte inclou la distribució interior de climatització al local social continguda per 3 fan-coils i la distribució dels conductes.</p>  <p>El mapa mostra un pla urbà amb tres zones delimitades en vermell: 'AJUNTAMENT', 'HABITATGE' i 'MULTIESPAI'. Una línia blava indica la xarxa de distribució de climatització que connecta aquestes zones.</p>			
Millores de confort i eficiència	<input checked="" type="checkbox"/>	Superfície amb noves UI		Nou sistema ACS més eficient
	<input checked="" type="checkbox"/>	Superfície amb nova ventilació	<input checked="" type="checkbox"/>	Millor control i eficiència
	<input checked="" type="checkbox"/>	Més espais calefactats		Més autoconsum FV
	<input checked="" type="checkbox"/>	Més espais refrigerants		Sistema actual com a backup
Dades	Pressupost (PEC + IVA)			439.800,00 €
	Posada en marxa: inicis 2025			
Estalvis anuals	L'estalvi total en kWh és de:			-
	L'estalvi d'electricitat en kWh és de:			-
	L'estalvi de combustible en kWh és de:			-
	L'estalvi d'emissions en kg de CO ₂ equivalent és de:			-

7

Bibliografía

Bibliografía europea

Font 1 EPBD - [Directiva \(UE\) 2024/1275](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios; UE; 2024

Bibliografía Estatal

Font 2 [Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques dels Edificis](#); MITECO; 2007

Font 3 [Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España](#); IDAE; 2014

Font 4 [Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios](#); IDAE; 2014

Font 5 [Escala de calificación energética para edificios existentes](#); IDAE; 2011

Font 6 [Calculadora de huella de carbono para organizaciones 2007-2024](#); MITERD; 2025

Font 7 Guía Técnica "[Mantenimiento de instalaciones térmicas](#)"; IDAE; 2007

- Font 8** Guia Tècnica “[Instalaciones de climatización con equipos autónomos](#)”; IDAE; 2012
- Font 9** Guia Tècnica “[La bomba de calor en la rehabilitación energética de edificios](#)”; IDAE;2023
- Font 10** Guia Tècnica “[Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado](#)”; IDAE; 2012
- Font 11** Guia Tècnica “[Ahorro y recuperación de energía en Instalaciones de climatización](#)”; IDAE; 2012
- Font 12** Guia Tècnica “[Agua caliente sanitaria central](#)”; IDAE; 2010
- Font 13** Guia Tècnica “[Puesta en marcha de instalaciones según RITE](#)”; IDAE; 2014
- Font 14** Guia Sistema CAE “[Transmisión y Monetización Del Ahorro Energético En El Sector Público](#)”; MITERD; 2025
- Font 15** [Plan Nacional Integrado de Energía y Clima ACTUALIZACIÓN 2023-2030](#); MITERD; 2024
- Font 16** [Código Técnico de la Edificación – DB HE](#); MITERD; 2023
- Font 17** [Borrador del Plan Nacional de Renovación de Edificios](#); MIVAU; 2025

Bibliografia de Catalunya

- Font 18** [Prospectiva energètica de Catalunya 2050 - PROENCAT 2050](#); ICAEN; 2023
- Font 19** [Els gasos d'efecte hivernacle](#); web GENCAT
- Font 20** [Estratègia per promoure l'aprofitament energètic de la biomassa forestal i agrícola - balanç 2024 - informe de seguiment](#); GENCAT; 2024
- Font 21** [Estratègia catalana del biogàs i pla d'acció 2024-2030](#); GENCAT; 2024
- Font 22** [Guia de càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle \(GEH\)](#); Oficina Catalana de Canvi Climàtic de la Generalitat de Catalunya; 2025
- Font 23** [Estalvi i eficiència energètica en edificis públics. Una guia de bones pràctiques](#); ICAEN; 2008
- Font 24** [Estudi de l'evolució del mercat de bombes de calor per a les instal·lacions tèrmiques de climatització a Catalunya 2009-2022](#); ICAEN; 2024
- Font 25** [Treballs tècnics relatius al potencial de les bombes de calor aerotèrmiques d'alta eficiència energètica per a climatització i generació d'aigua calenta sanitària a Catalunya](#); ICAEN; 2020
- Font 26** [Guia bàsica d'eficiència energètica en edificis municipals](#); Agència d'Energia de Barcelona; 2011

