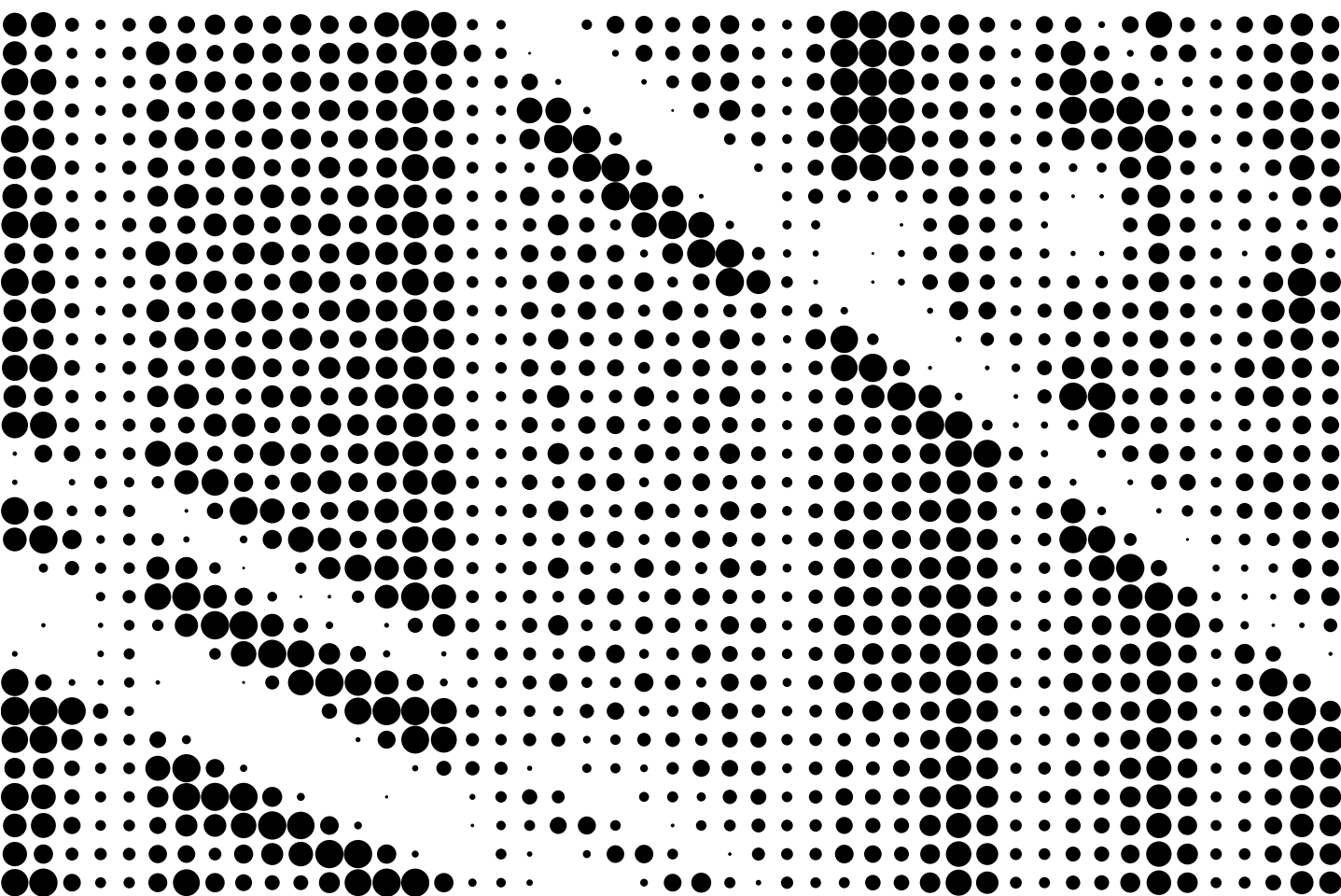


# Rehabilitació energètica d'edificis



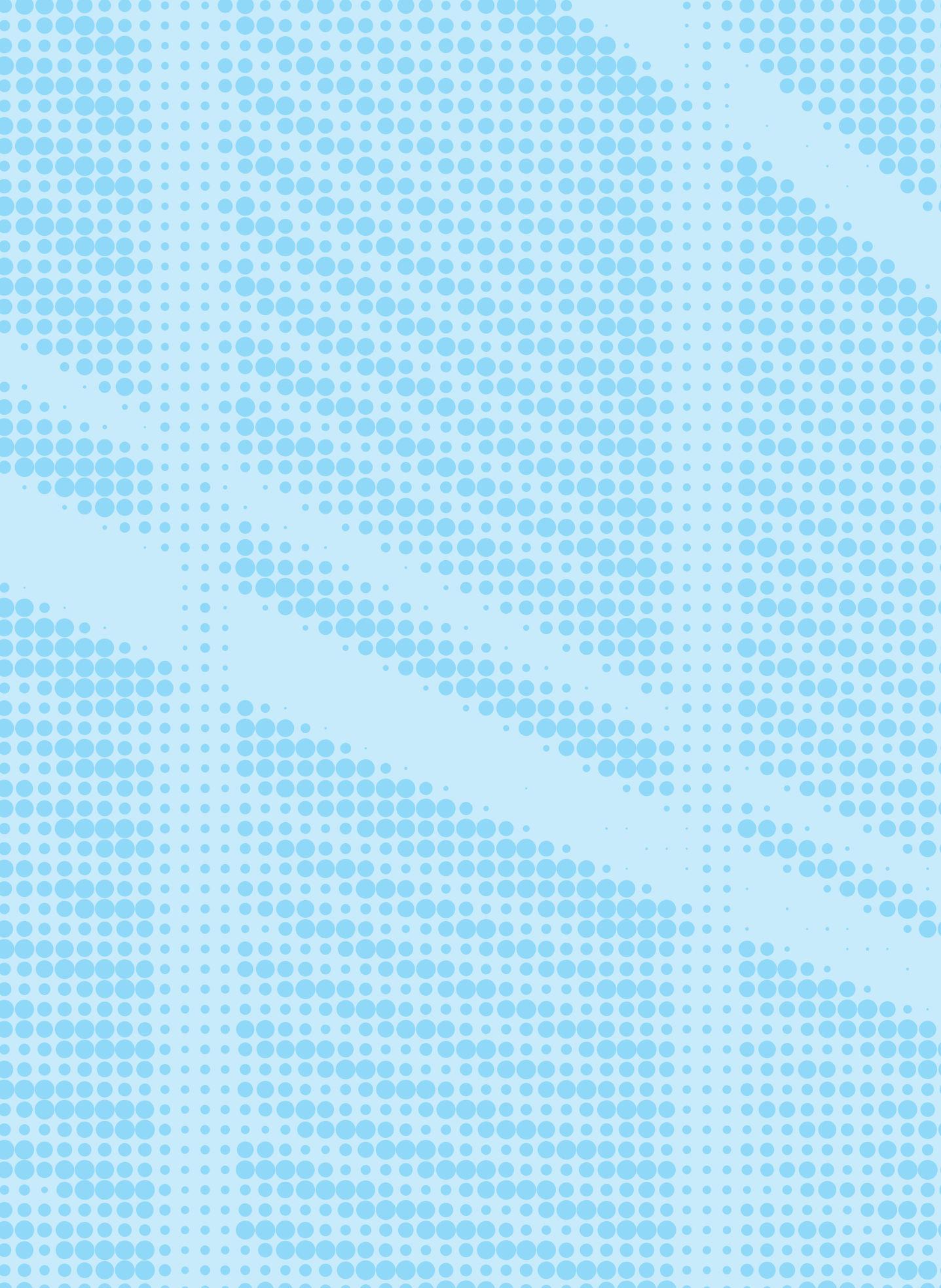
Col·lecció Quadern Pràctic  
Número 10

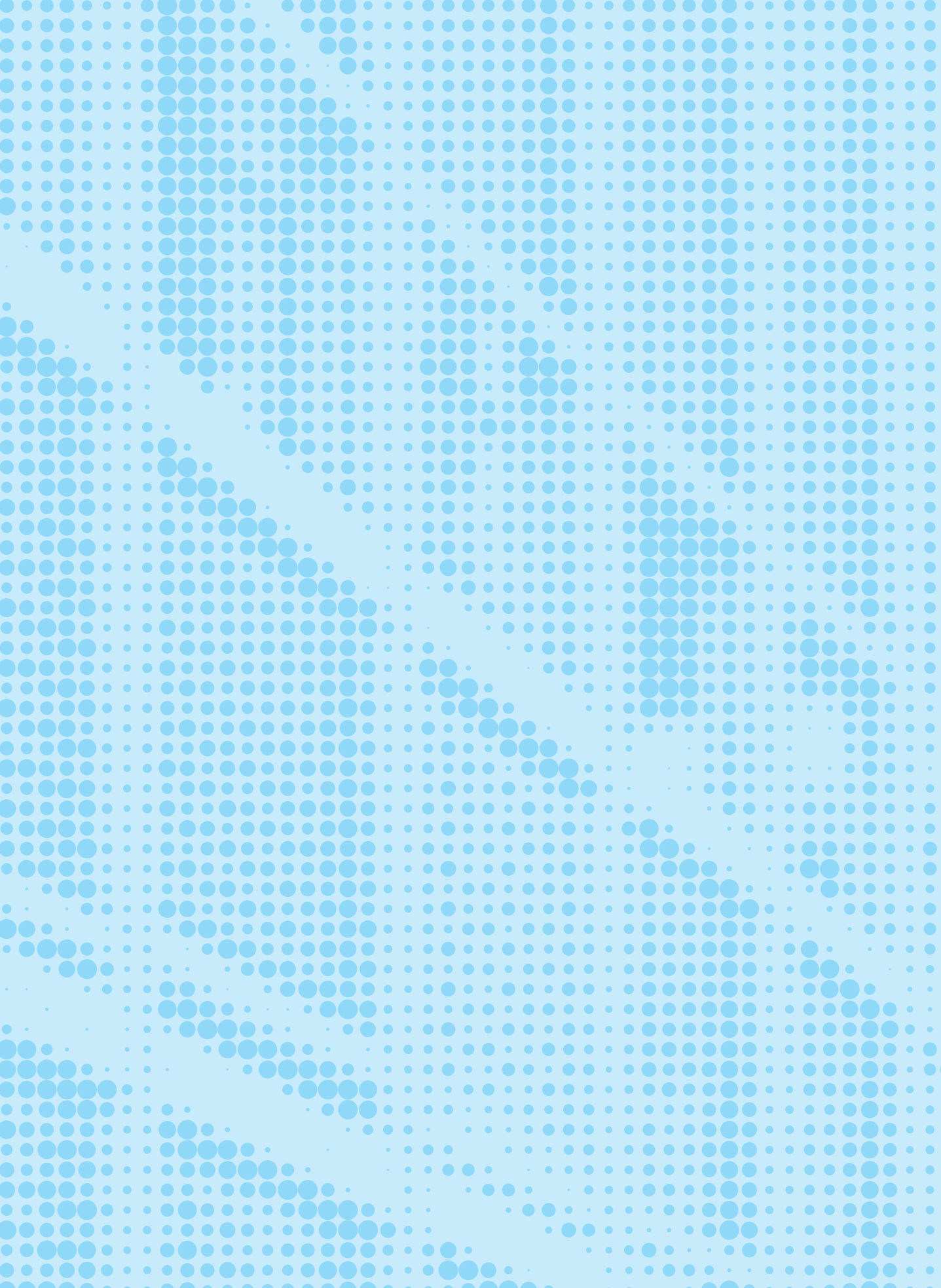


# Rehabilitació energètica d'edificis



Col·lecció Quadern Pràctic  
Número 10







# Rehabilitació energètica d'edificis



Col·lecció Quadern Pràctic  
Número 10

**Biblioteca de Catalunya - Dades CIP**

Capdevila, Ivan, 1970

*Rehabilitació energètica d'edificis.*

(*Col·lecció Quadern pràctic ; 10*)

**Bibliografia:**

I. Linares, Elisa II. Institut Català d'Energia

III. Títol IV. Col·lecció: Col·lecció Quadern pràctic ; 10

1. Edificis – Remodelació – Catalunya

2. Edificis – Estalvi d'energia – Catalunya

721.025.4:620.9(460.23)





© Generalitat de Catalunya  
Institut Català d'Energia  
icaen.gencat.cat

**1a edició:** Octubre de 2016

**Dipòsit legal:** B 14523-2016

**Redacció del document base:**

Sr. Ivan Capdevila, Sra. Elisa Linares. *ERF - Estudi Ramon Folch i Associats*

**Col·laboradors en la revisió del document:**

Sr. Josep Solé Bonet - *Ursa Insulation*. Sra. Anna Manyes - *Rockwool*.

Sr. Albert López - *Somfy*. Sr. Pablo Martín - *Asefave*.

Sra. Isabel Larrea Velasco - *Asoven*. Sr. Oriol Vila - *De Dietrich Thermique*.

Sr. Pablo Maroto - *Knauf*. Laia Cases - *Eurecat*. Sra. Eva Paris i Marta Arrufí -  
*Agència de l'Habitatge de Catalunya (AHC)*

**Coordinació i edició:**

Lluís Morer, Ainhoa Mata, Mavi Portillo, César de Cara - *Institut  
Català d'Energia*.

**Versió electrònica:**

icaen.gencat.cat/publicacions/quadernpractic

**Disseny i maquetació:** Oxigen, comunicació gràfica | oxigen.cat

**Avís legal:**

Aquesta obra està subjecta a la llicència Reconeixement –NoComercial– SenseObraDerivada 3.0 de Creative Commons. Se'n permet la reproducció, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi l'autor i no se'n faci un ús comercial de l'obra original ni la generació d'obres derivades. La llicència completa es pot consultar a: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>







# Índex

<b>1. Introducció</b>	<b>19</b>
<b>2. Resum executiu</b>	<b>21</b>
<b>3. Caracterització de les mesures d'eficiència energètica</b>	<b>24</b>
<b>3.1. Introducció</b>	<b>24</b>
<b>3.2. Mesures passives</b>	<b>25</b>
3.2.1. Aïllament de façana	25
3.2.2. Aïllament de coberta	34
3.2.3. Substitució de finestres	38
3.2.4. Proteccions solar exteriors	40
3.2.5. Proteccions solars interiors	42
3.2.6. Millores de l'estanquitat	44
3.2.7. Resum comparatiu de materials d'aïllament	45
<b>3.3. Mesures actives</b>	<b>46</b>
3.3.1. Sistemes tèrmics no renovables	46
3.3.2. Airejadors i reductors de cabal d'ACS	55
3.3.3. Calderes de biomassa	57
3.3.4. Instal·lacions solars tèrmiques	59
3.3.5. Geotèrmia	62
3.3.6. Millores en il·luminació	63
3.3.7. Millores en equips	66
3.3.8. Mesures de gestió	67
<b>4. Estudi sobre la rendibilitat econòmica i idoneïtat de diferents tecnologies energèticament eficients a diferents tipologies d'edificis del sector residencial</b>	<b>69</b>
<b>4.1. Introducció i metodologia</b>	<b>69</b>
4.1.1. Objectius i abast	69
4.1.2. Revalorització del patrimoni immobiliari	69
4.1.3. Selecció dels edificis base	71
4.1.3.1. Tria de les tipologies edificatòries	71
4.1.3.2. Tria de zones climàtiques	77
4.1.3.3. Ajust dels edificis base per zona climàtica	78
4.1.4. Selecció de les mesures d'eficiència energètica	79
4.1.4.1. Mesures passives	81
4.1.4.2. Mesures actives	87
4.1.5. Selecció de paràmetres econòmics i factors de conversió	93

<b>4.2. Rendibilitat econòmica i idoneïtat de l'aplicació de mesures d'eficiència energètica: visió pràctica per a l'usuari</b>	<b>95</b>
4.2.1. Resultats per tipologia i zona climàtica	95
4.2.1.1. Tipologia A. Unifamiliars anteriors a 1950	95
4.2.1.2. Tipologia B. Unifamiliars 1951-80	98
4.2.1.3. Tipologia C. Unifamiliars 1981-90	101
4.2.1.4. Tipologia D. Unifamiliars 1991-2011	106
4.2.1.5. Tipologia E. Plurifamiliars anteriors a 1950	110
4.2.1.6. Tipologia F. Plurifamiliars 1951-80 amb caldera col·lectiva	113
4.2.1.7. Tipologia G. Plurifamiliars 1951-80 sense caldera col·lectiva	118
4.2.1.8. Tipologia H. Plurifamiliars 1981-90	121
4.2.1.9. Tipologia I. Plurifamiliars 1991-2011	125
4.2.2. Conclusions globals	129
<b>4.3. Rendibilitat econòmica i idoneïtat de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica</b>	<b>131</b>
4.3.1. Selecció de paquets de mesures passives	131
4.3.1.1. Compliment de la transmitància tèrmica límit del DB-HE1 CTE 2013	131
4.3.1.2. Mesures passives òptimes	132
4.3.1.3. Proposta de paquets de mesures passives	134
4.3.2. Selecció de paquets de mesures integrades: passives i actives	137
4.3.3. Rendibilitat econòmica i idoneïtat dels paquets de mesures	138
4.3.3.1. Tipologia A. Unifamiliars anteriors a 1950	138
4.3.3.2. Tipologia B. Unifamiliars de 1951 a 1980	139
4.3.3.3. Tipologia C. Unifamiliars de 1981 a 1990	140
4.3.3.4. Tipologia D. Unifamiliars de 1991 a 2011	141
4.3.3.5. Tipologia E. Plurifamiliars anteriors a 1950	143
4.3.3.6. Tipologia F. Plurifamiliars 1951-80 amb caldera col·lectiva	144
4.3.3.7. Tipologia G. Plurifamiliars 1951-80 sense caldera col·lectiva	145
4.3.3.8. Tipologia H. Plurifamiliars 1981-90	146
4.3.3.9. Tipologia I. Plurifamiliars 1991-2011	147
4.3.4. Conclusions globals	148

<b>4.4 Conclusions globals. Valoració global a llarg termini: visió estratègica per a l'administració</b>	<b>149</b>
<b>4.5 Anàlisi complementària relativa a la substitució d'estufes elèctriques per bombes de calor</b>	<b>150</b>
4.5.1. Introducció	150
4.5.2. Resultats per tipologia i zona climàtica	151
4.5.3. Conclusions globals	152
<b>4.6 Barreres a la rehabilitació energètica i solucions</b>	<b>152</b>
4.6.1. Barreres econòmiques i proposta de solucions	152
4.6.1.1. Barrera 1. Cost d'inversió elevat	152
4.6.1.2. Barrera 2. Risc financer elevat	154
4.6.2. Barreres socials i proposta de solucions	156
4.6.2.1. Barrera 3. Manca de referents i experiències d'èxit	156
4.6.2.2. Barrera 4. Falta d'interès per raons d'edat	157
4.6.3. Actors clau del mercat	158



**Quadern Pràctic 10**  
Versió electrònica.



**Annex 1**  
Només en versió  
electrònica.



**Annex 2**  
Només en versió  
electrònica.





# Pròleg

L'edifici constitueix l'entorn principal d'interacció entre el ciutadà i el model energètic d'un país. Així se'ns fa palès quan reflexionem, com a consumidors, sobre què ens cal fer per contribuir a millorar l'impacte ambiental que generem, o bé, ens plantejem com reduir la despesa econòmica de la llar.

Habitatges lluminosos, amb bons tancaments i amb ventilacions creuades ajuden a garantir una bona qualitat de vida, alhora que presenten una despesa energètica assumible per al ciutadà.

Malauradament, més del 80% del parc edificat a data d'avui fou projectat abans que s'aproveïssin les diverses normatives que han exigít progressivament la millora del comportament energètic d'aquests. Alhora, les deficiències estructurals sorgides amb el pas dels anys fan necessària una aportació energètica externa molt alta per tal de garantir el confort desitjable dels seus usuaris, fet que, sumat a l'increment dels preus de l'energia, contribueix a incrementar la pobresa energètica.

Un parc d'edificis envellit i ineficient suposa un malbaratament energètic que els catalans no ens podem permetre.

Apostar decididament per la renovació energètica dels edificis és treballar per un desenvolupament econòmic que prioritza el benestar de les persones, millora l'economia del país amb la creació de llocs de feina i la reducció del rebut energètic, alhora que suposa una millora en la reducció de les emissions contaminants.

Assolir el màxim nivell d'eficiència energètica és l'objectiu prioritari, però no podem perdre de vista l'oportunitat que suposen els edificis per esdevenir petites centrals de generació energètica distribuïda que garanteixin un balanç energètic zero o fins i tot positiu.

Els avanços en la tecnologia solar fotovoltaica, l'emmagatzematge d'electricitat en bateries i les xarxes de distribució intel·ligents i bidireccionals multiplicaran els seus efectes sinèrgics en ser integrats als edificis.

La interacció entre els edificis i el ciutadà canvia, deixem de ser consumidors per assumir un nou paper, el de consumidor i productor, i esdevenim, així, els principals protagonistes d'un nou model energètic més net, més renovable i més democràtic.

**Assumpta Farran i Poca**

Directora

Institut Català d'Energia







# 1. Introducció

La Directiva Comunitària 31/2010 marca l'objectiu d'assolir una reducció dels gasos d'efecte hivernacle en un 20% respecte al 1990. D'aquesta manera la Unió Europea va marcar com a objectiu la substitució de l'ús de combustibles fòssils per energies renovables i una major eficiència energètica, especialment en els edificis, on es consumeix el 40% del total d'energia de la UE i aproximadament el 30% de la de Catalunya.

La Directiva estableix l'obligatorietat dels estats membres d'adoptar polítiques i plans per aconseguir que els edificis de nova construcció siguin de consum d'energia nul el 2020 (nZEB). Els edificis de titularitat pública s'han d'avançar al 2018 en aquest objectiu d'acord amb el paper exemplaritzant que tota Administració ha de jugar en la societat.

Posteriorment, la Directiva 2012/27, relativa a l'eficiència energètica, estableix un marc comú de mesures per al foment de l'eficiència energètica dins la Unió Europea a fi d'assegurar la consecució de l'objectiu principal d'eficiència energètica d'un 20% d'estalvi per al 2020.

En aquest sentit, l'estratègia "Europa 2020" per a un creixement intel·ligent, sostenible i integrador inclou cinc objectius principals que posen de manifest quina hauria de ser la situació de la UE el 2020. Un d'ells es refereix al clima i l'energia: els estats membres s'han compromès a reduir un 20% les emissions de gasos d'efecte hivernacle, augmentar un 20% la part de les energies renovables en la combinació energètica de la UE i aconseguir l'objectiu del 20% d'eficiència energètica d'aquí al 2020. Actualment, la Unió Europea reconeix que està en vies d'assolir dos d'aquests objectius, però que no aconseguirà el seu objectiu d'eficiència energètica si no s'hi inverteixen més esforços.

En l'àmbit estatal, la Llei 8/2013, de 4 de juny, de rehabilitació, regeneració i renovació urbanes, defineix l'objectiu de regular les condicions que garanteixin un desenvolupament sostenible, competitiu i eficient del medi urbà, mitjançant l'impuls i el foment de les actuacions que condueixin a la rehabilitació dels edificis i a la regeneració i renovació dels teixits urbans existents.

A la vegada, el Reial Decret 238/2013, de 5 d'abril, va modificar determinats articles i instruccions tècniques del Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques dels Edificis (RITE) per establir més exigències relatives al rendiment energètic dels equips de generació de calor i fred, i l'Ordre FOM/1635/2013, de 10 de setembre, va actualitzar el document bàsic DB-HE "Estalvi d'Energia", del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE). L'actualització del Document Bàsic d'Estalvi d'Energia DB-HE i les exigències que s'hi estableixen constitueixen la primera fase d'aproximació cap a l'objectiu d'aconseguir edificis de consum d'energia gairebé nul abans del 31 de desembre de 2020 (2018 en edificis de titularitat pública) i suposa un avenç considerable pel que fa a les exigències sobre eficiència energètica dels edificis.

El Reial Decret 235/2013, de 5 d'abril, va aprovar el procediment bàsic per a la certificació energètica dels edificis, que és una exigència de la Unió Europea regulada per les Directives 2002/91/CE i 2010/31/UE. L'objectiu de la certificació energètica d'edificis és que els usuaris tinguin informació entenedora sobre el comportament energètic de l'edifici perquè puguin valorar-ne i comparar-ne l'eficiència energètica, amb la finalitat d'afavorir la promoció d'edificis d'alta eficiència energètica i les inversions en estalvi d'energia.

A més a més, el 5 de maig es va publicar el Decret 67/2015, per al foment del deure de conservació, manteniment i rehabilitació dels edificis d'habitatges, mitjançant les inspeccions tècniques i el llibre de l'edifici. Aquest decret fomenta la cultura del manteniment dels edificis d'habitatges i facilita el coneixement de l'estat en què es troben, per tal que les persones propietàries i les comunitats de propietaris puguin programar les actuacions per a la rehabilitació, la conservació i l'adequació dels habitatges als requeriments tècnics que regula la normativa vigent.

Atesos els objectius de la Unió Europea i l'abundant normativa per promoure la rehabilitació energètica d'edificis i la construcció d'edificis de consum d'energia gairebé zero, el 25 de febrer de 2014 el Govern de la Generalitat de Catalunya va aprovar l'Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica d'Edificis (ECREE), amb l'objectiu d'incentivar els propietaris dels 1,2 milions d'edificis que hi ha a Catalunya, tant d'ús residencial com terciari, per tal de millorar-ne el comportament energètic i impulsar l'estalvi econòmic i les condicions d'habitabilitat i confort.

L'estratègia pretén activar el mercat de la renovació energètica dels edificis construïts a Catalunya estimulando accions de millora del parc d'edificis existents. També vol augmentar el coneixement ciutadà de la importància i interès públic de la renovació energètica d'edificis com a política clau de reactivació econòmica i generació d'ocupació, que al mateix temps redueix la dependència energètica i econòmica de l'exterior, i millora les condicions de treball i de vida en els edificis per convertir-los en espais saludables.

Per tots els motius i la normativa exposada, us presentem aquest volum dedicat específicament a la rehabilitació energètica d'edificis per tal de difondre informació relativa a la rendibilitat econòmica i idoneïtat de diferents tecnologies energèticament eficients o paquets de millores a diferents tipologies d'edificis del sector residencial en les diferents zones climàtiques de Catalunya.

Aquest Quadern Pràctic pren com a punt de partida l'estudi de caracterització del parc d'edificis d'habitatge existent a Catalunya, la definició de les tipologies més representatives i els paquets de mesures per a la millora d'eficiència energètica i la seva avaluació econòmica (2014), fruit del treball de l'Agència d'Habitatge de Catalunya (AHC) i l'Estudi Ramon Folch (ERF) en el marc del Projecte MARIE. En aquell treball, es van definir les tipologies d'edificis d'habitatges més representatives de Catalunya des del punt de vista energètic a partir de dades existents i d'un estudi de camp complementari de 916 habitatges de Catalunya. També es van definir les principals mesures i paquets de mesures a aplicar per a cada tipologia edificatòria.

La informació d'aquest Quadern Pràctic servirà per orientar els propietaris d'edificis o habitatges a l'hora de prendre decisions tècniques i econòmiques relatives a la rehabilitació energètica. També servirà per difondre i impulsar projectes de rehabilitació energètica i per quantificar els estalvis energètics assolits a Catalunya gràcies als projectes de rehabilitació dutos a terme.



## 2. Resum executiu

L'estratègia a seguir per dur a terme una rehabilitació energètica d'un edifici o habitatge hauria de començar per assolir una important reducció de la demanda energètica de l'edifici. Un cop s'ha minimitzat la demanda energètica cal seleccionar les instal·lacions òptimes, és a dir, amb una millor eficiència energètica. En aquesta selecció cal donar prioritat a les possibles instal·lacions d'energies renovables que puguin cobrir la demanda energètica de l'edifici.

A més, cal tenir sempre present que l'energia és un bé escàs i car i que cal optimitzar-ne el consum i fer-ne un ús racional mitjançant la implantació de sistemes de gestió energètica que ens ajudin a no malbaratar energia.

Gairebé sempre, aquesta estratègia significarà una inversió inicial més elevada que una solució convencional, però per fer una comparació justa cal tenir en compte el cost d'inversió, el cost de manteniment i el cost energètic de les instal·lacions i equips que hi haurà en l'edifici durant un període de 50 anys. En realitzar aquest exercici és quan podem descobrir que sovint interessa més invertir en un edifici o instal·lació més cara ja que a la llarga suposarà grans estalvis econòmics.

Conseqüentment, malgrat que les mesures passives descrites en aquest Quadern Pràctic són normalment les que tenen una inversió inicial més elevada, són les primeres que s'haurien de proposar i valorar ja que són les úniques que aconseguiran disminuir la demanda energètica de l'edifici de manera significativa.

Una de les conclusions més significatives de les simulacions realitzades que es presenten en aquest volum és que cal insistir en el fet d'aprofitar l'oportunitat que hi ha, per dur a terme una rehabilitació energètica dels edificis, cada cop que s'ha de fer alguna altra actuació de rehabilitació estructural en un edifici. En aquest sentit, els resultats indiquen períodes de retorn simple del sobrecost inferiors als 3 anys en projectes d'instal·lacions i inferiors als 10-20 anys en projectes d'envolupant, segons actuació.

És a dir, quan tenim en compte el sobrecost d'inversió en lloc de la inversió total, la rendibilitat dels projectes s'incrementa significativament, de manera que mesures que no eren rendibles passen a ser-ho. Aquest fet s'accentua especialment en les zones climàtiques més fredes i en alguns paquets de mesures passives, el paquet de rehabilitació integral, la millora de finestres i les bombes aerotèrmiques.

Un altre punt a destacar és la diferència de resultats que hi ha en les simulacions realitzades entre les diferents zones climàtiques de Catalunya. Per tant, les mateixes mesures de rehabilitació energètica seran econòmicament més rendibles en zones

fredes que no pas en zones càlides que en condicionen la capacitat d'implantació. De la mateixa manera, cal ressaltar la diferència de resultats obtinguts entre les diferents tipologies d'edificis (any de construcció) que s'han simulat. D'aquesta manera, les actuacions proposades en edificis més antics normalment tindran períodes de retorn econòmics més atractius.

Per tal que aquest Quadern Pràctic sigui útil per a tot el parc d'edificis de Catalunya, s'ha fet la simulació d'un paquet de mesures de rehabilitació de baix cost que estan descrites i simulades i s'han obtingut uns estalvis energètics d'entre el 5% i el 8% amb una inversió d'uns 500€.

Les mesures que presenten una millor rendibilitat a llarg termini són:

- Caldera de condensació de gas natural, en totes les tipologies i zones climàtiques, excepte els habitatges plurifamiliars d'abans de 1950 situats a les zones climàtiques més càlides.
- Canvi de caldera per bomba de calor i termoelèctrica per a la generació d'ACS, especialment en les zones climàtiques més fredes, i en totes les tipologies excepte els habitatges plurifamiliars d'abans de 1950.
- Els airejadors i reductors de cabal són interessants per la relació estalvi energètic – inversió, en totes les tipologies i zones climàtiques de Catalunya.
- Pel que fa al resultat del Valor Actual Net (VAN), les mesures passives més rendibles són l'aïllament en façana (especialment amb aïllaments de conductivitat tèrmica aproximada de 0,037 W/m·K, com el cas de la simulació realitzada amb SATE d'EPS 6 cm) i els rivets i les cintes adhesives, en totes les tipologies i zones climàtiques.
- Tal com ja s'ha comentat anteriorment, el paquet de mesures de baix cost econòmic proposat (rivets, cinta adhesiva, airejadors i reductors de cabal) és rendible en totes les tipologies i zones climàtiques. En el cas d'aquestes mesures, cal que els usuaris de l'edifici o habitatge en facin un bon manteniment, atès que poden perdre eficàcia amb el pas del temps.
- El paquet de rehabilitació integral (aïllament de façana exterior amb EPS de 6 cm, aïllament de coberta interior amb llana mineral de 8 cm, finestres marc de PVC i vidres 4/16/4 baix emissius) és rendible en habitatges unifamiliars d'abans de 1950 i en habitatges unifamiliars entre 1951 i 1980 (tipologies A i B) de totes les zones climàtiques, i en habitatges unifamiliars de 1981 a 2011 i plurifamiliars fins a 1990 (tipologies C, D, E, F, G i H) en les zones climàtiques més fredes.
- El paquet de mesures passives (aïllament de façana exterior amb EPS de 6 cm, aïllament de coberta interior amb llana mineral de 8 cm i renovació de finestres amb marc de PVC i vidre de baixa emissivitat) és especialment rendible en habitatges de les tipologies plurifamiliars fins a 1990 (tipologies E, F, G i H) situats en climes freds. En menor mesura, també ho és en habitatges de les tipologies unifamiliars fins a 1990 (tipologies A, B i C) situats també en zones climàtiques fredes.
- També s'ha simulat la rendibilitat econòmica i idoneïtat de la substitució d'estufes elèctriques per bombes de calor en habitatges, ja que els habitatges amb estufes elèctriques representen el 27% del total d'habitatges principals. Aquesta mesura pot arribar a significar un estalvi d'entre el 20 i el 48% d'energia final, en funció de la zona climàtica i la tipologia, amb un període de retorn inferior als 10 anys en totes les zones climàtiques, sovint fins i tot inferior als 5 anys.

Per acabar, cal comentar que en aquest Quadern Pràctic no s'ha valorat el potencial d'estalvi que hi podria haver a Catalunya amb les bombes de calor a llarg termini en zones de clima moderat. Les bombes de calor són instal·lacions de climatització en expansió que en un futur podrien oferir la possibilitat de simplificar les instal·lacions domèstiques i cobrir la part obligatòria segons el CTE d'energies renovables, cosa que evitaria tenir una doble escomesa energètica (elèctric i de gas natural). Caldrà veure l'evolució de les dues tecnologies, calderes i bombes de calor, així com dels preus dels combustibles els propers anys, per quantificar aquest potencial.

Actualment, la tecnologia de bomba de calor per generar també ACS, inclosa en aquest Quadern Pràctic, té un cost d'inversió elevat i els rendiments que s'assoleixen normalment no són suficients per garantir la cobertura d'energia renovable segons el document de "prestacions mitjanes estacionals de bombes de calor" publicat per l'IDAE i el Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme.



## 3. Caracterització de les mesures d'eficiència energètica

### 3.1. Introducció

Les fitxes que s'incorporen a continuació mostren les dades de caracterització de mesures de millora analitzades, llistades en la taula 3.1.

Dades basades en l'estudi de caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya. Definició de les tipologies més representatives, i els paquets de mesures per a la millora d'eficiència energètica i la seva avaluació econòmica (AHC i ERF, 2014 Projecte MARIE).

Després es complementa amb el resum dels costos d'inversió unitaris i els costos de manteniment i operació.

Taula 3.1. Detall de les categories de les millores

Tipus de mesura	Tipologia de millora	Categories del plec
Mesures passives	Aïllament de façana	Instal·lació d'aïllament per l'exterior: EPS, llana mineral, PUR, XPS, suro expandit, etc.
		Instal·lació d'aïllament de la façana per l'interior
		Injecció d'aïllament a la cambra d'aire, amb materials com ara: cel·lulosa, poliestirè, llana mineral, etc.
	Aïllament de coberta	Instal·lació d'aïllament a la coberta
	Finestres i proteccions solars	Instal·lació de tendals, persianes, filtres solars
		Substitució de finestres amb vidre simple per vidres dobles amb ruptura de pont tèrmic (RPT)
Estanquitat	Reducció de les infiltracions: massilla elàstica, cintes adhesives o rivets	
Mesures actives	Instal·lacions de climatització i ACS	Bomba de calor reversible aire-aire
		Equips de climatització
		Calderes d'alta eficiència i de condensació
		Calderes de biomassa
		Instal·lació de captadors solars tèrmics
		Geotèrmia
	Il·luminació	Substitució de làmpades convencionals per tecnologia d'alta eficiència o LED
Sistema de control de l'enllumenat		
Mesures de gestió	Altres	Sistema de gestió energètica, comptabilitat energètica domèstica

## 3.2. Mesures passives

### 3.2.1. Aïllament de façana

#### Aïllament de façana per l'exterior

##### Denominació

Incorporació o millora de material aïllant tèrmic per l'exterior en els tancaments de façana.

##### Objectiu

Reduir les pèrdues tèrmiques per transmissió en la façana.

##### Descripció

La col·locació de material aïllant per l'exterior consisteix a adherir un panell aïllant prefabricat al mur existent, mitjançant adhesiu i fixació mecànica. El panell aïllant va protegit amb un revestiment d'una o diverses capes aplicades sobre el mateix panell.

##### Punts forts i punts febles

La col·locació d'un panell òptim i de qualitat no sol encarrir significativament el cost respecte d'un altre de menors prestacions, perquè el cost més gran és la bastida i l'obra mateixa. Aïllar façanes amb 6 cm d'aïllament ( $\lambda=0,036 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ ) pot suposar reduir els consums de calefacció fins un 40% en funció de la zona climàtica i aïllar amb 10 cm el redueix fins al 45%, amb costos i tècniques de col·locació semblants.

Aquesta solució està ben adaptada per a la minimització dels ponts tèrmics existents. Aïllar únicament les façanes no assolellades (o de l'eix O-N-E) és més econòmic que aïllar totes les façanes i pot resultar més beneficiós en zones climàtiques d'estius calorosos.

##### Característiques dels diferents materials

###### EPS (Poliestirè expandit)

És una escuma plàstica que presenta una estructura en forma de conglomerat que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic. La rigidesa de l'estructura de les cel·les que el componen li proporciona també un bon comportament davant de l'aigua (3-15% d'absorció a llarg termini), una elevada resistència a la difusió del vapor i una bona capacitat mecànica (especialment en compressió, entre 200 i 250 kPa).



Esquema de façana amb l'aïllament per l'exterior.

Font: ISOVER



L'EPS és combustible, però s'hi afegeixen retardants de flama per tal de millorar-ne la classificació fins una E (classificació de reacció al foc). En general l'EPS no és un bon aïllant acústic. Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

#### **XPS (poliestirè extrudit)**

És una escuma plàstica que presenta una estructura cel·lular en forma de conglomerat que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic. L'absorció d'aigua és mínima (inferior a l'1% d'absorció a llarg termini) i això fa que sigui idoni per llocs exposats a aigua líquida (cobertes invertides, etc.). També té una gran resistència mecànica (especialment en compressió, superior als 300 kPa, amb una bona capacitat de suportar càrregues permanents de llarga durada sense fatiga). L'XPS és combustible, però s'hi afegeixen retardants de flama per tal de millorar-ne la classificació fins una E (classificació de reacció al foc). Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

#### **Llanes minerals (llana de vidre o llana de roca)**

És un material fabricat a partir de basalt (llana de roca) o sorra (llana de vidre) i altres minerals fusionats a alta temperatura i posteriorment transformats en filaments per formar finalment un enfeltrat, que presenta una estructura filamentosa amb porositat oberta que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic i acústic. És un material incombustible (classificació en reacció al foc A1). El caràcter obert de la porositat proporciona una elevada permeabilitat al vapor d'aigua. En el cas d'aïllament per l'exterior, aquesta característica pot ser favorable per facilitar la transpirabilitat del mur i en altres ocasions cal compensar-ho amb la interposició de barreres de vapor. Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

#### **Suro**

És un material conglomerat a partir de suro natural, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Cal aclarir que la sostenibilitat del producte dependrà de si els boscos s'han gestionat de manera sostenible. Presenta una estructura cel·lular amb una certa porositat oberta que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic i acústic. Per a aquest tipus de producte no es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

#### **Característiques concretes de la mesura**

L'annex 1, relatiu als resultats d'estalvi energètic i rendibilitat econòmica de l'aplicació de mesures i paquets de mesura d'eficiència energètica, inclou més detall sobre les partides concretes que incorpora aquesta mesura i el seu cost (bastida, repicat, malla de fibra de vidre, plaques d'aïllament fixats al suport mitjançant morter adhesiu i tacs de subjecció i morter acrílic de revestiment). A sota es mostren les característiques concretes de cada material aïllant escollit. Recordem que se n'analitzen els costos de diferents gruixos.

- **Vida útil:** 50 anys

Descripció de la composició dels elements constructius	Informació necessària de cada material	Valors
Aïllament EPS	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	30
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,037
Aïllament XPS	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	80
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,036 a 0,038
Aïllament de llana mineral	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	100
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,032 - 0,037
Aïllament amb suro expandit	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	-
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,04

Taula 3.2. Densitat i conductivitat tèrmica de diferents aïllaments utilitzats per l'exterior de la façana.

### Característiques concretes de la mesura per tipologia\*

Es detallen només les diferències substancials d'aplicació de la mesura entre tipologies:

- **Tipologia A:** Col·locació de plaques d'aïllament per l'exterior en façana de pedra.
- **Tipologia E:** Col·locació de plaques d'aïllament per l'exterior a la façana. Cal tenir en compte que en aquesta tipologia la façana és de pedra a planta baixa i de maó massís a la resta de plantes.
- **Resta de tipologies:** es col·locarà l'aïllament per l'exterior de la façana de totxana. En les tipologies C, D, H i I, que ja disposen de 2 o 3 cm d'aïllament en façana, es pot col·locar també per millorar-ne les prestacions.

### Característiques concretes de la mesura per zona climàtica

El gruix òptim serà diferent en les diferents zones climàtiques i segons el tipus d'edificació i orientació. Mitjançant les simulacions energètiques s'avaluarà la solució òptima en cadascuna d'elles.

## Aïllament de façana en la cambra d'aire

### Denominació

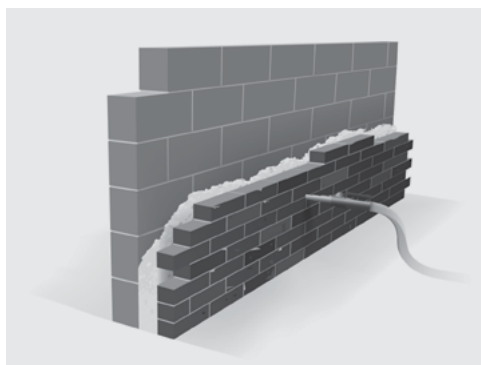
Incorporació o millora de material aïllant tèrmic en la cambra d'aire del tancament de façana.

### Objectiu

Reduir les pèrdues tèrmiques per transmissió en la façana.

### Descripció

La col·locació de material aïllant en la cambra d'aire es fa mitjançant la injecció de materials aïllants, com perles de poliestirè expandit grafitades i adhesius, borres de llana mineral, etc.



Esquema de façana amb l'aïllament situat a la cambra d'aire.

Font: ISOVER

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document.

### **Punts forts i punts febles**

El treball ha de ser rigorós per assegurar l'ompliment complet de la cambra. Es recomana fer una comprovació posterior mitjançant una càmera termogràfica o realitzar una inspecció amb microcàmeres de vídeo per avaluar la possibilitat d'aplicar aquesta tècnica abans de començar.

Els forats se separen uns 50 cm entre si, s'omple la cambra de baix a dalt i de forma lenta, de manera que l'espuma, en el cas del PUR, o s'ompli en el cas de les llanes minerals i les perles EPS, saturin el volum de la cambra sense crear tensions excessives.

En el cas que ja existeixi aïllament en la façana o que les cavitats estiguin plenes de runa, brutícia o rebaves, és possible que la col·locació d'aïllament en la cambra restant sigui extremament complicada, ja que l'aïllament existent pot estar desenganxat i haver quedat repenjat a un dels murs, etc. i seria millor actuar col·locant aïllament per l'exterior o l'interior.

Aquesta solució presenta la impossibilitat de resolre ponts tèrmics com contorns de finestres, pilars, trobades amb forjats i altres. Conseqüentment, si la quantitat de ponts tèrmics és important cal valorar bé el fet d'usar aquesta solució.

### **Característiques dels diferents materials**

#### **EPS grafitat**

Consisteix en perles de poliestirè tractat amb grafit per tal que reflecteixi la radiació infraroja. Gràcies al seu petit diàmetre, d'entre 4 i 8 mm, permet reomplir cambres d'aire de fins a 1,5 cm de gruix i presenta una capacitat molt elevada de reomplir espais i racons. Presenta una bona resistència a l'aigua i s'utilitza en espais humits. Facilita la transpirabilitat de les parets i d'aquesta manera permet millorar la humitat ambiental dins l'habitatge. Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

#### **Llana mineral injectada**

És un material fabricat a partir de basalt (llana de roca) o sorra (llana de vidre) i altres minerals fusionats a alta temperatura i posteriorment transformats en filaments per formar finalment un enfeltrat, que presenta una estructura filamentosa amb porositat oberta que li proporciona bones prestacions en aïllament tèrmic i acústic. És un material incombustible (classificació en reacció al foc A1). La llana de roca és un material no higroscòpic i per tant no presenta absorció d'humitat per capilaritat, adequat en cambres d'aire amb possibles problemes de filtracions. En el cas de cambres d'aire s'utilitza a partir de gruixos de cambra de 3 cm, amb una densitat insuflada de 60-80 kg/m<sup>3</sup> en forma de borra (nòduls de llana de roca). Aquests productes es troben al mercat espanyol amb distintiu de qualitat AENOR.

#### **PUR injectat**

Material de la família de les escumes plàstiques. Per a aquesta aplicació s'usa material d'estructura cel·lular oberta, conformat in situ a l'obra mateixa, fet que hi dona un aspecte irregular. Pot arribar a resistències a la compressió de 200 kPa i l'absorció d'aigua és del 2 al 7%, i per tant s'ha de protegir de l'aigua líquida.

Ha de quedar clar que al mercat també hi ha PUR d'estructura cel·lular tancada, amb unes prestacions superiors pel que fa a aïllament tèrmic i impermeabilització, fet que s'haurà de tenir present en l'aplicació.

Per exemple, amb estructura cel·lular tancada, els riscos que es produeixin condensacions intersticials són mínims en la majoria de les climatologies. Amb estructura oberta, excepte condicions molt favorables, caldria usar barrera de vapor. Des del punt de vista energètic, amb escumes d'estructura oberta s'hauran d'emprar gruixos com a mínim un 25% superiors que amb estructura tancada. Existeixen al mercat aplicadors amb marca de qualitat AENOR.