8

Glossari

Glossari de definicions

CO₂ equivalent El terme diòxid de carboni equivalent (CO₂eq) es pot definir com la quantitat d'emissions de CO₂ que provocaria la mateixa intensitat radiant que una determinada quantitat emesa d'un gas amb efecte d'hivernacle o una mescla de gasos amb efecte d'hivernacle. Per obtenir-la, cal multiplicar la quantitat de GEH pel seu potencial d'escalfament (GWP en anglès). Per exemple, el metà (CH₄) té un efecte sobre l'escalfament global de 28 vegades el CO₂. L'òxid nitrós (N₂O) equival a 273 vegades el CO₂.

Descarbonitzar És el procés de reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) de l'activitat humana que contribueixen a augmentar l'efecte hivernacle de l'atmosfera. Habitualment es mesura l'emissió d'aquests gasos en quilograms o tones de diòxid de carboni equivalent (CO₂ equivalent), ja que es pren el CO₂ de referència al ser el gas d'efecte hivernacle amb major concentració a l'atmosfera, tot i que n'hi ha altres amb major impacte (metà CH₄, òxid nitrós N₂O, hidrofluorcarburs HFC...) font 19.

Electrificació Substituir o incorporar equips elèctrics en comptes d'altres combustibles (gasoil, gas natural, biomassa...).

PEA És el potencial d'escalfament atmosfèric o global warming potential (GWP) en anglès o potencial de calentamiento atmosférico (PCA) en castellà. Aquest índex indica el CO₂ equivalent de cada kg de refrigerant alliberat a l'atmosfera. Per això el PEA del CO₂ és 1.

Glossari alfabètic de sigles

A1	Classificació ASHRAE: baixa toxicitat, no inflamable
A2L	Classificació ASHRAE: baixa toxicitat, lleugerament inflamable
A3	Classificació ASHRAE: baixa toxicitat, molt inflamable
AA	Aire-Aire
ACS	Aigua Calenta Sanitària
AW	Aire-Aigua
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BC	Bomba de Calor
BC AA	Bomba de Calor Aire-Aire
BC AW	Bomba de Calor Aire-Aigua
BC WW	Bomba de Calor Aigua-Aigua
CAE	Certificats d'Estalvi Energètic
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CEE	Certificat d'Eficiència Energètica
CO₂eq	Diòxid de carboni equivalent
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
CTE	Codi Tècnic de l'Edificació
DCV	<i>Demand Controlled Ventilation</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
EPR/EPNR/EPT	Energia Primària Renovable / No Renovable / Total
ESE	Empresa de Serveis Energètics
ETS2	Sistema Europeu d'Emissions
FGAS	Gasos fluorats d'efecte hivernacle
GdO	certificats de Garanties d'Origen de l'electricitat
GEH	Gasos d'Efecte Hivernacle
GLP	Gas Liquefiet del Petrolí
GWP	Global Warming Potential (PEA en anglès)
HE0, HE1, HE2, HE4, HE5	Documents del CTE
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
ICAEN	Institut Català d'Energia
ICQA	Índex Català de Qualitat de l'Aire
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kWt	Quilowatt tèrmic

LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MEPS	<i>Minimum Energy Performance Standards</i>
MITECO	Ministerio para la Transición Ecológica
nZEB	<i>Nearly Zero Energy Building</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PAESC	Pla d'Acció per l'Energia Sostenible i el Clima
PCA	Potencial de Calentamiento Atmosférico
PEA	Potencial d'Escalfament Atmosfèric
PEC	Pressupost d'Execució per Contracte
PEM	Pressupost d'Execució Material
PEHV	<i>Plugin Hybrid Electric Vehicle</i>
PGI	Programa General d'Inversions
PNIEC	Plan Nacional Integrado de Energía y Clima
PROENCAT	Prospectiva Energètica de Catalunya
RASIC	Registre d'Agents de la Seguretat Industrial de Catalunya
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i> (trajectòries de concentracions representatives)
REBT	Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió
RITE	Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en Edificis
SCOP	<i>Seasonal Coefficient of Performance</i>
SEER	<i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i>
SPF	<i>Seasonal Performance Factor</i>
UTA	Unitat de Tractament d'Aire
VAN	Valor Actual Net
VRV	<i>Variable Refrigerant Volume</i>
XVPCA	Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica

9

Índex de figures

-
- Fig. 1** Producció d'energies renovables a la província de Barcelona
-
- Fig. 2** Rati de consum per làmpada. Dades de Cercle de comparació intermunicipal d'estalvi i eficiència energètica en l'enllumenat públic – Font: DIBA
-
- Fig. 3** Tipus de làmpades instal·lades. Dades de Cercle de comparació intermunicipal d'estalvi i eficiència energètica en l'enllumenat públic – Font: DIBA
-
- Fig. 4** Evolució temporal de les matriculacions. Matriculacions de vehicles elèctrics i endollables. Dades Obertes. Institut Català d'Energia
-
- Fig. 5** Diagrama de fluxos
-
- Fig. 6** Cicles de modelització energètica segons ANSI/ASHRAE Standard 209-2018
-
- Fig. 7** Cicle frigorífic de compressió per a calefacció, bomba de calor aigua-aigua. Font: IDAE
-
- Fig. 8** Representació de l'SCOP en funció de les zones climàtiques de Catalunya per als 4 casos més extrems. Font: ICAEN
-
- Fig. 9** Variació del COP d'una bomba de calor aire-aigua en funció de la temperatura exterior i de la temperatura d'impulsió a 35 °C, 45 °C o 55 °C en condicions UNE-EN 14511. Font: IDAE

-
- Fig. 10** Flux de l'energia primària. Font: CTE DB HE. Annex A
-
- Fig. 11** Distribució en kWh de l'energia final d'un sistema d'ACS comparant diverses solucions tècniques
-
- Fig. 12** Imatge del centre educatiu i model tèrmic resultant de l'auditoria energètica (Cas núm. 1)
-
- Fig. 13** Distribució horària de les demandes i càrregues en funció de la temperatura exterior (Cas núm. 1)
-
- Fig. 14** Fig. 14 Demandes energètiques dels edificis propers al centre educatiu (Cas núm. 1)
-
- Fig. 15** Unitats exteriors de les bombes de calor aire-aire (Cas núm. 2)
-
- Fig. 16** Imatge de l'ajuntament i del model tèrmic resultat de l'auditoria energètica. (Cas núm. 2)
-
- Fig. 17** Imatge del centre esportiu. Font: SUNO
-
- Fig. 18** Esquema de ventilació, climatització i condicionament de l'aire per la pista esportiva i graderies. Font: IDAE
-
- Fig. 19** Imatge de la sala polivalent. Font: SUNO
-
- Fig. 20** Correlació del cost PEM (€) amb la potència tèrmica (kWt) de la BC AW
-
- Fig. 21** Correlació del cost PEM (€) amb la potència tèrmica (kWt) de la BC AW FRED
-
- Fig. 22** Correlació del cost PEM (€) de les unitats interiors i sistema de ventilació amb la superfície climatitzada (m²)
-
- Fig. 23** Correlació del cost PEM (€) amb la potència tèrmica (kWt) de la BC AW, unitats interiors i sistema de ventilació
-
- Fig. 24** Correlació del cost PEM (€) amb la potència tèrmica (kWt) de la BC AA (complet)
-
- Fig. 25** Correlació del cost PEM (€) de la BC WW (incloent hidràulica de circuit primari) amb la potència tèrmica (kWt)
-
- Fig. 26** Correlació del cost PEM (€) de la BC WW) amb la potència tèrmica (kWt)
-
- Fig. 27** Correlació del cost PEM (€) de la BC WW i els pous geotèrmics, amb la potència tèrmica (kWt)
-