### **Cel·lulosa**

Producte filamentós que s'obté en un 92% de diari reciclat o de paper verge segons les disponibilitats del mercat, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Malgrat això, dependrà de l'origen de la matèria primera i dels additius necessaris per limitar la inflamabilitat i la higroscopicitat del paper. S'incorporen additius per fer-lo més durable i evitar comportaments al foc desfavorables (classificació de reacció al foc B). Presenta unes bones característiques com a aïllant acústic i és un gran regulador de la humitat ambient de l'estança, ja que és capaç d'emmagatzemar la humitat. Aïllament recomanable per a estructures de fusta lleugeres. En el cas de cambres d'aire s'utilitza en forma de borra. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

### **Suro**

És un material conglomerat a partir de suro natural, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Presenta una estructura cel·lular amb una certa porositat oberta que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic i acústic. Durant el procés d'insuflat no genera electricitat estàtica a la màquina insufladora. En el cas de cambres d'aire s'utilitza en forma de boles o perles. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

### **Llana d'ovella**

Producte filamentós que s'obté de l'aglutinament de filaments tèxtils de llana d'ovella, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Tot i això, cal tenir en consideració que cal incorporar-hi insecticides per evitar l'atac d'insectes i retardants de foc per millorar la classificació del comportament davant del foc. En el cas de cambres d'aire s'utilitza en forma de borra. El producte porta additius per fer-lo més durable i evitar comportaments al foc massa desfavorables. En el cas de cambres d'aire s'utilitza en forma de boles o perles. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

### **Cotó**

Producte filamentós que s'obté de l'aglutinament de filaments tèxtils del cotó, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Cal aclarir que la sostenibilitat del producte dependrà de si l'explotació agrària s'ha gestionat de manera sostenible i si la matèria és d'origen local o no.

S'incorporen insecticides per evitar l'atac d'insectes i rosegadors així com retardants de foc per millorar la classificació davant del foc. És un material higroscòpic. En el cas de cambres d'aire s'utilitza en forma de borra. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

### Característiques concretes de la mesura

L'annex 1, relatiu als resultats d'estalvi energètic i rendibilitat econòmica de l'aplicació de mesures i paquets de mesura d'eficiència energètica, inclouen més detall sobre les partides concretes que incorpora aquesta mesura i el seu cost (realització de perforacions amb broca adequada a cada material des de l'interior de l'habitatge, insuflat de perles, i tapat posterior de les perforacions).

A continuació es mostren les característiques concretes de cada material aïllant escollit. Recordem que s'analitzen els costos de diferents gruixos de cambra d'aire tot i que les tipologies definides tenen un gruix de cambra de 10 cm.

- **Vida útil:** 50 anys

Taula 3.3. Densitat i conductivitat tèrmica de diferents aïllaments que es poden incorporar a la cambra de la façana.

Descripció de la composició dels elements constructius	Informació necessària de cada material	Valors
Perles EPS grafitat	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	18-26
	Conductivitat tèrmica (W/m-K)	0,034
Aïllament llana mineral	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	50-80
	Conductivitat tèrmica (W/m-K)	0,032-0,037
PUR injectat	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	12-19
	Conductivitat tèrmica (W/m-K)	0,037
Cel·lulosa injectada	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	45-60
	Conductivitat tèrmica (W/m-K)	0,04*
Suro injectat	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	65-75
	Conductivitat tèrmica (W/m-K)	0,04*
Llana d'ovella	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	20
	Conductivitat tèrmica (W/m-K)	0,04*
Cotó injectat	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	30
	Conductivitat tèrmica (W/m-K)	0,04*

\* Valors no verificats independentment.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia\*\***

Es detallen només les diferències substancials d'aplicació de la mesura entre tipologies:

- **Tipologies B, F i G:** injecció d'aïllament en la cambra d'aire de la façana.
- **Tipologies C, D, H i I:** tot i que ja disposen de 2 o 3 cm d'aïllament en façana, es podria arribar a injectar aïllament en la cambra d'aire romanent. Tanmateix, a la pràctica això pot ser complicat ja que es poden trobar peces de l'aïllament existent desenganxades que dificultin la injecció uniforme de l'aïllament. Tot plegat pot incrementar els costos inicialment previstos, per la qual cosa no és una mesura gens prioritària.

### **Característiques concretes de la mesura per zona climàtica**

El gruix òptim serà diferent en les diferents zones climàtiques. Mitjançant les simulacions energètiques s'avaluarà la solució òptima en cadascuna d'elles.

## **Aïllament de façana per l'interior**

### **Denominació**

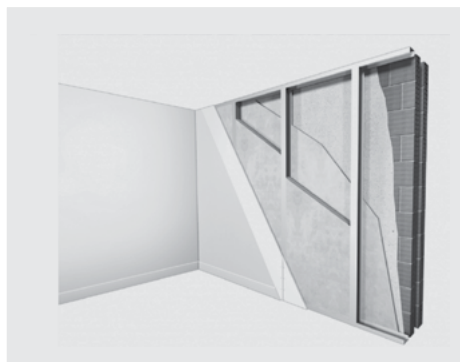
Incorporació o millora de material aïllant tèrmic per l'interior en els tancaments de façana.

### **Objectiu**

Reduir les pèrdues tèrmiques per transmissió en la façana.

### **Descripció**

La col·locació de material aïllant per l'interior de la paret de l'habitatge consisteix a muntar un panell aïllant prefabricat col·locat en una placa de guix laminat amb fixació mecànica i fer-hi un acabat de pintura, o bé amb un extradossat directe per l'interior amb plaques de guix laminat que incorporen l'aïllament de llana mineral o EPS mitjançant fixació al mur de manera mecànica o amb una pasta específica.



Esquema de façana amb l'aïllament per l'interior.

Font: ISOVER

### **Punts forts i punts febles**

L'aïllament per l'interior no és la millor de les solucions d'aïllament ja que no elimina els ponts tèrmics (excepte els dels contorns de finestres i pilars), afecta els habitants en el moment de l'obra i redueix la superfície interior de l'habitatge.

Per altra banda, per dur a terme aquesta solució no és necessari un acord de tota la comunitat. Des del punt de vista acústic, pot ser més eficient entre habitatges.

\*\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document.

A més a més, cal considerar també la possibilitat d'intervenir en edificis en què no és possible fer-ho per l'exterior per motius estètics o urbanístics. També resulta interessant a l'hora de fer intervencions conjuntes amb reformes interiors.

És la millor tècnica possible quan no es desitja intervenir de forma global en l'edifici.

### **Característiques dels diferents materials**

#### **EPS (Poliestirè expandit)**

És una escuma plàstica que presenta una estructura en forma de conglomerat que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic. La rigidesa de l'estructura de les cel·les que el componen li proporciona també un bon comportament davant de l'aigua (3-15% d'absorció a llarg termini), una elevada resistència a la difusió del vapor i una bona capacitat mecànica (especialment en compressió, entre 200 i 250 kPa). L'EPS és combustible, però s'hi afegeixen retardants de flama per tal de millorar-ne la classificació fins una E (classificació de reacció al foc). Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

#### **Llana mineral**

És un material fabricat a partir de basalt (llana de roca) o sorra (llana de vidre) i altres minerals fusionats a alta temperatura i posteriorment transformats en filaments per formar finalment un enfeltrat, que presenta una estructura filamentosa amb porositat oberta que li proporciona bones prestacions quant a aïllament tèrmic i acústic. És un material incombustible (classificació en reacció al foc A1). És un material no higroscòpic. El caràcter obert de la porositat proporciona una elevada permeabilitat al vapor d'aigua que en algunes ocasions cal compensar amb la interposició de barres de vapor. En cap cas passaria això en aplicacions d'aïllament per l'exterior. Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

#### **Cel·lulosa**

Producte filamentós que s'obté amb un 92% de diari reciclat o de paper verge segons les disponibilitats del mercat, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Malgrat això, dependrà de limitar la inflamabilitat i la higroscopicitat del paper. S'incorporen additius per fer-lo més durable i per evitar comportaments al foc desfavorables (classificació de reacció al foc B). Presenta unes bones característiques com a aïllant acústic i és un gran regulador de la humitat ambient de l'estança, ja que és capaç d'emmagatzemar la humitat. Aïllament recomanable per a estructures de fusta lleugeres. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

#### **Suro**

És un material conglomerat a partir de suro natural, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Cal aclarir que la sostenibilitat del producte dependrà de si els boscos s'han gestionat de manera sostenible. Presenta una estructura cel·lular amb una certa porositat oberta que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic i acústic. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

## Llana d'ovella

Producte filamentós que s'obté de l'aglutinament de filaments tèxtils de llana d'ovella, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Tot i això, cal tenir en consideració que cal incorporar-hi insecticides per evitar l'atac d'insectes i retardants de foc per millorar la classificació del comportament davant del foc. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

## Cotó

Producte filamentós que s'obté de l'aglutinament de filaments tèxtils del cotó, per això es troba en la família dels materials renovables o sostenibles. Cal aclarir que la sostenibilitat del producte dependrà de si l'explotació agrària s'ha gestionat de manera sostenible i si la matèria és d'origen local o no. S'incorporen insecticides per evitar l'atac d'insectes i rosegadors així com retardants de foc per millorar la classificació davant del foc. És un material higroscòpic. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

## Característiques concretes de la mesura

L'annex 1, relatiu als resultats d'estalvi energètic i rendibilitat econòmica de l'aplicació de mesures i paquets de mesura d'eficiència energètica, inclouen més detall sobre les partides concretes que incorpora aquesta mesura i el seu cost (extradossat autoportant amb placa de guix laminat cargolada a estructura metàl·lica, panells d'aïllament, pasta i cinta per segellar juntes i pintura d'acabat).

A sota es mostren les característiques concretes de cada material aïllant escollit, Recordem que se n'analitzen els costos de diferents gruixos.

- **Vida útil:** 50 anys

Descripció de la composició dels elements constructius	Informació necessària de cada material	Valors
Aïllament EPS	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	30
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,037
Llana mineral	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	30-70
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,032-0,037
Cel·lulosa	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	70
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,04*
Suro	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	-
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,04*
Llana d'ovella	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	30
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,037*
Cotó	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	60
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,035*

Taula 3.4. Densitat i conductivitat tèrmica de diferents aïllaments que es poden incorporar a la cambra de la façana.

\* Valors no verificats independentment.



### **Característiques concretes de la mesura per tipologia\*\***

Es detallen només les diferències substancials d'aplicació de la mesura entre tipologies:

- **Tipologies A, B, E, F i G:** es col·locarà l'extradossat interior amb aïllament incorporat.
- **Tipologies C, D, H i I** (ja disposen de 2 o 3 cm d'aïllament en façana): es pot col·locar també per millorar-ne les prestacions.

### **Característiques concretes de la mesura per zona climàtica**

El gruix òptim serà diferent en les diferents zones climàtiques. Mitjançant les simulacions energètiques s'avaluarà la solució òptima en cadascuna d'elles.

## **3.2.2. Aïllament de coberta**

### **Aïllament de coberta per l'exterior**

#### **Denominació**

Incorporació o millora de material aïllant tèrmic a la coberta per l'exterior.

#### **Objectiu**

Reduir les pèrdues tèrmiques per transmissió i radiació a la coberta a l'hivern, i disminuir els guanys tèrmics a l'estiu.

#### **Descripció**

Consisteix en la col·locació d'aïllament, generalment en el moment en què s'ha de fer una rehabilitació en una coberta a causa del seu mal estat o per evitar infiltracions d'aigua. La capa d'impermeabilització es col·loca de nou per sobre de l'aïllament, de manera que aquest està protegit dels efectes meteorològics i de la radiació solar.

Entre els materials aïllants més utilitzats es destaquen els panells rígids d'XPS.

#### **Punts forts i punts febles**

És imprescindible assegurar la impermeabilització de la coberta a l'aigua i l'aire.

Cal destacar la possibilitat d'aïllament sense necessitat de refer la impermeabilització de l'antiga coberta. Protecció tèrmica de la impermeabilització gràcies a l'aïllant (coberta invertida). No caldran barreres de vapor.

Esquema de coberta amb l'aïllament per l'exterior.

Font: ISOVER



\*\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document.

## Característiques dels diferents materials

### XPS (poliestirè extrudit)

És una escuma plàstica que presenta una estructura cel·lular en forma de conglomerat que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic. L'absorció d'aigua és mínima (inferior a l'1% d'absorció a llarg termini), cosa que el fa idoni per a llocs exposats a aigua líquida (cobertes invertides, etc.). També té una gran resistència mecànica (especialment en compressió, superior als 300 kPa, amb una bona capacitat de suportar càrregues permanents de llarga durada sense fatiga).

L'XPS és combustible, però s'hi afegeixen retardants de flama per tal de millorar-ne la classificació de reacció al foc fins una E. Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

### Característiques concretes de la mesura

L'annex 1, relatiu als resultats d'estalvi energètic i rendibilitat econòmica de l'aplicació de mesures i paquets de mesura d'eficiència energètica, inclou més detall sobre les partides concretes que incorpora aquesta mesura i el seu cost (neteja, regates, impermeabilització, aïllament, capa de morter, paviment i minvell).

- **Vida útil:** 50 anys

Descripció de la composició dels elements constructius	Informació necessària de cada material	Valors
Aïllament XPS	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	35
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,032-0,037

Taula 3.5. Densitat i conductivitat tèrmica d'aïllament utilitzat per l'exterior de la coberta.

### Característiques concretes de la mesura per tipologia\*

Es detallen només les diferències substancials d'aplicació de la mesura entre tipologies:

- **Tipologies F i G:** es col·locarà l'aïllament i es tornaran a col·locar les capes de la coberta (impermeabilització, paviment, etc.).
- **Tipologies C, D, H i I** (ja disposen de 2 o 3 cm d'aïllament en coberta): es pot col·locar també per millorar-ne les prestacions.

### Característiques concretes de la mesura per zona climàtica

El gruix òptim serà diferent en les diferents zones climàtiques. Mitjançant les simulacions energètiques s'avaluarà la solució òptima en cadascuna d'elles.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document.

## Aïllament de coberta per l'interior

### Denominació

Incorporació o millora de material aïllant tèrmic a la coberta per l'interior de l'edifici.

### Objectiu

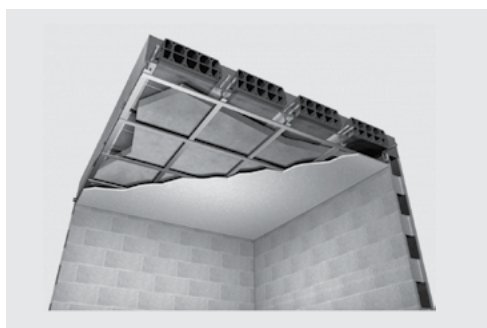
Reduir les pèrdues tèrmiques per transmissió i radiació a la coberta a l'hivern, i disminuir els guanys tèrmics a l'estiu.

### Descripció

Col·locació de revestiments autoportants de plaques de guix laminat i aïllament. Es poden utilitzar diferents materials aïllants, però l'acabat interior final sempre serà de plaques de guix laminat fixades sobre ancoratges metàl·lics suspesos del forjat. És un muntatge ràpid i en sec.

Esquema de coberta amb l'aïllament per l'interior.

Font: ISOVER



### Punts forts i punts febles

Cal disposar de 10 cm d'alçada mínima per facilitar el muntatge dels sistemes d'ancoratge i l'anivellament. Aquesta solució de rehabilitació possibilita intervencions parcials sense necessitat de grans obres o bé la compatibilitat amb altres reformes interiors. Caldrà respectar les alçades lliures mínimes segons la normativa vigent.

### Característiques dels diferents materials

#### EPS (Poliestirè expandit)

És una escuma plàstica que presenta una estructura en forma de conglomerat que li proporciona bones prestacions des d'un punt de vista d'aïllament tèrmic. La rigidesa de l'estructura de les cel·les que el componen li proporciona també un bon comportament davant de l'aigua (3-15% d'absorció a llarg termini), una elevada resistència a la difusió del vapor i una bona capacitat mecànica (especialment en compressió, entre 200 i 250 kPa). L'EPS és combustible, però s'hi afegeixen retardants de flama per tal de millorar-ne la classificació fins una E (classificació de reacció al foc). L'EPS no és un bon aïllant acústic, però al mercat hi ha productes que incorporen processos mecànics de flexibilització per millorar aquesta característica. Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

## Llana mineral

És un material fabricat a partir de basalt (llana de roca) o sorra (llana de vidre) i altres minerals fusionats a alta temperatura i posteriorment transformats en filaments per formar finalment un enfeltrat, que presenta una estructura filamentosa amb porositat oberta que li proporciona bones prestacions en aïllament tèrmic i acústic. És un material incombustible (classificació en reacció davant del foc A1). És un material no higroscòpic.

El caràcter obert de la porositat proporciona una elevada permeabilitat al vapor d'aigua que en algunes ocasions cal compensar amb la interposició de barreres de vapor. En cap cas passaria això en aplicacions d'aïllament per l'exterior. Per a aquest tipus de producte es troben al mercat espanyol productes amb distintiu de qualitat AENOR.

## Característiques concretes de la mesura

L'annex 1, relatiu als resultats d'estalvi energètic i rendibilitat econòmica de l'aplicació de mesures i paquets de mesura d'eficiència energètica, inclou més detall sobre les partides concretes que incorpora aquesta mesura i el seu cost (aïllament, fals sostre amb placa de guix laminat cargolada a estructura metàl·lica, segellat de juntes i acabat).

- **Vida útil:** 50 anys

Descripció de la composició dels elements constructius	Informació necessària de cada material	Valors
Aïllament EPS	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	30
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,037
Aïllament de llana mineral	Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	30-70
	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	0,032-0,037

Taula 3.6. Densitat i conductivitat tèrmica d'aïllament utilitzat per l'interior de la coberta.

## Característiques concretes de la mesura per tipologia\*

Es detallen només les diferències substancials d'aplicació de la mesura entre tipologies:

- **Tipologies A, B, E, F i G:** es col·locaran les plaques prefabricades amb aïllament incorporat per l'interior del forjat de coberta.
- **Tipologies C, D, H i I** (ja disposen de 2 o 3 cm d'aïllament en coberta): es pot col·locar també per millorar-ne les prestacions.

## Característiques concretes de la mesura per zona climàtica

El gruix òptim serà diferent en les diferents zones climàtiques. Mitjançant les simulacions energètiques s'avaluarà la solució òptima en cadascuna d'elles.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document.

### 3.2.3. Substitució de finestres

#### Substitució de finestres

##### Denominació

Substitució dels tancaments dels forats de façana: col·locació de fusteries de millors prestacions tèrmiques (amb trencament de pont tèrmic) i col·locació de vidres de millors característiques tèrmiques.

##### Objectiu

Reduir les pèrdues (hivern) i guanys (estiu) de calor a través dels forats de façana i reduir les infiltracions d'aire, és a dir, millorar l'aïllament de les obertures i incrementar d'estanquitat de l'habitatge.

##### Descripció

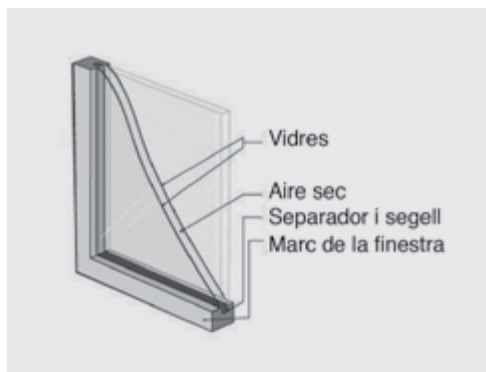
Substitució dels vidres simples de les finestres per doble envidrament aïllant tèrmic amb cambra d'aire. L'increment del gruix de la cambra d'aire permet incrementar l'aïllament sense reduir la transmissió lumínica a l'interior de l'habitatge.

Substitució de fusteries per reduir la conductivitat dels perfils de la finestra. Es pot escollir entre fusteries de fusta, de PVC o metàl·liques amb trencament de pont tèrmic. La fusta és un material que es comporta bé tèrmicament malgrat normalment necessita més manteniment.

La producció de perfils de PVC i d'alumini ha evolucionat en els últims anys i ha millorat la petjada ecològica durant el seu procés de fabricació. En el cas de l'alumini, el 75% del material que està actualment en ús prové de material reciclat. En les fusteries d'alumini amb trencament de pont tèrmic s'ha de triar models amb cambres d'un mínim de 12 mm per evitar condensacions. El sistema metàl·lic més utilitzat en rehabilitació és la fusteria d'alumini amb trencament de pont tèrmic.

En un mateix rang d'inversió, el PVC normalment té unes prestacions tèrmiques similars a la fusta i superiors a l'alumini.

Secció de fusteria amb vidre doble.



### Punts forts i punts febles

En zones ventoses els vidres han de tenir característiques de resistència mecànica, i en zones properes al mar cal aplicar tractaments específics (anticorrosiu) als marcs. Existeixen vidres laminars acústics amb aïllament acústic al so aeri, que aconseguen més atenuació dels dBA.

### Característiques concretes de la mesura

L'annex 1, relatiu als resultats d'estalvi energètic i rendibilitat econòmica de l'aplicació de mesures i paquets de mesura d'eficiència energètica, inclou més detall sobre les partides concretes que incorpora aquesta mesura i el seu cost (substitució, material i col·locació).

- **Vida útil:** 30 anys

Fusteria d'alumini amb trencament de pont tèrmic	Àrea fusteria / àrea finestra (%)	30/70
	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	3,1
	Junta del pont tèrmic (mm)	12
Fusteria de PVC	Àrea fusteria / àrea finestra (%)	30/70
	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,3
Doble envidrament aïllant tèrmic (4/12/4) en posició vertical	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	2,8
	Factor solar (g-value %)	78
	Transmitància solar directa (%)	69
	Reflectància solar directa (%)	19
Doble envidrament aïllant tèrmic (4/16/4) amb vidre de baixa emissivitat (BE) (i en posició vertical)	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	1,5
	Factor solar (g-value %)	58
	Transmitància solar directa (%)	69
	Reflectància solar directa (%)	19

Taula 3.7. Característiques tècniques de fusteries i envidraments.

### Característiques concretes de la mesura per tipologia\*

S'aplicarà la mateixa solució en totes les tipologies, tenint en compte les mides i que es presenten dos tipus de finestres: practicables i practicables oscil·lobatents.

A banda també s'analitza el canvi de finestres monobloc (que inclouen el preu del canvi de persianes).

### Característiques concretes de la mesura per zona climàtica

Mitjançant les simulacions energètiques s'avaluarà la solució òptima en cadascuna de les zones climàtiques.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document.

Taula 3.8. Transmissió tèrmica i factor solar de diferents tipus de finestres.

Millores de finestres concretes analitzades	Transmitàncies tèrmiques (W/m <sup>2</sup> ·K)	Factor solar
Marc PVC i vidre 4/12/4	Um=1,3; Uv=2,8; Ug=2,35	g=0,78
Marc PVC i vidre 4/16/4 BE	Um=1,3; Uv=1,6; Ug=1,44	g=0,58
Marc alumini RPT i vidre 4/12/4	Um=3,1; Uv=2,8; Ug=2,89	g=0,78
Marc alumini RPT i vidre 4/16/4 BE	Um=3,1; Uv=1,6; Ug=1,98	g=0,58

**Nota:** Um = Transmissió del marc, Uv = transmissió del vidre, Ug = transmissió global.

### 3.2.4. Proteccions solar exteriors

#### Tendals

##### Denominació

Instal·lació de tendals en finestres i balcons d'orientació sud i oest que no en disposin, adequats a la tipologia constructiva.

##### Objectiu

Reduir les càrregues tèrmiques degudes als guanys solars de la radiació incident sobre el vidre. És a dir, reduir el sobreescalfament per efecte de la radiació infraroja.

##### Descripció

Un tendal és un tros de lona o tela forta que es col·loca als forats de les façanes assolades de l'eix sud, est o oest com a protecció solar passiva.

Imatge de tendal, protecció solar exterior.

Font: Somfy



##### Punts forts i punts febles

Es planteja col·locar tendals en finestres i balcons d'orientació S i W +/- 45°, ja que són les que més pateixen la radiació en els mesos d'estiu (i primavera i tardor, en alguns casos). Els tendals tenen l'avantatge que en els mesos freds es poden recollir, cosa que permet l'aprofitament de la radiació hivernal (escalfament gratuït de l'habitatge a l'hivern).

En el cas d'edificis existents, és complicat col·locar altres proteccions solars exteriors com lamel·les ja que s'hauria de demanar el consentiment de l'arquitecte de l'edifici i presenten costos més elevats i requeriments tècnics específics per executar els treballs. Aquestes mesures són més eficaces sempre que les obertures incorporin a més a més persianes, tal com es comenta en l'apartat següent.

Per altra banda, la instal·lació d'elements de protecció solar amb materials combustibles pot contribuir a l'augment de la càrrega de foc de la façana.

### **Característiques concretes de la mesura**

L'annex 1, relatiu als resultats d'estalvi energètic i rendibilitat econòmica de l'aplicació de mesures i paquets de mesura d'eficiència energètica, inclou més detalls sobre les partides concretes que incorpora aquesta mesura i el seu cost (material i col·locació).

- **Vida útil:** Entre 10 i 15 anys (Es considera 12 anys)

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia o per zona climàtica**

La mesura es pot aplicar de manera equivalent a totes les tipologies i zones climàtiques.

## **Persianes**

### **Denominació**

Instal·lació de persianes en finestres que no en disposin.

### **Objectiu**

Reduir les càrregues tèrmiques degudes als guanys solars de la radiació incident sobre el vidre. És a dir, reduir el sobreescalfament per efecte de la radiació infraroja. Permetre la ventilació natural sense l'accés de la radiació solar.

### **Descripció**

Una persiana és un element mecànic que es col·loca generalment a l'exterior (tot i que es pot col·locar per l'interior) de la finestra o balcó per protegir les estances de la radiació solar. Poden fabricar-se de diferents materials, però els més comuns són PVC i alumini. El mecanisme d'obertura o tancament de la persiana pot ser diferent i dóna nom al tipus de persiana: enrotllable, veneciana, de llibret, etc.



Imatge d'edifici amb persianes exteriors.

Font: Somfy



### **Punts forts i punts febles**

Les persianes redueixen el consum energètic ja que protegeixen de la forta radiació solar estival al mateix temps que faciliten les estratègies de ventilació natural (cas d'obertura de la finestra deixant abaixada la persiana). Això és especialment interessant en el cas de disposar de ventilació creuada amb façanes oposades, una assolellada i l'altra en ombra, per tal de crear un corrent d'aire fresc. També és un element de protecció d'enlluernaments i un element de seguretat. A més a més, la seva gestió es pot incorporar al sistema de control domòtic i optimitzar-ne l'efecte i l'estalvi energètic aconseguit.

### **Característiques concretes de la mesura**

A Catalunya, en general, els edificis d'habitatge es construeixen tots amb persianes a les finestres (95% dels enquestats en el treball de camp en disposaven) i per aquest motiu es descarten en l'estudi.

- **Vida útil:** 15 anys

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia o per zona climàtica**

La mesura es pot aplicar de manera equivalent a totes les tipologies i zones climàtiques.

## **3.2.5. Proteccions solars interiors**

### **Cortines**

#### **Denominació**

Instal·lació de cortines en finestres.

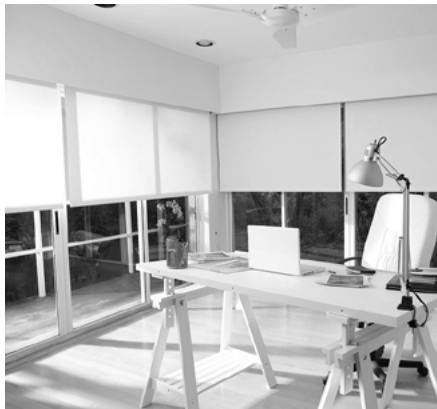
#### **Objectiu**

Reduir les càrregues tèrmiques degudes als guanys solars de la radiació incident sobre el vidre. És a dir, reduir el sobreescalfament per efecte de la radiació infraroja.

Imatge d'interior d'habitatge amb llum exterior controlada mitjançant cortines.

Imatge d'interior d'habitatge amb llum exterior controlada mitjançant persianes.

Font: Somfy



## Descripció

Una cortina és un element mòbil, normalment de roba, que es col·loca a l'interior de la finestra o balcó per protegir les estances de la radiació solar, per reduir les pèrdues tèrmiques cap a l'exterior, per evitar els enlluernaments i per preservar la intimitat de l'habitant.

## Punts forts i punts febles

A l'hivern, la col·locació de cortines gruixudes pot reduir el consum energètic perquè es redueixen les pèrdues tèrmiques hivernals cap a l'exterior o les infiltracions d'aire fred cap a l'edifici. A l'estiu, tot i que protegeixen de la forta radiació solar estival al ser un element col·locat per l'interior, el seu efecte no és tan significatiu com les proteccions solars exteriors.

Existeixen solucions comercials de cortines metal·litzades que reflecteixen la radiació incident i redueixen els guanys per radiació solar, de manera que aconseguixen estalvis de climatització del 5%. Les cortines també són un element de protecció d'enlluernaments i permeten preservar la intimitat dels habitants. Aquestes mesures són més eficaces sempre que les obertures incorporin a més a més persianes, tal com es comenta en l'apartat anterior.

## Característiques concretes de la mesura

Les cortines no s'han considerat en l'estudi ja que la seva simulació no era possible.

- Vida útil: 8 anys

## Característiques concretes de la mesura per tipologia o per zona climàtica

La mesura es pot aplicar de manera equivalent a totes les tipologies i zones climàtiques.

## Films i làmines de protecció solars

### Denominació

Col·locació de films solars de protecció en finestres.

### Objectiu

Reduir les càrregues tèrmiques degudes als guanys solars de la radiació incident sobre el vidre. És a dir, reduir el sobreescalfament per efecte de la radiació infraroja.

### Descripció

Una làmina o film solar és un element de material plàstic, generalment translúcid, que es col·loca enganxat al vidre per protegir les estances de la radiació solar.



Imatge d'aplicació de protecció solar en finestra.

Font: Somfy

### **Punts forts i punts febles**

És un element que a més de protegir de la radiació solar redueix els enlluernaments. De fet, al mercat existeix una àmplia gamma de productes i n'hi ha de més transparents per no reduir la transmissió lumínica. A causa de la mateixa radiació solar incident, són elements que cal reposar sovint, ja que tenen una vida útil força curta, inferior als 5 anys. Aquestes mesures són més eficaces sempre que les obertures incorporin a més a més persianes, tal com es comenta en l'apartat anterior.

### **Característiques concretes de la mesura**

Els films solars no s'han considerat en l'estudi ja que la seva simulació no era possible.

- **Vida útil:** 3 anys

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia o per zona climàtica**

La mesura es pot aplicar de manera equivalent a totes les tipologies i zones climàtiques.

## **3.2.6. Millores de l'estanquitat**

### **Rivets i cintes adhesives**

#### **Denominació**

Rivets, cintes adhesives i massilla elàstica per reduir infiltracions indesitjades d'aire a l'interior de l'edifici.

#### **Objectiu**

Millorar l'estanquitat a l'aire de l'edifici.

#### **Descripció**

Les infiltracions són fluxos descontrolats de l'aire exterior que entren a l'edifici per ranures o obertures no intencionades. La incorporació d'elements de segellat que garanteixin més estanquitat a l'aire de l'edifici, especialment de totes les seves obertures o esquerdes, redueix els consums i incrementa el confort. Es plantegen dos tipus de mesures diferents:

- **Massilla elàstica:** per a les ranures dels murs interiors.
- **Collarins o cintes adhesives per segellar passos de cables.**
- **Rivets o cintes adhesives per a fusteries:** aplicats a les ranures en mal estat entre fusteria i mur, per segellar els vidres a les fusteries antigues o per reduir les infiltracions entre marc i fulla.

#### **Punts febles**

No es recomana utilitzar espumes autoexpandibles, ja que es degraden en poc temps.

### **Característiques concretes de la mesura**

L'annex 1, relatiu als resultats d'estalvi energètic i rendibilitat econòmica de l'aplicació de mesures i paquets de mesura d'eficiència energètica, inclou més detalls sobre les partides concretes que incorpora aquesta mesura i el seu cost (material i col·locació).

- **Vida útil:** Entre 8 i 12 anys. Es consideren 10 anys.

### Característiques concretes de la mesura per tipologia i zona climàtica

La mesura es pot aplicar de manera equivalent a totes les tipologies i zones climàtiques.

#### 3.2.7. Resum comparatiu de materials d'aïllament

La taula 3.9. resumeix les principals característiques recollides dels materials d'aïllament comentats anteriorment.

Característiques	EPS	XPS	Llana mineral	Suro	Cel·lulosa	Llana d'ovella	Cotó	EPS grafitat	PUR injectat**
Aïllament tèrmic	Mitjà – alt	Alt	Mitjà – alt	Mitjà	Mitjà	Mitjà	Mitjà	Alt	Mitjà-alt
Aïllament acústic	Baix	Baix	Alt	Mitjà	Alt	Alt	Alt	Mitjà	Baix
Reacció al foc	E	E	A1		B				E
Resistència a la difusió del vapor d'aigua	Mitjana	Alta	Mitjana	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Mitjana
Resistència a l'aigua líquida	Mitjana	Alta	Baixa	Mitjana	Baixa	Baixa	Baixa	Mitjana	Mitjana
Resistència mecànica	Alta	Alta	Mitjana						Mitjana
Preu	Baix	Alt	Mitjà	Mitjà	Mitjà	Mitjà	Alt	Alt	Baix
Consum energètic fabricació	Mitjà – elevat*	Mitjà – elevat*	Alt – baix*	Mitjà	Baix	Baix	Mitjà	Mitjà – elevat*	Mitjà – elevat*

Taula 3.9. Resum comparatiu de valoració qualitativa de les característiques dels principals materials d'aïllament recollits en l'estudi

En relació amb la sostenibilitat dels materials o els aïllants renovables, cal comparar sempre els impactes ambientals complets (EPD o DAP), que són els que permeten avaluar ambientalment els diferents productes. En aquest sentit, els estudis comparatius de cicle de vida arriben a la conclusió que els impactes ambientals dels productes aïllants són bastant similars i des de l'ICAEN es recomana analitzar els cicles de vida de cada producte aïllant per fer una bona comparació dels diferents avantatges.

\*Mitjà-elevat: mitjà en la transformació i elevat en les matèries primeres; alt-baix: alt en la transformació i baix en les matèries primeres.

\*\* PUR d'estructura cel·lular oberta.

**Nota:** La reacció al foc es defineix segons la classificació europea de reacció al foc dels materials (RD 312/2005 i la norma UNE-EN 13501-1:2002. Euroclasses. Les noves classes es corresponen conceptualment amb les següents definicions:

- **A1:** No Combustible. Sense contribució en grau màxim al foc.
- **A2:** No Combustible. Sense contribució en grau menor al foc.
- **B:** Combustible. Contribució molt limitada al foc.
- **C:** Combustible. Contribució limitada al foc.
- **D:** Combustible. Contribució mitjana al foc.
- **E:** Combustible. Contribució alta al foc.
- **F:** Sense classificar.

### 3.3. Mesures actives

#### 3.3.1. Sistemes tèrmics no renovables

##### Caldera de condensació de gas natural

###### Denominació

Substitució d'una caldera existent de gas natural per una de nova de condensació, d'elevada eficiència, quan s'espatlli o es consideri amortitzada la caldera existent.

###### Objectiu

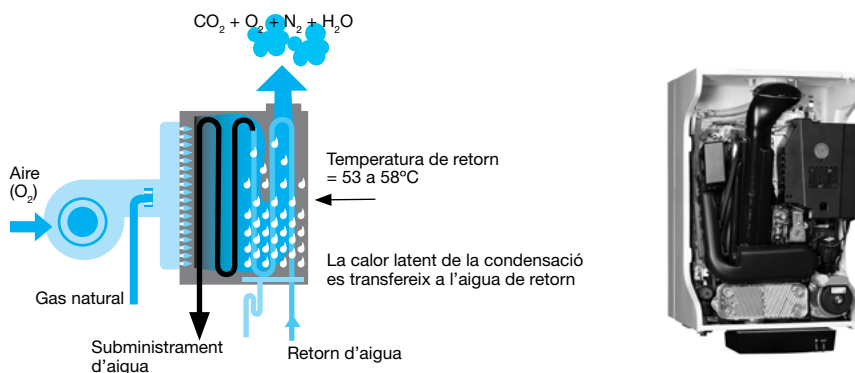
Millorar el rendiment de la producció d'aigua calenta per a calefacció i ACS. També es redueixen les emissions atmosfèriques contaminants.

###### Descripció

Les calderes de condensació estan construïdes amb materials capaços de treballar amb temperatures de fums mínimes i així recuperar la calor del vapor dels fums a la sortida de la combustió. Aquest procés aconsegueix rendiments nominals de fins al 109% sobre el PCI, davant del 90% de les calderes convencionals més bones. De tota manera, el rendiment estacional al llarg de l'any acostuma a ser més baix, de l'ordre del 95-100%. El Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en Edificis (RITE) i les directives d'ecoproductes de la UE regulen que a partir de 2015 totes les calderes individuals posades a la venda al mercat siguin de condensació. Per tant, això suposarà una baixada dels costos que s'incrementarà amb els anys, ja que a partir de 2019 encara hauran de ser més eficients.

Figura 3.1. Sistema de funcionament d'una caldera de condensació.

Imatge de caldera de condensació.



### Punts forts i punts febles

Si la caldera té menys de 15 anys i està en bon estat és més interessant des d'un punt de vista cost-benefici prioritzar la inversió en millores del sistema de control amb capçals termostàtics a cada radiador i programadors (incorporats com a fitxes independents en l'apartat de gestió d'aquest estudi).

L'eficiència nominal o teòrica del 109% sols s'aconsegueix en casos extrems amb temperatures de retorn a la caldera baixes i càrregues parcials (en el cas contrari, el rendiment se situarà sobre el 95-100%). Per aconseguir temperatures de retorn baixes es pot treballar a baixa temperatura (40-45°C), especialment indicat si es treballa amb equips terminals de baixa temperatura (radiadors sobredimensionats, terra radiant, ventiloconvectors de baixa temperatura, etc.) i canonades de retorn no aïllades. De tota manera, darrerament s'està optant per instal·lar calderes de condensació en instal·lacions d'ACS i/o calefacció que treballen a temperatures d'impulsió de 50-55°C i s'ha comprovat que també en aquest cas els rendiments són molt bons.

Les calderes de condensació necessiten instal·lar una canonada per desaiugar els condensats. A Espanya encara no hi ha cap limitació de contaminants, tot i que a altres països europeus exigeixen filtres abans dels desguassos.

Des del punt de vista de l'eficiència energètica, tot i que no es tracti de calderes de condensació, també es recomana que les calderes siguin:

- **Estanques:** l'admissió d'aire i l'evacuació de gasos té lloc en una cambra tancada, sense contacte amb l'aire del local.
- **Modulants o de modulació automàtica de la flama:** minimitza el consum en les arrancades i parades.

### Característiques concretes de la mesura

Caldera de condensació instantània de gas natural, mixta ACS i calefacció, i modular per a habitatges unifamiliars o plurifamiliars d'uns 80-100 m<sup>2</sup> i per a substituir calderes existents amb més de 15 anys.

Serveix la mateixa dimensió en habitatges unifamiliars i plurifamiliars sempre que la superfície calefactada sigui semblant. També serveix la mateixa dimensió en les diferents zones climàtiques analitzades gràcies a la modularitat de la mateixa caldera. En aquest estudi es dimensionarà més gran la caldera en habitatges unifamiliars perquè la seva superfície mitjana és més gran que la dels habitatges plurifamiliars.

Inclou:

- Canvi de la caldera.
- Canvi de la sortida de fums (pas a sortida de fums plàstica).
- Canonada de recollida de condensats.
- Posada en funcionament de la caldera pels tècnics del fabricant, amb ajust de la modulació de la flama en funció de l'ús real dels radiadors i altres ajustos tècnics.

Combustible	Gas natural
Rendiment nominal	1,09
Rendiment estacional o real	0,95
Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document punt 4.1
Periodicitat del manteniment	Anual
Periodicitat de reposició	16 anys

Taula 3.10. Dades característiques de caldera de condensació de gas natural.

## **Característiques concretes de la mesura per tipologia\***

### **Tipologies unifamiliars A, B, C i D:**

Tot i que aquesta mesura només inclou el canvi de caldera, en el cas d'habitatges unifamiliars de més de 200 m<sup>2</sup> s'acostuma a instal·lar també un acumulador d'ACS de 150 litres per garantir la disponibilitat d'aigua calenta en moments d'elevat consum continuat (especialment indicat, per exemple, per a famílies nombroses). En alguns casos, quan es fa la renovació de la caldera el tècnic també considera necessari canviar l'acumulador i altres elements de la sala de calderes. Tanmateix, en aquest estudi sols es considerarà el canvi de caldera.

- **Potència:** 35 kW

### **Tipologies plurifamiliars E, G, H, I:**

- **Potència:** 20 kW

### **Tipologia F:**

La tipologia F no s'inclou perquè disposa de caldera col·lectiva (vegeu fitxa següent).

## **Canvi de caldera col·lectiva**

### **Denominació**

Canvi de la caldera col·lectiva antiga (de gasoil o de gas natural) per una de més eficient. Si és possible, en el cas que el combustible sigui gasoil, des del punt de vista de l'eficiència i de la contaminació atmosfèrica resulta oportuna també la substitució de gasoil per gas natural o fins i tot per biomassa. Cal tenir en consideració que la biomassa no és recomanable en les zones declarades de protecció especial de l'atmosfera ateses les emissions d'òxids de nitrogen i de partícules en suspensió de diàmetre inferior a 10 micres incloses en el Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire horitzó 2020 de la Generalitat de Catalunya.

### **Objectiu**

Millorar el rendiment de la producció d'aigua calenta per a calefacció i ACS. A la vegada, reduir l'emissió de contaminants a l'atmosfera.

### **Descripció**

Les calderes col·lectives o centralitzades són instal·lacions en les quals una o diverses calderes comunitàries subministren l'ACS i la calefacció a tots els habitatges de l'edifici. Durant els anys 1960-70 es van col·locar diverses instal·lacions de gasoil centralitzades que tenien rendiments estacionals reals de l'ordre del 45-55% i que emetien considerables gasos contaminants a l'atmosfera (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, etc.). Actualment, en molts casos es poden substituir per calderes de gas natural de màxima eficiència (de condensació o de baixa temperatura segons les necessitats de l'edifici), ja que la xarxa de gas natural és molt més extensa que fa 40 anys.

Evidentment, també té sentit la substitució en el cas que les calderes originals siguin dels anys 1960-70 i de gas natural, perquè l'eficiència s'ha incrementat molt des d'aleshores.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document

A l'hora de millorar una instal·lació centralitzada existent, també es replanteja el sistema de regulació i control. En general les empreses especialitzades acostumen a preferir refer completament la sala tècnica de les calderes, cosa que facilita la incorporació de bombes amb variador de freqüència com a mínim en el circuit primari i altres millores tecnològiques. Per instal·lar variadors de freqüència a la distribució, cal redissenyar el sistema perquè pugui treballar correctament a cabal variable (pas de vàlvula de dues a tres vies). A banda, es regula la temperatura de l'aigua d'impulsió en funció de la temperatura exterior i, en el cas d'haver-hi diferents calderes, s'adequa el funcionament perquè n'hi hagi una de màster i que la resta siguin esclaves que treballin en cascada.

### **Punts forts i punts febles**

Darrerament s'està optant per posar calderes de condensació en instal·lacions d'ACS i/o calefacció centralitzades que treballen a temperatures d'impulsió de 50-55°C i s'ha demostrat que els rendiments reals són molt elevats. El pas d'instal·lacions individuals a una instal·lació centralitzada presentaria uns costos molt elevats i unes dificultats d'execució i de pas de conductes que la fan inviable des del punt de vista de la relació cost-benefici.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia\***

#### **Tipologia F:**

En les simulacions d'aquest quadern pràctic s'ha considerat que una instal·lació de caldera centralitzada disposarà com a mínim de 30 habitatges. Per tant, es considera que seran 3 blocs de la tipologia F.



Imatge de caldera col·lectiva.

---

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document



Taula 3.11. Dades característiques d'una caldera col·lectiva.

Tipus d'equip	Canvi de les calderes i de la sala de màquines: calderes de condensació, acumuladors, bombeig, canonades, regulació, etc.
Combustible	Gas natural
Potència	300 kW (2 de 150 kW)
Rendiment nominal	1,09 (si la caldera és de condensació) o 1,05 (considerant una caldera de baixa temperatura)
Rendiment estacional o real	0,9 (menor que en calderes individuals, ja que inclou les pèrdues de distribució)
Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	Cada any
Periodicitat de reposició	18 anys

**Nota:** No es considera el canvi a col·lectiva en un edifici plurifamiliar on hi havia calderes individuals, ja que en general no és viable.

## Bombes de calor

### Denominació

Substitució d'una bomba de calor antiga per una de nova d'elevada eficiència energètica. Una bomba de calor és una màquina tèrmica que permet generar tant calor (per a calefacció i ACS) com fred (per a refrigeració). Generalment, és un equip aire-aire.

### Objectiu

Millorar el rendiment de la producció de calor i fred per tal de reduir els consums energètics de calefacció i climatització dels habitatges.

### Descripció

En habitatges dels últims 20 anys ha estat força comú instal·lar bombes de calor que permeten refrigerar a l'estiu i també escalfar l'estança a l'hivern.

Es recomana substituir els equips que tinguin més de 10-15 anys d'antiguitat, ja que els rendiments han millorat molt els darrers anys i l'estalvi energètic i econòmic pot ser considerable, especialment si l'equip es fa servir de forma intensa als mesos d'estiu.

Els equips més eficients disposen de tecnologia Inverter, que incorpora un variador de freqüència al compressor que li permet adaptar la potència en funció de la demanda i evitar parades de la bomba de calor.



### **Punts forts i punts febles**

Els rendiments de bombes de calor i altres equips de refrigeració depenen de la zona climàtica, de l'any de fabricació i de la normativa vigent en cada moment. L'indicador d'eficiència energètica més complet és l'ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio), que recull l'ús de l'equip a diferents càrregues en funció de diferents temperatures exteriors.