10

Índex de taules

<i>Taula 1</i>	Evolució dels factors de pas del kWh elèctric a grams de CO ₂ equivalent	17
<i>Taula 2</i>	Factors de pas d'energia final a primària aplicats a la certificació energètica d'edificis. Font: Doc. Rec. RITE	46
<i>Taula 3</i>	Factors de pas d'energia final a emissions de CO ₂ aplicats a la certificació energètica d'edificis. Font: Doc. Rec. RITE	46
<i>Taula 4</i>	Resum dels reglaments d'ecodisseny i normes aplicables a les bombes de calor. Font: fitxa CAE TER 40 Annex V	47
<i>Taula 5</i>	Classificació segons el risc d'inflamabilitat i la toxicitat dels refrigerants	52
<i>Taula 6</i>	Resum dels refrigerants més comuns, ordenats segons el seu PEA53	
<i>Taula 7</i>	Resum de les limitacions del PEA segons la tipologia d'equip i potència	54
<i>Taula 8</i>	Tipologies d'emissors i rangs de treball habitual	62
<i>Taula 9</i>	Resum dels casos pràctics exposats	73
<i>Taula 10</i>	Ratis energètics del CEE en l'estat actual (Cas núm. 1)	75
<i>Taula 11</i>	Càrregues de disseny per diferents escenaris (Cas núm. 1)	75

<i>Taula 12</i>	Resum dels indicadors per a cada fase (Cas núm. 1)	77
<i>Taula 13</i>	Resum d'indicadors energètics en base a la simulació semi-calibrada (Cas núm. 2)	79
<i>Taula 14</i>	Comparativa de potencia instal·lada i necessitats tèrmiques de càlcul. (Cas núm. 2) Font: SUNO	80
<i>Taula 15</i>	Resum dels indicadors per a cada fase (Cas núm. 2)	81
<i>Taula 16</i>	Ratis energètics del CEE en l'estat actual (Cas núm. 3)	83
<i>Taula 17</i>	Resum dels indicadors (Cas núm. 3)	84
<i>Taula 18</i>	Ratis energètics del CEE en l'estat actual (Cas núm. 4)	86
<i>Taula 19</i>	Resum dels indicadors (Cas núm. 4)	87
<i>Taula 20</i>	Resum dels casos d'èxit	98



Annex 1

Es proposa un procediment de priorització d'edificis per a la seva descarbonització i uns barems de puntuació, tal i com es planteja al punt 3.2 de la guia, com una primera aproximació. En qualsevol cas caldrà que l'ens local adapti el barem i el procediment amb els seus propis criteris.

Procediment de priorització d'edificis

El procediment que es proposa seguir és:

1. Calcular la puntuació de cada edifici segons barem proposat a continuació (sumatori 0–100).
2. Ordenar de més a menys i crear 3 nivells de prioritat, per exemple:
 - Alta: ≥ 70
 - Mitja: 45–69
 - Baixa: < 45
3. Si hi ha empats de puntuació, es pot reordenar posant primer els d'emergència superior, després els de desconfort superior i finalment els més contaminants (criteri ambiental superior).

Barem de puntuació

La puntuació que es proposa per cada categoria és la següent:

- 1) **Emergència (0–30 punts):** Es pondera fins a 15 punts la vida útil del sistema generador i fins a 15 punts l'estat o el risc d'avaries.

Vida útil

15 punts: Vida útil superada

10 punts: Menys de 2 anys per arribar al final de la vida útil

5 punts: Entre 3 i 5 anys pel final de vida útil.