L'ús de la bomba de calor per calefacció no és aplicable en instal·lacions de radiadors convencionals, ja que l'aigua que produeix està a una temperatura màxima d'uns 55 °C. Els aparells de refrigeració o bombes de calor s'han d'instal·lar en llocs no excessivament assolellats i que tinguin una bona circulació d'aire. El rendiment de la bomba de calor cau significativament a baixes temperatures (T exterior inferior a 4°C), per la qual cosa no és recomanable instal·lar-la en zones climàtiques fredes a l'hivern (vegeu-ne el comentari a continuació, a les característiques per zona climàtica).

Darrerament els fabricants estan traient noves solucions al mercat i existeixen algunes bombes de calor capaces de produir l'aigua calenta sanitària amb un rendiment força elevat, de manera que es podria substituir el termoelectric de l'habitatge. Per exemple, una bomba de calor amb acumulador integrat de 80 l, COP nominal de 4 i un cost material de 1.300 €.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia\***

#### **Tipologies unifamiliars A, B, C i D:**

Se suposa que tantes unitats interiors com estances.

COP calor / EER fred

4 / 3,7

Taula 3.12. Dades característiques d'una bomba de calor.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document

### Tipologies plurifamiliars E, F, G, H i I:

Se suposa que tantes unitats interiors com estances.

Taula 3.13. Dades característiques d'una bomba de calor.

COP calor / EER fred	4 / 3,7
Periodicitat de manteniment	Biennal (cada 2 anys)
Periodicitat de reposició	20 anys

### Característiques concretes de la mesura per zona climàtica

A les bombes de calor d'aire, l'aire exterior que travessa la bateria freda situada a l'exterior es refreda i, si la seva temperatura de sortida és menor que la temperatura de rosada, part de la humitat es condensa. Si la temperatura superficial del serpenti és suficientment baixa, l'aigua condensada pot formar una capa de gel, fenomen conegut com a gebre. Aquest fenomen provoca que la potència tèrmica de la bomba disminueixi i l'eficiència de la màquina empitjori. És per això que en determinades zones climàtiques (zones d'hivern D i E, en general) on les temperatures exteriors acostumen a ser menors de 4°C hi ha problemes de funcionament amb les bombes de calor i sovint disposen d'una resistència elèctrica per desfer el gel.

### Aerotèrmia en substitució d'una caldera mixta (i d'una bomba de calor en el cas de refrigeració)

#### Denominació

Substitució d'una caldera mixta i d'una bomba de calor, en el cas que hi hagués refrigeració, per una bomba de calor aerotèrmica aire-aigua d'elevada eficiència que proporciona aigua calenta per a la calefacció, aigua freda per a la refrigeració i aigua calenta per a l'ACS. Per tant, aquesta solució també continua aportant refrigeració a l'estiu, com les bombes de calor convencionals.

#### Objectiu

Reduir el consum energètic del sistema de producció d'energia tèrmica i les emissions contaminants atmosfèriques associades.

#### Descripció

L'energia aerotèrmica és l'energia emmagatzemada en forma de calor a l'aire exterior. L'aprofitament de l'aerotèrmia es pot fer mitjançant una bomba de calor aire-aigua o aire-aire. De tota manera, en aquest treball s'utilitza el concepte d'aerotèrmia quan es tracta d'una bomba de calor aire-aigua que també serveix per produir aigua calenta sanitària (ACS).

Una bomba de calor aerotèrmica extreu la calor de l'aire a través de l'evaporador i la transfereix a un focus d'alta temperatura a través del condensador. L'energia calorífica generada es distribueix al sistema de calefacció a través de canonades d'aigua fins als elements terminals de calefacció existents: radiadors (60-70°C de temperatura d'impulsió), terra radiant (30-40°C) o ventiloconvectors (40-50°C). En el cas de treballar amb sistemes de calefacció de baixa temperatura els rendiments de la bomba de calor seran més elevats que al treballar amb radiadors convencionals. La inversió del cicle frigorífic a l'estiu permet produir la refrigeració en el cas de disposar de ventiloconvectors (7-12°C) o el refrescament en el cas de superfícies radiant (18-20°C).

Mitjançant un dipòsit d'acumulació, la bomba de calor aire-aigua també s'aprofita per generar l'ACS de l'habitatge (temperatura d'acumulació a 50°C). Les bombes de calor disposen d'un compressor especialment dissenyat que permet obtenir temperatures de treball de fins a 60°C, fet que les fa aptes com a font de producció d'ACS durant tot l'any.

La bomba de calor aerotèrmica permet combinar sistemes de calefacció de baixa temperatura amb la producció simultània d'ACS, amb les condicions higièniques adients, i amb aquest mateix sistema realitzar la refrigeració a l'estiu, sense perdre la resta de capacitats.

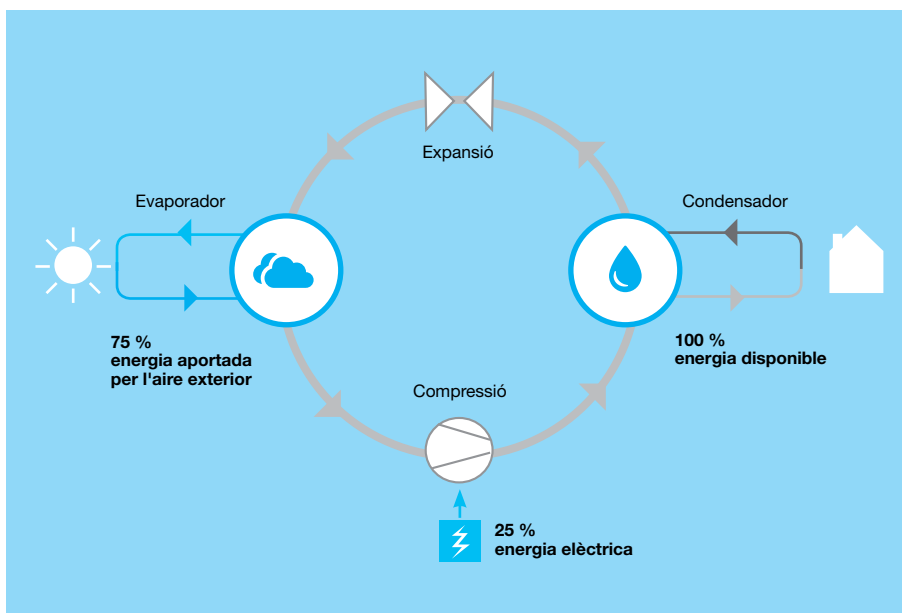


Figura 3.2. Esquema de funcionament d'una bomba de calor.

Figura 3.3. Esquema d'equips alimentats per la bomba de calor aerotèrmica a l'hivern.

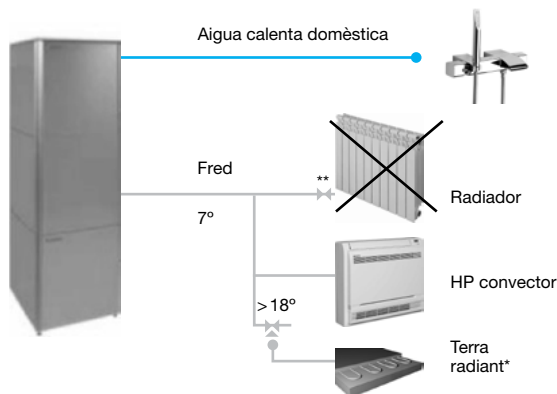
**Situació a l'hivern**



\* Poden ser utilitzats qualsevol tipus d'emissors de calor basats en l'aigua

Figura 3.4. Esquema d'equips alimentats per la bomba de calor aerotèrmica a l'estiu.

**Situació a l'estiu**



\* Refrigerant per terra  
 \*\* Radiador tancat en mode fred

**Punts forts i punts febles**

La regulació de l'equip és clau per aconseguir que treballi sempre al màxim rendiment. El procés d'instal·lació i posada en marxa és força senzill i els requeriments de manteniment d'aquest tipus d'equips és molt reduït. El cost de l'equip és considerable.

**Característiques concretes de la mesura per tipologia\***

**Tipologies unifamiliars A, B, C i D:**

Aquesta mesura serveix per a les diferents tipologies unifamiliars sempre que les necessitats tèrmiques siguin semblants.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document

Potència de l'equip	Refrigeració: 16 kW, Calefacció: 16 kW
COP calor / EER fred	4 (T=35°C) / 3,7 (T=7°C)
Volum d'acumulació d'ACS (litres)	200
Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	Cada any
Periodicitat de reposició	Cada 20 anys

Taula 3.13. Dades característiques d'una bomba de calor aerotèrmica.

### Tipologies plurifamiliars E, F, G, H i I:

Tot i que ja existeixen al mercat equips per subministrar energia tèrmica a petits edificis plurifamiliars, no es coneix encara cap cas real en què s'hagin aplicat en aquest tipus d'edificis sense instal·lar solucions individuals. Les solucions individuals ocupen molt d'espai útil de l'habitatge i per tant s'està aplicant en cases unifamiliars que tinguin unes necessitats d'ACS importants. Per aquest motiu es descarta l'aerotèrmia en aquest treball en les tipologies plurifamiliars.

### Característiques concretes de la mesura per zona climàtica

Les bombes de calor aerotèrmiques, a diferència de les bombes de calor convencionals, estan dissenyades per obtenir la màxima energia de l'aire exterior en condicions climàtiques severes, ja que poden portar incorporat un sistema de resistències elèctriques per utilitzar puntualment en dies molt extrems.

### 3.3.2. Airejadors i reductors de cabal d'ACS

#### Airejadors i reductors de cabal d'acs

##### Denominació

Airejadors per reduir el cabal d'aigua de les aixetes i reductors de cabal per a les dutxes.

##### Objectiu

Reduir el consum energètic derivat de l'escalfament d'ACS, ja que en reduir el cabal es redueix el consum d'aigua i també el consum energètic associat a l'aigua calenta.

##### Descripció

Existeixen diferents elements economitadors d'aigua que, col·locats en aixetes, en redueixen el consum d'aigua. Principalment es classifiquen en tres tipologies: elements mecànics, temporitzadors i sensors de moviment. En el cas dels habitatges en general només s'instal·len elements mecànics com airejadors i perlitzadors, que col·locats a l'element terminal redueixen el cabal d'aigua mitjançant la introducció d'aire. Amb aquests elements mecànics es pot aconseguir més d'un 50% d'estalvi sense perdre el confort ni el volum del doll. En limitar el cabal d'aigua, se'n redueix el consum total i, per tant, també s'està estalviant en el consum d'energia associat a escalfar-la.

Imatge d'airejadors i reductors de cabal.



El reductor de cabal és un element mecànic que es col·loca a les dutxes i permet reduir el consum d'aigua fins a només 7 l/min a una pressió de 3 bar, en contrast amb un consum estàndard de 18 l/min. D'aquesta manera els reductors de cabal comporten un estalvi d'aigua de fins a un 60%. Tenint en compte que es requereixen 31,3 kWh d'energia per escalfar 1 m<sup>3</sup> d'aigua des de 10°C fins a una temperatura de dutxa de 40°C, la reducció de cabal de 18 l/min a 7 l/min comportaria un estalvi energètic aproximat de 1.000 kWh anuals.

### **Comentaris**

Els airejadors i els reductors de cabal s'adquireixen en ferreteries convencionals i tenen una instal·lació molt senzilla. Primer cal treure el filtre actual que hi ha a l'aixeta desenroscant-lo i després enroscar el nou airejador d'aigua. En el cas dels reductors de cabal, s'instal·len entre l'aixeta i el mànec de la dutxa, no entre el mànec i el capçal manual. Els airejadors són dispositius molt duradors gràcies al filtre d'acer inoxidable i a l'autoneteja anticalç.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia i zona climàtica**

Serveix la mateixa mesura per a les diferents tipologies i zones climàtiques sempre que hi hagi el mateix nombre d'elements terminals.

Taula 3.14. Dades característiques d'airejadors i reductors de cabal.

Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat de manteniment	No és necessari manteniment
Periodicitat de reposició	30 anys

### 3.3.3. Calderes de biomassa

#### Caldera de biomassa

##### Denominació

Col·locació d'una caldera de biomassa per escalfar aigua calenta per a calefacció i/o ACS.

##### Objectiu

Reduir les emissions de CO<sub>2</sub> i els costos energètics respecte de les calderes de gasoil.

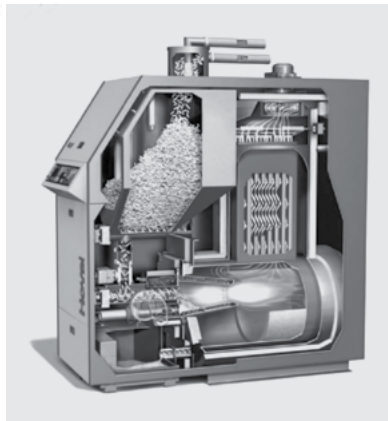
##### Descripció

Les calderes de biomassa són calderes que utilitzen com a combustible matèria orgànica d'origen vegetal (restes de podes, biomassa forestal, pinyols, etc). Un dels combustibles més utilitzats són els pèl·lets, que són petits cilindres compostos de serradures, encenalls, estelles moltes i altres residus, tots ells comprimits.

Les calderes de pèl·let disposen d'una tremuja incorporada o d'una sitja propera, on hi ha el combustible que alimenta el cremador i que, normalment, també fa de dosificador del combustible. És habitual començar ficant una caldera amb una tremuja adossada i posteriorment afegir una sitja per emmagatzemar el pèl·let a granel.

La figura mostra l'interior d'una caldera de pèl·lets de potència mitjana. El dipòsit intern, per gravetat, serveix el pèl·let a un vis sense fi que en modula el subministrament al cremador. Per sota d'aquest hi ha el cendrer, el qual recull les cendres del cremador, mitjançant també un vis sense fi. Sobre la cambra de combustió hi ha el bes-canviador que recull l'energia dels fums al seu pas cap a la xemeneia de sortida.

La mida de les calderes de biomassa acostuma a ser més gran que la de les calderes de combustibles tradicionals (gas i gasoil). A més, es requereix un ampli espai d'acumulació per al dipòsit de la biomassa que s'utilitzarà.



Secció de caldera de biomassa. Vista de l'interior.

##### Punts forts i punts febles

Cal tenir en consideració que la biomassa no és recomanable en les zones declarades de protecció especial de l'atmosfera ateses les emissions d'òxids de nitrogen i partícules en suspensió de diàmetre inferior a 10 micres incloses en el Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire horitzó 2020 de la Generalitat de Catalunya.

Existeix la possibilitat d'utilitzar un acumulador d'ACS per tal de tenir la caldera preparada a la temperatura necessària. En general compensa econòmicament la instal·lació d'un acumulador d'ACS en lloc de consumir pèl·let per tal de mantenir la caldera calenta per a l'ACS en períodes de no calefacció.

La no disponibilitat d'espai per emmagatzemar el combustible (els pèl·lets) pot ser un criteri d'exclusió d'aquest tipus de mesures. Per a potències baixes, existeixen les estufes de biomassa, que no necessiten sitges ni grans acumulacions de pèl·let i permeten reduir la infraestructura necessària al mínim.



### Característiques concretes de la mesura

Caldera de biomassa de pèl·lets mixta i modular per ACS i calefacció. La potència de la caldera es fixa en funció de la demanda màxima i la temperatura mínima de la zona. Aquestes circumstàncies, però, es donen habitualment menys d'un 20% del temps de l'any. Si la caldera no treballa al 100% el seu rendiment varia, per això és molt important la modulació. Una caldera que pugui variar la seva potència entre el 20% i el 100% mantenint el rendiment suposa un important estalvi anual.

Inclou:

- Canvi de la caldera
- Dipòsit de combustible
- Posada en funcionament de la caldera pels tècnics del fabricant, que ajusten la modulació de la flama en funció de l'ús real dels radiadors, etc.

Taula 3.15. Dades característiques d'una caldera de biomassa.

Combustible	Biomassa (pèl·let)
Rendiment	0,88 (en col·lectives 0,83)
Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	Les calderes de pèl·lets automàtiques (amb neteja i funcionament automàtic) requereixen un manteniment i neteja interior anual. El buidat del calaix de cendres varia: des de 2 o 3 cops per temporada fins a un buidatge anual.  Les calderes que no tenen un sistema de neteja interior o semiautomàtic requereixen una neteja més habitual, que segons el sistema pot ser quinzenal, setmanal o cada pocs dies.
Periodicitat de reposició	16 anys

### Característiques concretes de la mesura per tipologia\* i zona climàtica

#### Tipologies unifamiliars A, B, C i D:

Tot i que aquesta mesura només inclou el canvi de caldera, s'acostuma a instal·lar un acumulador d'inèrcia, ja que així es redueix el consum de combustible. Als habitatges unifamiliars, una solució molt bona és un dipòsit combinat on s'inclouï en un únic volum la inèrcia i l'acumulació d'ACS.

En habitatges unifamiliars la caldera es pot ubicar a qualsevol lloc, sempre que sigui tancat, sota cobert i amb una mínima ventilació. Cal tenir en compte que l'espai haurà de suportar el pes de la caldera (habitualment més de 120 kg) i disposar d'espais mínims per realitzar treballs de manteniment.

Es recomanen 1 o 2 ompliments a l'any per a habitatges unifamiliars que s'hagin d'omplir amb camió cisterna. El volum mínim en aquests casos és de 2,5 tones. Cal destacar que no hi ha un risc significatiu d'acumular una quantitat important de pèl·let si està emmagatzemat en sec.

La zona climàtica afectarà la demanda energètica necessària i per tant el dimensionat de la caldera i el seu consum. A més és important tenir en compte la disponibilitat del combustible en l'entorn i els impactes ambientals, especialment la contaminació atmosfèrica amb NOx i les partícules que genera. Per tant, encaixarà millor en entorns de muntanya o boscosos que en les grans ciutats o a la costa.

- **Potència:** 15 kW

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document

### Tipologies plurifamiliars E, G, H i I:

No s'hi inclouen, ja que en edificis existents sense caldera col·lectiva no es posaria una caldera de biomassa a cada habitatge perquè comporta molt d'espai (sitja de combustible, etc) i dificultats importants de proveïment de la matèria primera.

### Tipologia plurifamiliar F:

Es considera que una instal·lació de caldera centralitzada com a mínim disposarà de 30 habitatges. Per tant, es considera que seran 3 blocs de la tipologia F.

Cal considerar el canvi de la caldera col·lectiva per una de biomassa.

En el cas d'instal·lacions comunitàries, com a mínim, s'han de garantir 2 setmanes d'autonomia. S'ha d'intentar fer les càrregues amb camions complets (normalment 9 o 20 tones, tot i que segons la zona n'hi ha de 5 tones) per així optimitzar econòmicament aquestes càrregues de pèl·let.

És obligatori que a partir de 70 kW de potència les calderes estiguin en una sala de calderes.

- **Potència:** 310 kW (2 unitats de 155 kW)

### 3.3.4. Instal·lacions solars tèrmiques

#### Solar tèrmica per unifamiliars: termosifó

##### Denominació

Instal·lació d'un equip energia solar tèrmica tipus termosifó per cobrir les necessitats d'ACS de l'habitatge. En casos particulars també es pot instal·lar per cobrir una part de la calefacció.

##### Objectiu

Reduir el consum energètic per escalfar aigua calenta.

##### Descripció

Un termosifó és un equip compacte d'energia solar tèrmica que està format per captadors d'energia solar tèrmica i un dipòsit, situats en un mateix emplaçament i que funcionen com un sol equip. Els captadors d'energia solar tèrmica poden ser captadors solars plans o tubs de buit.

El termosifó funciona de tal manera que l'aigua o el líquid portador de calor circula des dels captadors solars fins al dipòsit d'acumulació sense utilitzar cap bomba, simplement circula per la diferència de temperatura entre el líquid dels captadors i el dipòsit, ja que l'aigua o el líquid portador de calor s'expandeix amb la temperatura i se situa per sobre del líquid amb menor temperatura (fenomen de convec-



Imatge d'instal·lació solar tèrmica amb termosifó.

ció). Precisament per aquest motiu, els dipòsits acumuladors d'aigua calenta s'han de situar sempre per sobre del nivell dels captadors.

### **Comentaris**

És molt important en els sistemes amb termosifó que el dipòsit acumulador d'aigua calenta estigui molt ben aïllat tèrmicament per tal de no perdre calor amb l'exterior, perquè està a la intempèrie.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia\* i zona climàtica**

#### **Tipologies A, B, C i D:**

Termosifó de solar tèrmica per a habitatge unifamiliar. Serveix la mateixa mesura per a les diferents tipologies sempre que hi hagi les mateixes necessitats tèrmiques.

Les zones climàtiques afecten el nombre de captadors necessaris, ja que la radiació solar incident no és la mateixa.

Taula 3.16. Dades característiques d'una instal·lació solar tèrmica amb termosifó.

Nombre de captadors	1
Volum d'acumulació (litres)	160
Cobertura energètica	60% de l'ACS
Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	1 cop l'any
Periodicitat de reposició	16 anys

## **Solar tèrmica en plurifamiliars: solució amb acumulació i caldera centralitzats**

### **Denominació**

Instal·lació d'un equip d'energia solar tèrmica per cobrir les necessitats d'ACS d'un edifici plurifamiliar que ja disposa de caldera col·lectiva.

### **Objectiu**

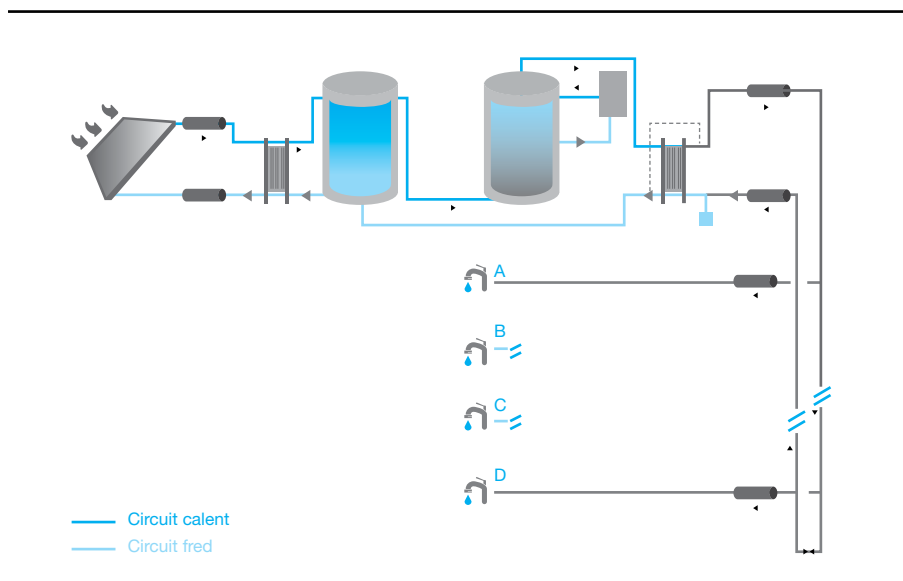
Reduir el consum energètic per escalfar aigua calenta i les emissions contaminants atmosfèriques associades.