0 punts: Més de 5 anys de vida útil restant.

Estat actual

15 punts: Avaries recurrents, fuites, corrosió severa, indisponibilitat freqüent, risc de parada imminent.

10 punts: Mal estat, incidències anuals, rendiment degradat o components crítics amb problemes.

5 punts: Estat acceptable però amb símptomes (vibracions, sorolls, combustió irregular, etc.).

0 punts: Bon estat, sense incidències rellevants.

- 2) Ambiental (0–20 punts):** Es pondera fins a 15 punts el total d'emissions de CO₂ comparant-se amb tots els edificis d'un mateix municipi i 5 punts per la contaminació localitzada i altres gasos contaminants.

Emissions totals

- 15 punts:** Si l'edifici es troba per sobre el percentil 80 d'emissions totals.
- 10 punts:** Si l'edifici es troba entre el percentil 60 i el 80 d'emissions totals.
- 5 punts:** Si l'edifici es troba entre el percentil 40 i el 60 d'emissions totals.
- 0 punts:** Si l'edifici es troba per sota del percentil 40 d'emissions totals.

Contaminació local

- 5 punts:** Caldera de gasoil mal controlada o alts indicis de NOx o partícules, ja sigui perquè és una zona sensible, hi ha queixes o l'emissió de gasos per la xemeneia porta problemes.
- 3 punts:** Caldera de gas amb combustió millorable o xemeneia en entorn sensible.
- 0 punts:** Baixa incidència per ser un equip ben ajustat i en bones condicions.
- 3) Econòmic (0–20 punts):** Es pondera fins a 15 punts la despesa econòmica total comparant-se amb tots els edificis d'un mateix municipi i 5 punts pels costos d'operació i manteniment.

Cost econòmic anual

- 15 punts:** Si la despesa econòmica està per sobre el percentil 80.
- 10 punts:** Si la despesa econòmica està per entre el percentil 60 i 80.
- 5 punts:** Si la despesa econòmica està per entre el percentil 40 i 60.
- 0 punts:** Si la despesa econòmica està per sota el percentil 40.

Costos d'operació i manteniment

- 5 punts:** Manteniment elevat.
- 3 punts:** Manteniment moderat.
- 0 punts:** Manteniment baix.
- 4) Social (0–15 punts):** Es pondera fins a 6 punts la intensitat d'ús de l'equipament, és a dir, la quantitat de persones que se'n beneficien. Fins a 6 punts la tasca social que realitzi l'edifici, especialment si es tracta de serveis essencials o equipaments comunitaris rellevants. També es puntua fins a 3 punts la implicació que té l'equip que gestionarà l'equipament.

Intensitat d'ús

- 6 punts:** Ús alt
- 3 punts:** Ús mitjà.
- 0 punts:** Ús baix o esporàdic.

Funció social

- 6 punts:** Refugi climàtic o serveis essencials.
- 3 punts:** Equipament comunitari rellevant.
- 0 punts:** Altres

Implicació de l'equip de gestió energètica

- 3 punts:** Alta implicació, accés tècnic fàcil, poques barreres operatives.
- 0 punts:** Baixa implicació, rebuig, barreres en la operació.

- 5) Confort tèrmic, qualitat de l'aire i humitat (0–15 punts):** Es pondera fins a 10 punts el confort tèrmic i fins a 5 punts la qualitat de l'aire interior.

Confort tèrmic

- 10 punts:** Queixes freqüents i/o moltes hores fora de consigna i espais amb desconfort crònic.
- 5 punts:** Queixes puntuals, problemes estacionals o poques hores fora de consigna.
- 0 punts:** Confort satisfactori.

Qualitat d'aire interior (CO₂) i humitat

- 5 punts:** Episodis repetits d'altres concentració de CO₂, manca de ventilació efectiva o humitats i condensacions persistents
- 0 punts:** Sense concentració de CO₂ ni problemes d'humitat o ventilació.