### **Descripció**

En aquest cas la instal·lació solar tèrmica és tota centralitzada: camp de captació, dipòsit d'acumulació i caldera de suport col·lectiva des d'on es distribueix l'ACS cap als diferents habitatges en funció de la demanda de cada moment. A diferència del cas anterior, on cada veí tenia una caldera de suport a casa seva i l'aigua de xarxa era consumida per cadascú, en aquest cas arribarà una factura comunitària tant d'aigua de xarxa com de gas natural de la caldera i caldrà repartir entre els veïns la despesa en funció del consum de calor útil que hagi fet cadascú. En aquest cas, es poden trobar empreses de serveis energètics (ESE) interessades a gestionar la instal·lació de manera permanent.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document

Figura 3.5. Esquema d'instal·lació solar tèrmica.



### Punts forts i punts febles

A l'hora d'instal·lar el camp de captadors a la coberta de l'edifici cal tenir en compte que, per posar una instal·lació solar tèrmica en un edifici amb caldera col·lectiva, se n'haurà de revisar el bon funcionament i la modularitat, de manera que pugui treballar correctament amb el sistema auxiliar que hi hagi i pugui aportar l'energia necessària per escalfar l'aigua fins a la temperatura de consigna. És convenient disposar d'un comptador d'energia per poder facturar l'energia útil als habitatges de forma diferenciada, tal com exigeix l'article 9 la Directiva 27/2012-UE d'eficiència energètica.

### Característiques concretes de la mesura per tipologia\* i zona climàtica

#### Tipologia F:

Es considera que una instal·lació de caldera centralitzada disposarà de com a mínim 30 habitatges i, per tant, seran 3 blocs de la tipologia F. Cal recordar que la caldera col·lectiva existent es conserva.

Les zones climàtiques afecten el nombre de captadors necessaris, ja que la radiació solar incident no és la mateixa.

Nombre de captadors	22 captadors de 2,3 m <sup>2</sup> útils cadascun
Volum d'acumulació (litres)	3.000
Cobertura energètica	60% de l'ACS
Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	1 cop l'any
Periodicitat de reposició	16 anys

Taula 3.17. Dades característiques d'una instal·lació solar tèrmica.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document

### 3.3.5. Geotèrmia

#### Instal·lació d'energia geotèrmica per a unifamiliars

##### Denominació

Instal·lació d'energia geotèrmica de baixa temperatura o baixa entalpia per cobrir les necessitats de calefacció i refrigeració d'un habitatge.

##### Objectiu

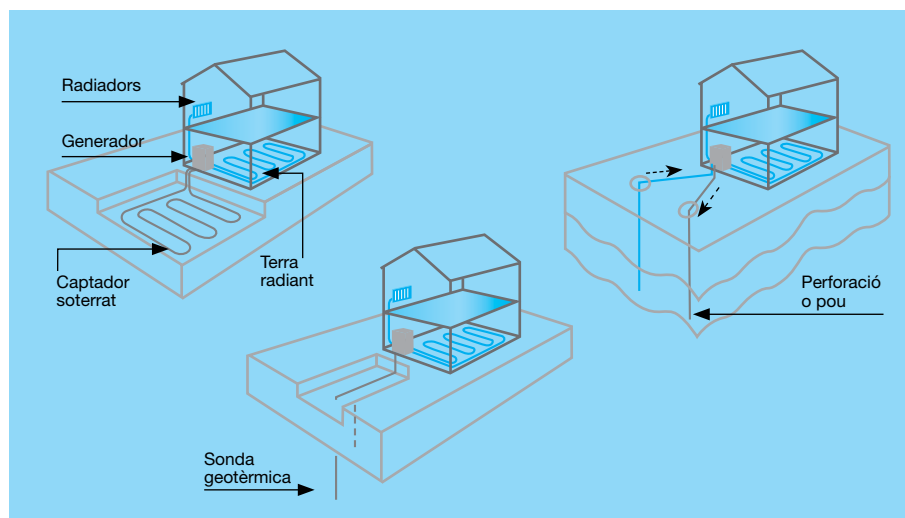
Reduir el consum energètic de climatització de l'habitatge

##### Descripció

La instal·lació d'energia geotèrmica de baixa entalpia necessària per a un habitatge unifamiliar està formada principalment per una bomba de calor geotèrmica i un bescanviador geotèrmic enterrat en el subsòl mitjançant perforacions verticals d'uns 100 m de profunditat o enterrat en horitzontal cobrint una gran superfície en el cas de disposar d'un jardí adequat. També es pot fer mitjançant pous de bescanvi si es disposa d'aigua subterrània.

Aquesta bomba de calor disposa d'un rendiment més elevat que les bombes de calor convencionals, ja que en lloc de bescanviar energia contra l'aire exterior ( $T$  estiu de  $30-35^{\circ}\text{C}$ ) ho fa contra el subsòl, que té unes temperatures més constants i favorables tot l'any ( $14-16^{\circ}\text{C}$ ).

Taula 3.6. Esquema d'instal·lació d'energia geotèrmica.



##### Punts forts i punts febles

Una bomba de calor geotèrmica té millor rendiment si el sistema de distribució i terminal de climatització de l'habitatge és un sistema de baixa temperatura, com el terra radiant

S'ha de fer un estudi geotècnic detallat del subsòl per tal d'avaluar si serà capaç d'evacuar la calor aportada pel sistema. El cost de les perforacions és elevat i, per tant, l'elevada inversió inicial pot limitar-ne l'ús.

## Característiques concretes de la mesura per tipologia\* i zona climàtica.

### Tipologies A, B, C i D:

Instal·lació geotèrmica per a unifamiliars (amb perforacions verticals).

Serveix la mateixa mesura per a les diferents tipologies sempre que hi hagi les mateixes necessitats tèrmiques. Les zones climàtiques afecten la mida del bescanviador necessari, ja que les necessitats tèrmiques de calefacció i refrigeració no són les mateixes.

Aquesta mesura només es planteja per a habitatges unifamiliars.

Potència de l'equip	Refrigeració: 8-16 kW segons la zona climàtica
COP calor / ACS	4,7
EER fred	5,7
Volum d'acumulació d'ACS (litres)	100
Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	1 cop l'any
Periodicitat de reposició	20 anys

Taula 3.18. Dades característiques d'una instal·lació geotèrmica.

### 3.3.6. Millores en il·luminació

#### Millores en il·luminació de l'habitatge

##### Denominació

Canvi de lluminàries convencionals per lluminàries LED de més eficiència i durada.

##### Objectiu

Reduir el consum elèctric degut a la il·luminació.

##### Descripció

Els canvis de lluminàries més efectuats són:

- El canvi de làmpades d'incandescència a làmpades fluorescents compactes i LED.
- El canvi de làmpades halògenes per làmpades LED, incloses les halògenes encastades amb transformador.
- La millora en fluorescents: canvi de lluminàries o canvi de reactàncies magnètiques a electròniques.

En aquest treball s'han considerat les dues primeres opcions perquè són les més habituals en habitatges. La tendència dels últims anys, de millora de les prestacions i els preus de les làmpades LED, fa que la primera opció es plantegi directament orientada a la instal·lació de làmpades LED.

\* Les tipologies d'edificis estan descrites a l'apartat 4.1.3 d'aquest document

El consum elèctric de les làmpades LED és un 85-90% inferior al consum de les làmpades convencionals d'incandescència o halògenes i aproximadament el 50% del consum de les làmpades fluorescents i fluorescents compactes. Addicionalment, la seva vida útil és més llarga, unes 5 vegades més que les fluorescents i unes 20 vegades més que les incandescents.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia i zona climàtica**

Serveix la mateixa mesura per a les diferents tipologies i zones climàtiques sempre que hi hagi el mateix nombre de lluminàries a substituir.

Taula 3.19. Dades característiques d'una instal·lació geotèrmica.

Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	No és necessari manteniment
Periodicitat de reposició	50.000 hores. Suposant un ús de 2.500 hores/any, s'haurien de reposar cada 20 anys

### **Millores d'il·luminació en zones comunes**

#### **Denominació**

Canvi de lluminàries convencionals a lluminàries LED per millorar l'eficiència de la il·luminació de zones comunes.

#### **Objectiu**

Reduir el consum elèctric degut a la il·luminació.

#### **Descripció**

Es planteja el canvi de làmpades d'incandescència i halògenes per làmpades LED, més prioritàries com més hores diàries es facin servir.

#### **Punts forts**

Aquesta mesura és especialment útil en pàrquings i zones comunes en què les lluminàries estan enceses 24 hores al dia, perquè l'estalvi pot ser molt important.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia i zona climàtica**

Serveix la mateixa mesura per a les diferents tipologies i zones sempre que hi hagi el mateix nombre de lluminàries a substituir.

Taula 3.20. Dades característiques d'una instal·lació d'enllumenat amb LED.

Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	No és necessari manteniment, només substituir les lluminàries quan s'espatllin
Periodicitat de reposició	50.000 hores  Suposant un ús de 4.380 hores/any (12 hores/dia), s'haurien de reposar cada 11 anys. Si fos de 8 hores/dia, s'haurien de reposar cada 17 anys, i si tinguessin detectors de presència (aproximadament un ús de 3 hores/dia) s'haurien de reposar cada 45 anys.  En aquest estudi, es considera la reposició als 15 anys.

## Millores del control de la il·luminació en zones comunes

### Denominació

Instal·lació de sistemes de gestió i control per millorar l'eficiència de la il·luminació de zones comunes.

### Objectiu

Reduir el consum elèctric degut a la il·luminació.

### Descripció

Les actuacions principals són:

- Incorporació de detectors de presència o temporitzadors en les zones de pas per evitar consums innecessaris quan no hi ha persones en aquell espai (escales, ascensors, aparcaments, etc.).
- Millora del control de la il·luminació per l'aprofitament de la llum natural: sensors de llum natural, controls on-off o progressius.



Imatge amb detectors de presència.

### Punts forts i punts febles

En el cas de canviar les lluminàries i posar làmpades LED és probable que ja no tingui sentit des d'un punt de vista cost-benefici incorporar els detectors de presència o temporitzadors, especialment si cal passar cables, fer regates, etc. En aquest cas la instal·lació pot presentar un cost força elevat, que habitualment no es veu compensat per l'estalvi energètic a causa del baix consum de les làmpades LED.

De tota manera, en els darrers anys s'han instal·lat molts d'aquests equips en zones comunes i per això es conserva la mesura.

Darrerament alguns fabricants disposen de solucions que incorporen lluminàries LED amb detectors de presència integrats.

### Característiques concretes de la mesura per tipologia i zona climàtica

Incorporació de temporitzadors de la il·luminació en les zones comunes de l'edifici. Serveix la mateixa mesura per a les diferents tipologies i zones sempre que hi hagi el mateix nombre de lluminàries a substituir.

Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	No és necessari manteniment, però sí reposició cada 5 anys.
Periodicitat de reposició	5 anys

Taula 3.21. Dades característiques de detectors de presència.



### 3.3.7. Millores en equips

#### Electrodomèstics d'elevada eficiència

##### Denominació

Compra i ús d'electrodomèstics d'elevada eficiència (pas de classe A a classe A+++).

##### Objectiu

Reduir el consum energètic dels electrodomèstics de l'habitatge.

##### Descripció

Els electrodomèstics de millor qualificació energètica consumeixen menys energia i aigua en fase d'ús però a més redueixen el consum d'energia del procés de fabricació. Alguns exemples de la reducció de consum energètic dels electrodomèstics de classe A+++ respecte dels de classe A són:

- Neveres: 60% d'estalvi d'electricitat
- Rentavaixelles domèstics: 37% d'estalvi elèctric
- Rentadores: 32% d'estalvi elèctric
- Assecadores: 50% d'estalvi elèctric (tot i que no s'ha considerat en la mesura de canvi d'equips ja que no tots els habitatges en disposen)

##### Punts forts i punts febles

L'IDAE i les comunitats autònomes ja han fet campanyes de conscienciació i impuls dels electrodomèstics de classe energètica més elevada.

##### Característiques concretes de la mesura per tipologia i zona climàtica

###### Tipologies A a I:

Les zones climàtiques no afecten les característiques dels electrodomèstics.

Taula 3.22. Dades característiques de costos i durabilitat d'electrodomèstics d'alta eficiència.

Costos d'inversió i manteniment	Recollits al document principal
Periodicitat del manteniment	1 cop l'any
Periodicitat de reposició	15 anys

#### Pas de vitroceràmica a inducció

##### Denominació

Substitució de cuines de resistència elèctrica o vitroceràmica per inducció.

##### Objectiu

Reduir el consum energètic dels equips de cuina de l'habitatge.

##### Descripció

Les cuines de resistència elèctrica de vitroceràmica funcionen mitjançant una resistència elèctrica que escalfa un cristall ceràmic que al seu torn transmet la calor al recipient que es vol escalfar.

Les cuines d'inducció utilitzen camps magnètics per escalfar el recipient directament, sense necessitat d'escalfar el cristall, que roman fred. La tecnologia d'inducció és molt més eficient i ràpida, ja que no ha d'escalfar el cristall intermedi sinó que escalfa directament el recipient metàl·lic de cocció, i per tant redueix el consum energètic. A més, deixa de funcionar automàticament quan no detecta el recipient.

### **Punts forts i punts febles**

Les cuines d'inducció són el doble de cares, però donada la disminució de consum que proporcionen (15-20%) i que escalfen els aliments el doble de ràpid, poden considerar-se una bona mesura d'estalvi. A més, són més segures, ja que la superfície dels fogons no s'escalfa i no crema.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia i zona climàtica**

#### **Tipologies A a I:**

Les zones climàtiques no afecten les característiques dels electrodomèstics.

Costos d'inversió i manteniment	No considerat en les mesures finalment incloses a l'estudi
Periodicitat del manteniment	1 cop l'any
Periodicitat de reposició	15 anys

Taula 3.23. Dades característiques de costos i durabilitat de cuina d'inducció.

### **3.3.8. Mesures de gestió**

#### **Sistema domòtic**

##### **Denominació**

Instal·lació d'un sistema integrat de control domòtic.

##### **Objectiu**

Reduir el consum energètic de l'habitatge i millorar-ne el confort.

##### **Descripció**

En cada habitatge, els punts d'il·luminació principals estan connectats mitjançant connectors on/off de l'estàndard KNX. Pel que fa a la climatització es disposa de dues zones diferenciades, la zona de dia (zones comunes i públiques de l'habitatge) i la zona de nit (zones privades o habitacions), que disposaran de termòstats independents. Les persianes també aniran connectades al sistema domòtic KNX per tal de regular-les al més adequadament possible. A més, el sistema disposarà de 2 estats específics: estat nit i estat sortida de casa. En l'estat nit, el sistema apagarà els punts de llum de la zona diürna, es tancaran les persianes i es canviarà els termòstats a mode nocturn. En l'estat sortida de casa el sistema apagarà els llums i abaixarà les persianes.

Imatge de termòstat i de sistema de control d'habitatge.

Font: SOMFY



### **Punts forts i punts febles**

Reduir la temperatura de consigna en 1°C redueix el consum energètic de climatització de l'estança en un 5-6%.

### **Característiques concretes de la mesura per tipologia i zona climàtica**

#### **Tipologies A, B, C i D:**

Les zones climàtiques no afecten el sistema domòtic a instal·lar, però sí que es diferencia entre les tipologies unifamiliars i plurifamiliars.

#### **Tipologies E, G, H i I:**

En els edificis plurifamiliars, a més, la il·luminació de les zones comunes està controlada pel sistema domòtic de l'edifici mitjançant sensors de presència i sensors d'il·luminació natural.

#### **Tipologia F:**

En els edificis amb caldera col·lectiva el sistema permetrà el control remot de la sala de calderes

Taula 3.24. Dades característiques de costos i durabilitat de sistema de control.

Costos d'inversió i manteniment	No considerat en les mesures finalment incloses a l'estudi
Periodicitat del manteniment	1 cop l'any
Periodicitat de reposició	10 anys

**Nota:** No s'inclouen fitxes dels paquets de mesura, ja que són agregacions de les mesures anteriors, ja exposades en els apartats previs corresponents.



## 4. Estudi sobre la rendibilitat econòmica i idoneïtat de diferents tecnologies energèticament eficients a diferents tipologies d'edificis del sector residencial

### 4.1. Introducció i metodologia

#### 4.1.1. Objectius i abast

L'estudi sobre la rendibilitat econòmica i la idoneïtat tecnològica de l'aplicació de diferents mesures energèticament eficients a diferents tipologies d'edificis residencials es planteja amb els objectius següents:

- Conèixer la rendibilitat i la idoneïtat de l'aplicació de diferents mesures i tecnologies energèticament eficients o paquets per a diferents tipologies d'edificis del sector residencial i en les diferents zones climàtiques catalanes (no es compararan les tipologies d'edificis base entre elles).
- Conèixer quines mesures i paquets permeten millorar la qualificació energètica de l'edifici en funció de la tipologia i la zona climàtica.
- Orientar els propietaris dels edificis i habitatges a l'hora d'emprendre mesures de rehabilitació energètica, sigui quina sigui la zona climàtica de l'edifici.
- Promoure la rehabilitació energètica com a eina per reactivar el sector de la construcció, detectar les barreres econòmiques i les solucions financeres aplicables.
- Posar a disposició de l'Administració una eina per quantificar els estalvis globals aconseguits mitjançant la rehabilitació energètica del sector residencial tant en els projectes ja implantats (subvencions de canvi de calderes, finestres, etc.) com en els que es faran en el futur (quant a planificació i valoració de polítiques a promoure en el futur).
- Posar a disposició de l'Administració un llistat dels actors del mercat de la rehabilitació energètica segons cada tecnologia.

#### 4.1.2. Revalorització del patrimoni immobiliari

Un dels aspectes que no està inclòs en les valoracions econòmiques que s'han realitzat en aquest estudi és l'impacte de la revalorització dels edificis o habitatges després de realitzar una rehabilitació energètica.

El benefici més visible d'una rehabilitació és l'estalvi energètic i econòmic, que sovint aconsegueix que algunes inversions es puguin recuperar en períodes d'amortització inferiors als 10 anys i, fins i tot, inferiors als 4 anys en el cas de les instal·lacions.

Cal destacar i tenir ben present que hi ha uns altres beneficis que, malgrat que són més difícils de quantificar econòmicament, poden ser determinants a l'hora de decidir realitzar una rehabilitació energètica:

- Millora del confort tèrmic
- Reducció de les molèsties per temes acústics
- Protecció passiva contra incendis
- Millora ambiental i de la qualitat de l'aire
- Millora de la qualitat de vida i reducció del nivell estrès
- Revaloració i més vida útil dels edificis o habitatges

Hi ha evidències que la revalorització econòmica dels immobles significa un gran benefici econòmic en els projectes de rehabilitació perquè augmenta el valor real de l'immoble. Malauradament, a Catalunya encara no hi ha suficients dades, ni un espai temporal per valorar l'impacte econòmic de les rehabilitacions realitzades, per poder dur a terme un estudi coherent sobre aquest aspecte, ja que l'obligació de la certificació d'eficiència energètica dels edificis es va publicar al juny del 2013 (RD 235/2013).

Tot i això, a les dues taules següents es pot apreciar el resultat d'un estudi dut a terme pel Departament d'Energia i Canvi Climàtic (DECC) d'Anglaterra que va tenir en compte més de 300.000 vendes de propietats a Anglaterra entre 1995 i 2011 (<https://www.gov.uk/government/news/energy-saving-measures-boost-house-prices>). En l'estudi es pot observar que l'eficiència energètica és un factor clau a l'hora de determinar el preu de venda dels habitatges residencials a Anglaterra.

Per a un habitatge mitjà, millorar la qualificació energètica de la lletra G a la E, o de la D a la B, podria significar un increment de més de 22.190 € en el preu de venda de la propietat. Al nord-est d'Anglaterra, la millora de l'eficiència energètica de la qualificació G a la E podria significar un augment de més de 34.670 €. El valor mitjà d'augment és de 31.897 €.

En resum, es pot comprovar que, en el cas d'Anglaterra, les millores en estalvi energètic fan augmentar el valor patrimonial de l'immoble entre un 14 i un 38%.

Estudi dut a terme pel Departament d'Energia i Canvi Climàtic (DECC) d'Anglaterra que va tenir en compte més de 300.000 vendes de propietats a Anglaterra entre 1995 i 2011.

Taula 4.1. Augment de la valorització dels immobles en relació a la millora de la qualificació energètica.

	EPC D to B	EPC G to E
England average	£16,009	£16,701
North East	£19,265	£25,355
North West	£12,979	£23,155
Yorkshire & Humberside	£15,945	£17,298
East Midlands	£10,936	£10,177
West Midlands	£16,882	£9,282
East of England	n/a <sup>1</sup>	n/a <sup>1</sup>
South East	n/a <sup>1</sup>	n/a <sup>1</sup>
South West	£16,342	£8,026
London	£1,100	£41,808

<sup>1</sup> El resultat no és estadísticament significatiu a nivell regional. Tots els altres resultats tenen un nivell de confiança d'entre un 95% i un 99,9%.

	EPC A/B	EPC C	EPC D	EPC E	EPC F
England average	14%	10%	8%	7%	6%
North East	38%	26%	23%	20%	15%
North West	27%	21%	18%	16%	12%
Yorkshire & Humberside	24%	16%	14%	12%	9%
East Midlands	16%	11%	7%	5%	3%
West Midlands	17%	10%	7%	5%	5%
East of England	7%	5%	n/a <sup>2</sup>	n/a <sup>2</sup>	4%
London	12%	12%	12%	11%	10%
South East	n/a <sup>2</sup>	n/a <sup>2</sup>	n/a <sup>2</sup>	n/a <sup>2</sup>	n/a <sup>2</sup>
South West	12%	7%	4%	4%	3%

Estudi dut a terme pel Departament d'Energia i Canvi Climàtic (DECC) d'Anglaterra que va tenir en compte més de 300.000 vendes de propietats a Anglaterra entre 1995 i 2011.

Taula 4.2. Augment en percentatge de la valorització dels immobles en relació a la millora de la qualificació energètica.

De la mateixa manera, un estudi similar dut a terme per SBI 2013:06 (Danish Research Institute) va arribar als següents resultats:

Augment del preu per superfície (€/m <sup>2</sup> )					
Qualificació energètica	de G	de F	de E	de D	de C
a -> A o B	451	327	220	112	6
a -> C	445	321	214	106	
a -> D	339	215	108		
a -> E	231	107			
a -> F	124				

Estudi dut a terme per SBI 2013:06 (Danish Research Institute).

Taula 4.3. Augment de la valorització dels immobles en relació a la millora de la qualificació energètica.

Per tant, un edifici que fes una rehabilitació energètica que impliqués una millora de la seva qualificació d'eficiència energètica d'una F a una D obtindria una millora de 215 €/m<sup>2</sup>.

### 4.1.3. Selecció dels edificis base

#### 4.1.3.1. Tria de les tipologies edificatòries

S'utilitzen les 9 tipologies d'habitatge principal recollides en el projecte Caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya i definició de les tipologies més representatives, així com el paquet de mesures òptimes per a la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica, de l'Agència de l'Habitatge de Catalunya i a l'Estudi Ramon Folch realitzat durant els anys 2013 i 2014 en el marc del projecte europeu MARIE i els plànols d'edificis reals associats a cadascuna de les tipologies.

<sup>2</sup> El resultat no és estadísticament significatiu a nivell regional. Tots els altres resultats tenen un nivell de confiança d'entre un 95% i un 99,9%.

Aquestes tipologies són les recollides a la taula 4.4:

Taula 4.4. Tipologies d'habitatge i representativitat en el parc d'habitatges principals de Catalunya (estimació 2011)

Tipologia	Descripció	Representativitat
A	Unifamiliar d'abans de 1951	4,72%
B	Unifamiliar entre 1951 i 1980	6,48%
C	Unifamiliar entre 1981 i 1990	3,34%
D	Unifamiliar posterior a 1990	8,99%
E	Plurifamiliar d'abans de 1951	13,20%
F	Plurifamiliar entre 1951 i 1980 amb caldera col·lectiva	2,30%
G	Plurifamiliar entre 1951 i 1980 sense caldera col·lectiva	38,7%
H	Plurifamiliar entre 1981 i 1990	4,49%
I	Plurifamiliar posterior a 1990	17,34%

**Font:** Projecte de Caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya i definició de les tipologies més representatives, així com el paquet de mesures òptimes per a la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica. Agència Habitatge de Catalunya (AHC i ERF, 2014- Projecte MARIE).

A banda, el treball de camp fet en el marc del projecte esmentat (a partir de 900 enquestes a habitatges reals) va permetre també determinar altres característiques majoritàries en cadascuna de les tipologies, com el tipus d'instal·lacions i equips i el seu ús, el nombre d'habitants, els seus consums, etc., que també es prendran en consideració.

De tota manera, finalment s'ha decidit que algunes solucions dels edificis base siguin les més desfavorables i no les majoritàries del treball de camp, per tal que se'n pugui valorar la millora (vegeu document annex Caracterització de les tipologies dels edificis base). Aquestes són:

- **Tipologia de vidre escollida:** Només disposen de doble envidrament aïllant tèrmic 4/6/4 i fusteries noves les finestres de les tipologies posteriors a 1980, tipologies C, D, H i I. En les altres s'hi incorporen vidres simples.
- **Caldera de més de 10 anys:** Tot i que segons el treball de camp hi ha tipologies on gran part dels habitatges han canviat la caldera en els últims 10 anys, això no es considera en els edificis base.

Finalment es realitzen una sèrie d'ajustos necessaris per fer les simulacions CE3X. Les fitxes que s'incorporen a l'annex 2 contenen les dades de caracterització de cadascuna de les tipologies d'habitatge escollides com a edificis base. Seguidament es detallen els ajustos fets en cadascuna de les temàtiques de les fitxes esmentades.

### **Característiques generals**

L'aplicació CE3X utilitza la dada “superfície útil habitable”, que correspon a l'envolupant tèrmica. A més, en el CE3X s'afegeix l'alçada lliure i dels murs i la massa de les particions, a partir d'una de les 3 opcions que ofereix l'aplicació: lleugera ( $< 200 \text{ kg/m}^2$  en planta), mitjana ( $200\text{-}500 \text{ kg/m}^2$ ) o pesada ( $> 500 \text{ kg/m}^2$ ).

Pel que fa a l'orientació dels edificis, es parteix de l'orientació real del plànol de cadascun dels edificis base de les tipologies.

### **Característiques de l'envolupant**

Es van definir les característiques tipològiques a partir del criteri expert i d'estudis previs, ja que el treball de camp no podia determinar la composició dels tancaments sense fer cales. Finalment els valors dels materials s'han ajustat a les característiques i opcions existents en les simulacions CE3X.

En el cas de les mitgeres, el CE3X només demana el pes: lleugera ( $< 200 \text{ kg/m}^2$ ), o pesada ( $> 200 \text{ kg/m}^2$ ), no les característiques dels seus materials. En el CE3X les particions interiors (envans i forjats interiors) no es defineixen, només s'indica la massa de les particions, ja comentada anteriorment. Els forjats que separen espais no habitables dels habitables es defineixen amb la transmitància tèrmica de la partició, el coeficient de reducció de la temperatura (coeficient b).

La solera es defineix en el CE3X amb la transmitància tèrmica, calculada segons la profunditat i el perímetre exterior, i només s'utilitza en els edificis unifamiliars que estan en contacte amb el terreny, no en els plurifamiliars, perquè hi ha locals comercials a planta baixa que no es tenen en compte en la simulació CE3X.

### **Característiques dels sistemes energètics actius i de l'equipament**

A partir del treball de camp es defineixen les característiques majoritàries dels sistemes energètics actius de l'habitatge, la font energètica majoritària i els equips de consum per a cada tipologia. En concret disposen de caldera de gasoil les tipologies A, B i C, i la resta disposen de caldera de gas natural, d'acord amb els resultats majoritaris del treball de camp.

Alguns paràmetres no s'han pogut analitzar en el treball de camp i han estat escollits segons estudis previs. Aquests paràmetres són:

- Potència dels equips (caldera, equip de refrigeració, electrodomèstics, etc.)
- Rendiment dels equips
- Periodicitat del manteniment

En el CE3X hi ha dues maneres d'entrar les dades de la caldera; una primera, si el rendiment estacional és conegut, i l'altra, si s'estima en funció del tipus de caldera. Es considera per a tots ells el rendiment de les calderes corresponents a l'any de construcció de l'edifici (vegeu taula 4.6). En aquest cas, es posa el rendiment estacional de les calderes. Pels equips de refrigeració, l'aplicació CE3X necessita el rendiment nominal de l'equip i els anys d'antiguitat.

En la refrigeració, el programa CE3X considera que el 100% de l'habitatge es refriegera si hi ha demanda de refrigeració, fins i tot quan s'indica que l'habitatge no té equips de refrigeració. Per aquest motiu, en el cas que no hi hagi equip de refrigeració



a l'habitatge, en el càlcul de l'energia final total es restarà el consum de refrigeració que resulta del programa i es deixarà tal com s'obté en la simulació el càlcul d'energia primària i de la qualificació energètica.

Les demandes de refrigeració en general són molt baixes amb l'aplicació CE3X a causa de dos motius: les temperatures elevades d'estiu tenen una durada molt més curta que les temperatures baixes d'hivern i es considera que els habitatges estan buits al migdia, l'horari en què fa més calor, i per tant no hi ha demanda en els moments més calorosos. A més a més, en les zones climàtiques de severitat d'estiu menys intensa (D1, E1) l'aplicació considera que no hi ha demanda de refrigeració en cap moment.

D'altra banda, tot i que només es refrigerin una o dues sales (menjador i habitació principal, generalment), el programa CE3X considera que a la resta d'estances climatitzades també hi ha refrigeració amb un equip per defecte, que té un rendiment energètic baix. Per aquest motiu s'ha decidit que en els habitatges on hi ha algun equip de refrigeració s'introdueixi en l'aplicació la refrigeració de tot l'habitatge, de manera que es fixi el mateix rendiment a totes les sales.

En el cas de l'ACS, el consum es determina en funció del nombre de persones de l'habitatge, calculat a partir de la mitjana del treball de camp per a cadascuna de les tipologies, i els litres de consum per persona i dia del CTE.

Les dades dels termòstats, airejadors de cabal de l'ACS, electrodomèstics, il·luminació, etc. no se simulen mitjançant l'eina CE3X, però es deixen en les fitxes, per tal de no perdre la informació de les tipologies i poder estimar els consums totals. La potència total dels electrodomèstics correspon al sumatori de les potències de tots els electrodomèstics, i supera la potència elèctrica contractada, ja que no tots els electrodomèstics es connecten en el mateix moment.

El treball de camp va servir per determinar que la captació solar tèrmica no és significativa en cap de les tipologies (màxim el 17% d'habitatges en la tipologia D), per la qual cosa no s'ha inclòs en cap de les tipologies dels edificis base. Tampoc no s'han detectat de forma significativa altres captacions d'energies renovables, per la qual cosa també s'han descartat en les tipologies definitives.

### **Característiques dels usuaris i hàbits**

El treball de camp ha servit per definir les característiques i hàbits dels usuaris dels habitatges. Especialment rellevant és el nombre d'habitants de l'habitatge, que serveix per exemple per determinar les necessitats d'ACS i ventilació.

Per aquest motiu s'ha comparat el nombre de dormitoris, i per tant de persones, previstos en els plànols de cada tipologia, amb el nombre d'ocupants mitjà del treball de camp. Es constata que les mitjanes de membres de la llar resultants del treball de camp són menors que el nombre màxim de persones previstes als plànols. Es considera més convenient utilitzar el nombre de membres real de l'habitatge (mitjana del treball de camp) que no el nombre màxim que hi podria tenir cabuda (valor dels plànols).

Taula 4.5. Comparativa del nombre d'habitants dels plànols i del treball de camp<sup>2</sup>

Tipologies	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nombre d'habitacions dels plànols	5	4	3	3	3 a 5	3	3	4	3
Estimació del nombre de persones dels plànols	6	5	4	4	4 o 6	4	4	5	4
Nombre mitjà de membres de la llar extret del treball de camp	2,7	2,9	3,3	3,7	2,6	2,4	3	2,9	3,1

#### Notes:

- Se suposa que hi haurà una habitació de matrimoni en cada habitatge i que el nombre màxim de membres de la llar dels plànols és el nombre d'habitacions més un.
- En els plànols de les tipologies A, B i C no s'indicava quina era la utilitat de cada estança, per la qual cosa podria ser que alguna habitació més petita fos un lavabo o un traster.
- En la tipologia E hi ha una gran diferència entre habitatges, alguns amb només 3 habitacions i d'altres amb 5.

En l'ús de les proteccions solars (persianes), l'aplicació CE3X considera que el 30% estan abaixades de dia i de nit, estiu i hivern, de manera que enfosqueixen la superfície i això afecta el factor solar, però no la transmitància global del buit.

En el cas de la tipologia F, caldera centralitzada col·lectiva, s'ha decidit que l'edifici base consti de tres escales de 10 veïns cadascuna, ja que en general les calderes col·lectives existeixen en comunitats de veïns força grans (en el treball de camp resultaven 25 veïns de mitjana).

#### Mesures de renovació energètica aplicades

S'ha de remarcar que en l'enquesta del treball de camp preguntava per les actuacions de millora energètica executades en els últims 10 anys (canvi de vidres, calderes, etc.), però finalment no s'ha considerat en les tipologies de base, ja que interessava disposar de les característiques més desfavorables per calcular els resultats de l'aplicació de les mesures d'eficiència energètica analitzades.

<sup>2</sup> Recordatori de la tipologia i descripció:

A - Unifamiliar abans 1951; B - Unifamiliar 1951 -1980; C - Unifamiliar 1981-1990; D - Unifamiliar posterior 1990; E - Plurifamiliar abans 1951; F - Plurifamiliar 1951-1980 (caldera col·lectiva); G - Plurifamiliar 1951- 1980 (sense caldera col·lectiva); H - Plurifamiliar 1981- 1990; I - Plurifamiliar posterior 1990

La taula 4.6. resumeix les característiques principals de les tipologies escollides, en general a partir dels plànols dels edificis escollits, comparat amb els valors mitjans del treball de camp (mostrats entre parèntesis):

Tip.	Període constructiu	Representativitat	Nombre plantes plànols (vs TC)	Nombre d'habitatges per planta plànols (vs TC)	Nombre d'habitatges per edifici plànols (vs TC)	Superfície útil (m <sup>2</sup> )	Rang de superfície majoritària treball de camp	Vidres escollits (vs proporció de doble vidre del TC)	Tipus de calefacció escollida (és la majoritària al TC)	Rendiment estacional de la caldera	Proporció de refrigeració fix TC
A	< 1950	4,72%	PB+1 (2,4)	-	1	96,0	51% 100-200 m <sup>2</sup>	Simple 4 mm (70%)	Caldera de gasoil	70%	27%
B	1951-1980	6,48%	PB+1 (2,1)	-	1	75,4	59% 100-200 m <sup>2</sup>	Simple 4 mm (62%)	Caldera de gasoil	70%	39%
C	1981-1990	3,34%	PB+1 (2,3)	-	1	88,6	58% 100-200 m <sup>2</sup>	Doble 4/6/4 (76%)	Caldera de gasoil	70%	54%
D	1991-2011	8,99%	PB+2 (2,7)	-	1	180,7	63% 100-200 m <sup>2</sup>	Doble 4/12/4 (88%)	Caldera de gas natural	70%	48%
E	< 1950	13,20%	PB+4 (5,7)	2 (2,5)	9 (15)	59	50% 60-100 m <sup>2</sup>	Simple 4 mm (55%)	Caldera de gas natural	70%	40%
F	1951-1980	2,30%	PB+5 (8)	2 (3)	10 (25) => S'es-cullen 30 habitatges en 3 escales	76	51% 100-200 m <sup>2</sup>	Simple 4 mm (47%)	Caldera col·lectiva de gas natural	55%	55%
G	1951-1980	38,70%	PB+5 (6,2)	2 (3)	10 (20)	76	66% 60-100 m <sup>2</sup>	Simple 4 mm (55%)	Caldera de gas natural	70%	38%
H	1981-1990	4,49%	PB+5 (6,1)	4 (3,3)	20 (20)	87	60% 60-100 m <sup>2</sup>	Doble 4/6/4 (71%)	Caldera de gas natural	70%	54%
I	1991-2011	17,34%	PB+3 (4,4)	4 (3)	12 (14)	96	55% 60-100 m <sup>2</sup>	Doble 4/12/4 (78%)	Caldera de gas natural	70%	61%

Taula 4.6. Resum de caracterització de les tipologies d'acord amb els plànols definitius i el treball de camp (mitjanes del TC entre parèntesis)

**Nota:** Tots els edificis són entre mitgeres (majoritari del TC per a totes les tipologies).

**Font:** Estudi de caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya. Definició de les tipologies més representatives, així com els paquets de mesures òptimes per a la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica, (AHC i ERF, 2014- Projecte MARIE).

Amb aquestes dades es calculen els consums d'energia final dels edificis base de cadascuna de les tipologies d'habitatges definides. S'utilitza l'eina de qualificació energètica CE3X per calcular els consums tèrmics (ACS, calefacció i refrigeració) i valors estadístics, treballs previs i criteri expert per estimar els consums d'il·luminació i equips en habitatges, i il·luminació en zones comunes d'edificis plurifamiliars (valor únic independentment de la tipologia). Els valors escollits són:

- Consum d'il·luminació dels habitatges: 9,75 kWh/m<sup>2</sup>·any
- Consum d'equips i electrodomèstics de la llar: 29,25 kWh/m<sup>2</sup>·any
- Consum de zones comunes: 6,6 kWh/m<sup>2</sup>·habitatge any

D'altra banda, no s'ha pogut fer la comparació dels consums d'energia primària (d'ACS, calefacció i refrigeració) resultat de les simulacions efectuades amb els valors mitjans resultants dels més de 350.000 registres de certificacions energètiques d'edificis existents que disposa l'ICAEN (any 2014), a causa principalment de la diferència de paràmetres interns de les versions del CE3X utilitzades. Tot i així, d'acord amb l'experiència, es considera que d'algunes tipologies en resultava una qualificació energètica massa bona, per la qual cosa s'ha decidit canviar l'orientació dels edificis d'algunes tipologies (concretament, l'edifici de la tipologia D s'ha girat 90° a la dreta i l'edifici de la C s'ha girat 180°). La resta de tipologies s'han mantingut tal com estan en els plànols originals.

#### 4.1.3.2. Tria de zones climàtiques

El nou Document Base HE1 del CTE (de setembre de 2013) aplica algunes modificacions a la distribució de les zones climàtiques, i en el cas de Catalunya això afecta, p.ex., el fet que la ciutat de Girona passi a ser zona D2 en lloc de C2 (com establia el document HE1 del CTE de 2006).

La taula següent detalla la distribució d'habitatges per a les zones climàtiques de les tipologies recollides al projecte.

	A	B	C	D	E	F, G	H	I
B3	6.773	10.900	5.605	7.489	6.958	21.987	5.569	10.557
C2	53.534	86.799	47.869	53.991	280.463	903.357	81.234	138.374
C3	14.903	13.672	7.388	9.561	17.135	52.689	10.013	14.694
D1	8.237	10.702	5.604	4.586	10.305	15.997	3.246	4.876
D2	19.399	34.689	16.013	20.340	26.836	75.467	13.592	22.970
D3	18.031	14.744	5.977	7.266	10.808	37.499	6.414	9.943
E1	7.533	4.937	2.343	2.579	6.992	10.353	2.246	2.904
Total	128.410	176.443	90.799	105.812	359.497	1.117.349	122.314	204.318

Taula 4.7. Nombre d'habitatges principals de cada tipologia segons la zona climàtica fixada en el document DB-HE del CTE 2013.

**Nota:** Calculat d'acord amb les dades del cens d'habitatge 2001.

**Font:** Agència d'Habitatge de Catalunya (AHC).

Taula 4.8. Proporció d'habitatges principals de cada tipologia segons la zona climàtica fixada al CTE 2013 (proporcions respecte el total d'habitatges principals unifamiliars i plurifamiliars).

	Unifamiliars	Plurifamiliars
B3	6,14%	2,50%
C2	48,30%	77,82%
C3	9,08%	5,24%
D1	5,81%	1,91%
D2	18,04%	7,70%
D3	9,18%	3,59%
E1	3,47%	1,25%
Total	100,00%	100,00%

Tot i que segons aquests resultats de representativitat podria ser innecessari analitzar l'aplicació de les mesures d'eficiència energètica en totes les zones climàtiques, es creu interessant recollir els efectes sobre alguns municipis amb temperatures d'hivern més baixes (per exemple, E1, climes de muntanya) on les rendibilitats de les mesures de millora tèrmica poden ser més grans i és més fàcil promoure inversions d'eficiència energètica. Per aquest motiu s'analitzen les mesures d'eficiència en totes les zones climàtiques excepte en la zona C3, ja que aquesta última és idèntica a la C2 quant a la demanda de calefacció i la diferència quant a demanda de refrigeració és petita.

S'escull un municipi de referència representatiu de cadascuna de les zones climàtiques analitzades (vegeu Taula 4.9).

Taula 4.9. Municipis de referència de cada zona climàtica (segons el nou DB-HE1 del CTE 2013).

Zona climàtica	Municipi de referència
B3	Tarragona
C2	Barcelona
D1	Vic
D2	Girona
D3	Lleida
E1	Ripoll

#### 4.1.3.3. Ajust dels edificis base per zona climàtica

Amb les tipologies base definides per a la zona climàtica C2 s'ha fet un ajust en el valor de la permeabilitat dels marcs de les finestres en funció de les diferències constructives que marcava la normativa NBE CT 79 i les necessitats del programa de simulació CE3X per a les diferents zones climàtiques (vegeu detall dels canvis en l'annex 2 Caracterització de les tipologies edificatòries). Aquest ajust és el següent:

Zones climàtiques CTE 2013	Municipi de referència	Zones climàtiques NBECT 79	Permeabilitat límit de la fusteria (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h) a 10 mmca (100Pa)	
B3	Tarragona	B	Classe A1	50
C2	Barcelona	B	Classe A1	50
D1	Vic	B	Classe A2	50
D2	Girona	C	Classe A2	20
D3	Lleida	C	Classe A2	20
E1	Ripoll	E	Classe A2	20

Taula 4.10. Permeabilitat de les fusteries per zones climàtiques segons la norma NBE CT 79.

En l'Annex 1 es presenten els principals resultats de les simulacions CE3X dels edificis base per a les diferents zones climàtiques.

#### 4.1.4. Selecció de les mesures d'eficiència energètica

Tipus de mesura	Tipologia de mesura	Categories del plec
Mesures passives	Aïllament de façana	Instal·lació d'aïllament per l'exterior: EPS, llana mineral, PUR, XPS, suro expandit, etc.
		Instal·lació d'aïllament de la façana per l'interior
		Injecció d'aïllament a la cambra d'aire, amb materials com ara cel·lulosa, poliestirè, llana mineral, etc.
	Aïllament de coberta	Instal·lació d'aïllament a la coberta
	Finestres i proteccions solars	Instal·lació de tendals, persianes i filtres solars
		Substitució de finestres amb vidre simple per vidres dobles amb ruptura de pont tèrmic (RPT)
Estanquitat	Reducció de part de les infiltracions: massilla elàstica, cintes adhesives o rivets	
Mesures actives	Instal·lacions de climatització i ACS	Bomba de calor reversible aire-aire
		Equips de climatització
		Calderes d'alta eficiència i de condensació
		Calderes de biomassa
		Instal·lació de plaques solars tèrmiques
		Geotèrmia
		Substitució de la caldera per una bomba de calor eficient i un equip termoelectrònic per a l'ACS
	Il·luminació	Substitució de làmpades convencionals per tecnologia d'alta eficiència o LED
		Sistema de control de l'enllumenat
	Electrodomèstics	Millores en electrodomèstics i cuines
Mesures de gestió	Altres	Sistema de gestió energètica / domòtica

Taula 4.11. Detall de les categories de les mesures d'eficiència energètica.

Primerament, s'han analitzat les diferents categories llistades a la taula 4.11, per tal de determinar quines mesures s'havien d'analitzar definitivament en l'estudi.

La selecció de les mesures d'eficiència energètica a analitzar en detall es fa a partir del criteri expert dels autors, de l'experiència de diversos instal·ladors i experts consultats, de les necessitats de l'ICAEN i dels resultats del treball de camp esmentat. Es planteja concentrar els esforços en aquelles mesures que ja s'estiguin aplicant o es puguin aplicar en un futur proper a una magnitud mínimament significativa del parc d'habitatges, i descartar aquelles que no es podran aplicar de forma significativa.

La justificació de la selecció de mesures a analitzar es detalla a les taules 4.13 i 4.14.

A la taula 4.12 es remarca la disposició a efectuar inversions dels habitants de les diferents tipologies d'habitatge. Els més disposats són els de les tipologies D i I (on més del 60% dels enquestats estarien disposats a fer inversions). Els principals resultats són:

- Disposats a invertir més de 3.000 €:
  - Tipologia A: 13% dels enquestats
  - Tipologia D: 12% dels enquestats
- Disposats a invertir entre 1.000 i 3.000 €:
  - Tipologia D: 30% dels enquestats
  - Tipologies C i G: 14 i 15% dels enquestats, respectivament
- Disposats a invertir menys de 1.000 €:
  - Tipologia I: 37% dels enquestats
  - Tipologies D i G: 21% dels enquestats

Taula 4.12. Resum de resultats d'inversió disposada pels habitants de cadascuna de les tipologies del projecte.

Tipologies	Disposats a invertir	Inversió màxima dels disposats a invertir				Inversió màxima del total d'enquestats		
		Menys de 1.000 €	Entre 1.000 i 3.000 €	Més de 3.000 €	NS/NC	Menys de 1.000 €	Entre 1.000 i 3.000 €	Més de 3.000€
A	39%	23%	20%	33%	24%	9%	8%	13%
B	21%	52%	3%	16%	29%	11%	1%	3%
C	40%	41%	34%	0%	26%	16%	14%	0%
D	74%	28%	40%	16%	17%	21%	30%	12%
E	41%	47%	18%	2%	34%	19%	7%	1%
F	22%	23%	10%	4%	63%	5%	2%	1%
G	47%	45%	32%	5%	18%	21%	15%	2%
H	36%	48%	21%	15%	16%	17%	8%	5%
I	58%	64%	15%	9%	12%	37%	9%	5%

Tipologia d'habitatge en què els enquestats estan més disposats a invertir.

Inversió màxima que la majoria d'habitants de cada tipologia estan disposats a realitzar.

**Font:** Estudi de caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya. Definició de les tipologies més representatives, així com els paquets de mesures òptimes per a la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica, (AHC i ERF, 2014- Projecte MARIE).

#### 4.1.4.1. Mesures passives

La taula 4.13 resumeix la justificació de la selecció de mesures passives:

Taula 4.13. Mesures passives seleccionades.

Grup	Subgrup	Mesura	Selecció	Justificació
Instal·lació d'aïllament per l'exterior de la façana		Poliestirè expandit EPS de 6, 8, 10 o 12 cm	Sí	És l'opció que presenta un cost més ajustat i és molt comú i utilitzat.
		Poliestirè extrudit XPS de 6, 8, 10 o 12 cm	Sí	És l'opció que presenta una conductivitat tèrmica més bona.
		Escuma de poliuretà PUR de 6, 8, 10 o 12 cm	No	Es descarta per l'exterior perquè és una escuma amb poca consistència, que no té una textura llisa i no és impermeable, i xuclaria l'aigua al posar el morter per sobre. A més, té baixes prestacions contra incendis.
		Llana mineral de 6, 8, 10 o 12 cm	Sí	S'incorpora. Tot i que és més cara, és incombustible i darrerament hi ha solucions més rígides que proporcionen bons resultats per fer un aïllament exterior (SATE) sense fer façana ventilada.
		Suro expandit de 6, 8, 10 o 12 cm	Sí	Tot i la baixa utilització segons els instal·ladors consultats, es proposa estudiar-lo com a material de futur, renovable i de proximitat.
Instal·lació d'aïllament injectat en la cambra d'aire		Perles d'EPS grafitat de 5, 7 o 10 cm	Sí	És força utilitzat per les seves característiques tèrmiques, tot i que és de les solucions més cares.
		Llana mineral de 5, 7 o 10 cm	Sí	És força utilitzat per les seves característiques tèrmiques, i no és de les solucions més cares.
		Cel·lulosa granulada 5, 7 o 10 cm	Sí	Es proposa com a possible material renovable i de proximitat. Actualment té una baixa utilització.*
		Poliuretà injectat 5, 7 o 10 cm	Sí	És molt econòmic i se segueix col·locant, tot i que en alguns casos s'ha deixat d'utilitzar perquè no és ignífug.
		Suro granulat 5, 7 o 10 cm	Sí	Es proposa com a possible material renovable i de proximitat. Actualment té una baixa utilització.*
		Cànem granulat 5, 7 o 10 cm	No	Es descarta per l'escassa utilització real segons els instal·ladors consultats. I per ser un producte que s'ha d'importar de França.
		Llana d'ovella granulada 5, 7 o 10 cm	Sí	Es proposa com a possible material renovable i de proximitat. Actualment té una baixa utilització.*
		Cotó granulat 5, 7 o 10 cm	Sí	Es proposa com a possible material renovable i de proximitat. Actualment té una baixa utilització.*
Instal·lació d'aïllament per l'interior de la façana		EPS 5, 7 o 10 cm	Sí	Es manté tot i la dificultat de col·locació en solucions per l'interior a causa de la seva rigidesa
		Llana mineral 5, 7 o 10 cm	Sí	És el més econòmic.





Grup	Subgrup	Mesura	Selecció	Justificació
Instal·lació d'aïllament per l'interior de la façana		Cel·lulosa 5, 7 o 10 cm	Sí	Es proposa com a possible material renovable i de proximitat. Actualment té una baixa utilització.*
		Suro 5, 7 o 10 cm	Sí	Es proposa com a possible material renovable i de proximitat. Actualment té una baixa utilització.*
		Llana d'ovella 5, 7 o 10 cm	Sí	Es proposa com a possible material renovable i de proximitat. Actualment té una baixa utilització.
		Cotó 5, 7 o 10 cm	Sí	Es proposa com a possible material renovable i de proximitat. Actualment té una baixa utilització.*
Instal·lació d'aïllament a la coberta	Aïllament per l'interior	EPS 4, 6 o 8 cm	Sí	Es manté tot i ser més car.
		Llana mineral 4, 6 o 8 cm	Sí	És més econòmic.
	Aïllament per l'exterior	XPS 8, 10 o 12 cm	Sí	Només s'aplicarà en tipologies amb cobertes planes.
Aïllament de la solera		-	No	Es descarta. No forma part de la simulació de l'edifici on hi ha locals comercials en planta baixa.
Substitució de finestres amb vidre simple per doble envidrament aïllant tèrmic		Finestra de PVC amb doble envidrament aïllant tèrmic	Sí	Hi ha molts nivells de doble envidrament aïllant tèrmic, des del 4/6/4 que seria el mínim. Avui en dia s'instal·len més el 4/12/4 i el 4/16/4. S'escull una finestra amb marc de PVC i vidre 4/16/4 practicable – oscil·lobatent, ja que són més versàtils i comuns.  $U_{\text{marc}} = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i $U_{\text{vidre}} = 2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; $U_{\text{global}} = 2,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
		Finestra de PVC amb doble envidrament aïllant tèrmic i de baixa emissivitat	Sí	S'escull una finestra amb marc de PVC i vidre 4/16/4 practicable – oscil·lobatent, ja que és més versàtil i comuna.  $U_{\text{marc}} = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i $U_{\text{vidre}} = 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; $U_{\text{global}} = 1,44 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
		Finestra d'alumini amb RPT amb doble envidrament aïllant tèrmic	Sí	Ídem que l'anterior, vidre 4/12/4. A més, s'ha de considerar trencament de pont tèrmic de 6 o de 12 mm (el gruix de la junta). Es considera que les de 6 mm no ofereixen un aïllament suficient. S'escull finestra d'alumini amb trencament de pont tèrmic de 12 mm i vidre 4/12/4 practicable – oscil·lobatent.  $U_{\text{marc}} = 3,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i $U_{\text{vidre}} = 2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; $U_{\text{global}} = 2,89 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
		Finestra d'alumini amb RPT amb doble envidrament aïllant tèrmic i baix emissiu	Sí	S'escull finestra d'alumini amb trencament de pont tèrmic de 12 mm i vidre 4/16/4 practicable – oscil·lobatent.  $U_{\text{marc}} = 3,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i $U_{\text{vidre}} = 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ; $U_{\text{global}} = 1,98 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$



Grup	Subgrup	Mesura	Selecció	Justificació
Instal·lació de proteccions solars	Tendals		Si	S'escull el tendal articulat, ja que és el més utilitzat en els habitatges del parc català
	Persianes		No, però es comentarà a banda	Descartades, ja que segons el treball de camp el 95% dels habitatges ja disposen de persianes. L'aïllament de caixes de persianes és una mesura que depèn molt de l'estat de la façana en cada cas, i per això no s'ha pressupostat. A més darrerament aquesta mesura s'està executant en el moment que es fa l'aïllament de la façana opaca de forma global o quan es canvien les finestres existents per finestres monobloc que incorporen la persiana ja ben aïllada.
	Filtres solars		No, però es comentarà a banda	Descartat. No s'acostumen a col·locar en habitatges, ja que incrementen la demanda de calefacció (més rellevant que la de refrigeració). Sí que es col·loquen en grans superfícies vidriades del sector terciari (oficines, etc.).
	Cortines		No	Es descarten, ja que el seu efecte no es pot aplicar en la simulació mitjançant CE3X.
Reducció de les infiltracions		Rivets i cintes adhesives, massilla elàstica	Si	Es considera una solució combinada per reduir les infiltracions en un habitatge tipus.

La taula 4.14 resumeix les principals característiques de les mesures passives analitzades. En concret s'inclou:

- Conductivitat tèrmica de les mesures d'aïllament en funció del material escollit.
- Cost d'inversió total
- Sobrecost d'inversió de les millores de rehabilitació amb eficiència energètica respecte de les d'una rehabilitació convencional. Concretament els sobrecostos de les diferents mesures es defineixen de la següent manera:
  - Aïllament de façana per l'exterior: es descompta el cost de la bastida, acabats i altres elements de la rehabilitació convencional. Una rehabilitació convencional de façana per l'exterior inclouria el repicat i tractament de la façana actual i la col·locació d'un revestiment o morter uniformitzador abans de col·locar la pintura exterior d'acabat.
  - Aïllament de façana en la cambra d'aire: el sobrecost és el total de costos menys la pintura d'acabat, ja que només s'omple la cambra en cas de voler fer una rehabilitació energètica, i s'ha de considerar el cost dels acabats per tancar els forats fets.
  - Aïllament de façana per l'interior: el sobrecost és l'aïllament i l'extradossat, no la pintura d'acabat.

\* En les simulacions realitzades en aquest Quadern Pràctic s'han simulat certs materials per l'interès que hi podria haver en un futur tot i que actualment tenen una baixa utilització. Cal aclarir que la sostenibilitat d'aquests productes dependrà de si l'explotació agrària s'ha gestionat de manera sostenible, de l'origen de la matèria primera i dels additius necessaris per millorar-ne les qualitats.

S'incorporen additius per fer-lo més durable i evitar comportaments al foc massa desfavorables. No existeixen al mercat espanyol productes amb certificació AENOR.

- Aïllament de coberta per l'exterior: es descompta el cost de la impermeabilització, la xapa de morter, el paviment i els acabats de coberta, tot allò que seria necessari en una rehabilitació convencional de la coberta.
- Aïllament de coberta per l'interior: el sobrecost és l'aïllament i l'extradosat, no la pintura d'acabat.
- Millora de finestres: es considera que el sobrecost seria la diferència de posar una finestra amb doble envidrament aïllant tèrmic 4/16/4 respecte d'una finestra de vidre doble més senzill 4/6/4.

Taula 4.14. Detall de les mesures passives seleccionades.

Tipus de mesura	Codi	Mesura	Conductivitat tèrmica (W/m·K)	Preu unitari d'inversió (€/m <sup>2</sup> façana, coberta o buit)	Preu del sobrecost d'inversió (€/m <sup>2</sup> façana, coberta o buit)	Vida útil (anys)
Aïllament de façana per l'exterior	P1	EPS 6 cm	0,037	94,7	51,6	50
	P2	EPS 8 cm	0,037	99,6	56,6	50
	P3	EPS 10 cm	0,037	104,6	61,5	50
	P4	EPS 12 cm	0,037	109,5	66,5	50
	P5	XPS 6 cm	0,035	105,3	62,3	50
	P6	XPS 8 cm	0,035	113,8	70,8	50
	P7	XPS 10 cm	0,035	122,3	79,3	50
	P8	XPS 12 cm	0,035	130,8	87,7	50
	P9	Llana mineral 6 cm	0,037	115,3	72,3	50
	P10	Llana mineral 8 cm	0,037	123,8	80,8	50
	P11	Llana mineral 10 cm	0,037	132,3	89,3	50
	P12	Llana mineral 12 cm	0,037	140,8	97,7	50
	P13	Suro expandit 6 cm	0,04	105,4	62,3	50
	P14	Suro expandit 8 cm	0,04	113,9	70,9	50
	P15	Suro expandit 10 cm	0,04	122,4	79,4	50
	P16	Suro expandit 12 cm	0,04	130,9	87,9	50
Aïllament en la cambra d'aire	P17	EPS+grafit 5 cm	0,034	40,4	35,8	50
	P18	EPS+grafit 7 cm	0,034	52,4	47,9	50
	P19	EPS+grafit 10 cm	0,034	64,5	59,9	50
	P20	Llana mineral de 5 cm	0,037	27,5	23,0	50
	P21	Llana mineral de 7 cm	0,037	30,7	26,2	50
	P22	Llana mineral de 10 cm	0,037	33,9	29,4	50
	P23	PUR injectat 5 cm (12-18 kg/m <sup>3</sup> )	0,037	19,6	15,0	50



Tipus de mesura	Codi	Mesura	Conduc-ti-vitat tèrmica (W/m·K)	Preu unitari d'inversió (€/m <sup>2</sup> façana, coberta o buit)	Preu del sobrecost d'inversió (€/m <sup>2</sup> façana, coberta o buit)	Vida útil (anys)
Aïllament en la cambra d'aire	P24	PUR injectat 7 cm (12-18 kg/m <sup>3</sup> )	0,037	25,6	21,0	50
	P25	PUR injectat 10 cm (12-18 kg/m <sup>3</sup> )	0,037	34,6	30,1	50
	P26	Cel·lulosa 5 cm (45-60 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	25,5	20,9	50
	P27	Cel·lulosa 7 cm (45-60 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	27,6	23,1	50
	P28	Cel·lulosa 10 cm (45-60 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	29,8	25,2	50
	P29	Suro injectat 5 cm (65-75 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	29,4	24,9	50
	P30	Suro injectat 7 cm (65-75 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	33,1	28,6	50
	P31	Suro injectat 10 cm (65-75 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	37,7	33,1	50
	P32	Llana d'ovella 5 cm (20 /kg/m <sup>3</sup> )	0,04	26,5	21,9	50
	P33	Llana d'ovella 7 cm (20 /kg/m <sup>3</sup> )	0,04	29,0	24,5	50
	P34	Llana d'ovella 10 cm (20 /kg/m <sup>3</sup> )	0,04	31,8	27,2	50
	P35	Cotó injectat 5 cm (30 /kg/m <sup>3</sup> )	0,04	26,0	21,4	50
	P36	Cotó injectat 7 cm (30 /kg/m <sup>3</sup> )	0,04	28,3	23,8	50
	P37	Cotó injectat 10 cm (30 /kg/m <sup>3</sup> )	0,04	30,8	26,2	50
Aïllament de façana per l'interior	P38	EPS 5 cm	0,037	49,0	44,5	50
	P39	EPS 7 cm	0,037	51,2	46,7	50
	P40	EPS 10 cm	0,037	55,7	51,1	50
	P41	Llana mineral 5 cm	0,037	35,8	31,2	50
	P42	Llana mineral 7 cm	0,037	36,7	32,1	50
	P43	Llana mineral 10 cm	0,037	38,6	34,0	50
	P44	Cel·lulosa 5 cm (70 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	42,8	38,2	50
	P45	Cel·lulosa 7 cm (70 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	45,8	41,2	50
	P46	Cel·lulosa 10 cm (70 kg/m <sup>3</sup> )	0,04	50,3	45,7	50
	P47	Suro 5 cm	0,04	42,1	37,5	50
	P48	Suro 7 cm	0,04	45,9	41,3	50
	P49	Suro 10 cm	0,04	49,7	45,1	50
	P50	Llana d'ovella 5 cm (30 kg/m <sup>3</sup> )	0,037	43,0	38,4	50
	P51	Llana d'ovella 7 cm (30 kg/m <sup>3</sup> )	0,037	47,0	42,4	50
	P52	Llana d'ovella 10 cm (30 kg/m <sup>3</sup> )	0,037	51,0	46,4	50



Tipus de mesura	Codi	Mesura	Conduc-ti-vitat tèrmica (W/m·K)	Preu unitari d'inversió (€/m <sup>2</sup> façana, coberta o buit)	Preu del sobrecost d'inversió (€/m <sup>2</sup> façana, coberta o buit)	Vida útil (anys)
Aïllament de façana per l'interior	P53	Cotó de 5 cm (60 kg/m <sup>3</sup> )	0,034	45,5	40,9	50
	P54	Cotó de 7 cm (60 kg/m <sup>3</sup> )	0,034	50,0	45,4	50
	P55	Cotó de 10 cm (60 kg/m <sup>3</sup> )	0,034	54,5	49,9	50
Millora de finestres	P56	Marc PVC i vidre 4/12/4	NA	382,3	182,3	30
	P57	Marc PVC i vidre 4/16/4 BE	NA	385,3	185,3	30
	P58	Marc alumini RPT i vidre 4/12/4	NA	450,7	250,7	30
	P59	Marc alumini RPT i vidre 4/16/4 BE	NA	458,4	258,4	30
Millora de l'estanquitat	P60	Rivets, cintes adhesives i massilla elàstica	NA	8,0	4,0	12
Aïllament de coberta per l'exterior	P61	XPS 8 cm	0,035	97,7	23,9	50
	P62	XPS 10 cm	0,035	101,8	28,0	50
	P63	XPS 12 cm	0,035	106,9	33,1	50
Aïllament de coberta per l'interior	P64	EPS 4 cm	0,037	52,2	47,1	50
	P65	EPS 6 cm	0,037	54,4	49,3	50
	P66	EPS 8 cm	0,037	58,8	53,7	50
	P67	Llana mineral 4 cm	0,037	39,6	34,5	50
	P68	Llana mineral 6 cm	0,037	40,5	35,4	50
	P69	Llana mineral 8 cm	0,037	42,4	37,3	50
Tendal	P70	Tendal articulad	NA	841,1	841,1	18

Nota: NA = No aplicable

Taula 4.15. Detall de les mesures de renovació de finestres.

Codi	Mesura	Transmitància tèrmica del marc (W/m <sup>2</sup> ·K)	Transmitància tèrmica del vidre (W/m <sup>2</sup> ·K)	Transmitància tèrmica global (W/m <sup>2</sup> ·K)	Factor solar (g)
P56	Marc PVC i vidre 4/12/4	1,3	2,8	2,35	0,78
P57	Marc PVC i vidre 4/16/4 BE	1,3	1,5	1,44	0,58
P58	Marc alumini RPT i vidre 4/12/4	3,1	2,8	2,89	0,78
P59	Marc alumini RPT i vidre 4/16/4 BE	3,1	1,5	1,98	0,58

#### 4.1.4.2. Mesures actives

La taula 4.16 resumeix la justificació de la selecció de mesures actives:

Taula 4.16. Mesures actives seleccionades.

Grup	Mesura	Selecció	Justificació
Renovació de calderes per alta eficiència i condensació	Caldera de condensació en unifamiliars	Sí	Es prioritzen les calderes de condensació, ja que en habitatges, fins i tot amb radiadors d'alta temperatura, s'ha demostrat que les calderes de condensació donen molt bons resultats. Es descarten altres calderes d'elevada eficiència (com les de baixa temperatura). S'escull una caldera de condensació de 35 kW amb un rendiment nominal d'1,09 i estacional de 0,95 (tipologies unifamiliars A, B, C i D).
	Caldera de condensació en plurifamiliars	Sí	Caldera de condensació de 20 kW amb un rendiment nominal d'1,09 i estacional de 0,95 (tipologies plurifamiliars E, G, H i I).
	Caldera de condensació en instal·lacions col·lectives	Sí	Caldera de condensació: 2 calderes de 155 kW cadascuna amb un rendiment nominal d'1,09 i estacional de 0,9 (tipologia F, 30 habitatges).
Instal·lació d'equips de climatització	Equip de climatització unifamiliar i plurifamiliar	No	Descartats, ja que darrerament no és gaire comú d'instal·lar-los en habitatges, ja que pel mateix preu es pot disposar d'una bomba de calor reversible que dona servei tant estiu com hivern.
Renovació de bomba calor reversible aire-aire (BC)	BC unifamiliar	Sí	Es considera la renovació de l'equip per un d'elevada eficiència, sense eliminar la caldera existent. Per tant, la caldera donarà servei a la calefacció, ja que el confort obtingut amb radiadors d'aigua és més elevat que amb la bomba de calor, i aquesta cobrirà la refrigeració. S'escull una bomba de calor amb una unitat exterior i tantes unitats interiors com estances, amb un rendiment nominal de calor de 4 i de fred de 3,7 (tipologia unifamiliar A, B, C i D).
	BC plurifamiliar	Sí	S'escull una bomba de calor amb una unitat exterior i tantes unitats interiors com estances, amb un rendiment nominal de calor de 4 i de fred de 3,7 (tipologies plurifamiliars E, G, H i I).
Aerotèrmia (BC)	Aerotèrmia en substitució de bomba de calor i caldera d'ACS	Sí	Tota bomba de calor que treballi contra la temperatura exterior s'anomena bomba de calor aerotèrmica. En aquest treball, però, es considera aerotèrmia quan la bomba de calor cobreix també l'ACS. En aquest cas es considera que la bomba de calor substitueix la caldera. S'escull una bomba de calor aerotèrmica aire-aigua reversible de 16 kW amb dipòsit d'ACS de 200 litres, amb un rendiment nominal de calor i d'ACS de 4 i de fred de 3,7.
Airejadors i reductors de cabal d'ACS	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	Sí	Es considera una solució combinada per reduir el cabal d'aixetes i dutxes i el consum de combustible associat a l'escalfament de l'aigua calenta de l'habitatge tipus.
	Caldera de biomassa unifamiliar	Sí	Caldera de pèl·lets de 15 kW amb un rendiment estacional del 88% (tipologies unifamiliars).
Airejadors i reductors de cabal d'ACS	Caldera de condensació en unifamiliars	Sí	Tot i les dificultats existents en un edifici ja construït (l'espai d'emmagatzematge, la logística de subministrament, etc.), es proposa de considerar-la per l'interès que pot generar en el futur. S'haurà de considerar el cost de la sitja, l'accés, la sala de calderes, etc. Caldera de pèl·let: 2 calderes de 155 kW cadascuna amb un rendiment estacional del 83%. La biomassa no és recomanable en les zones declarades de protecció especial de l'atmosfera incloses en el Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire horitzó 2020.



Grup	Mesura	Selecció	Justificació
Instal·lacions solar tèrmiques	Solar tèrmica per a unifamiliar	Sí	Sistema solar tèrmic amb termosifó per cobrir el 60% de l'ACS.
	Solar tèrmica per a plurifamiliar	No	Descartada, ja que no és adequada per a edificis plurifamiliars existents a rehabilitar (necessitat d'espai als habitatges i de muntants, etc.).
	Solar tèrmica per a caldera col·lectiva	Sí	Sistema solar tèrmic plurifamiliar amb caldera centralitzada per cobrir el 60% de l'ACS.
Geotèrmia (BC)	Bomba de calor geotèrmica per a habitatge unifamiliar	Sí	Tot i el seu elevat cost i les limitacions habituals per falta d'ubicacions adequades, es proposa considerar-la tenint en compte el cost de la part de producció (bomba de calor, perforacions, evaporador al subsòl, etc.) i no la part de distribució interior de la calor útil (terra radiant, ventil·lo-convector, etc.). Es proposa una bomba de calor geotèrmica de 8 kW, ampliable a 16 per a les zones climàtiques més fredes, amb dipòsit d'ACS de 100 litres. Rendiments nominals: COP calor =4,7, EER fred = 5,7.
	Bomba de calor geotèrmica per a habitatge plurifamiliar	No	Descartada, ja que en general no és viable per a edificis plurifamiliars existents (necessitat d'espai per fer les perforacions, etc).
Substitució de lluminàries als habitatges	Alta eficiència	No	Descartada, ja que el 64% dels habitatges del treball de camp diu que ja fan un ús predominant de làmpades de baix consum (fluorescents i fluorescents compactes).
	LED	Sí	Es proposa el canvi a LED a partir del sistema d'enllumenat existent, en general lluminàries de baix consum. Canvi a LED des d'incandescència i halògenes
Substitució de lluminàries en zones comunes	Sistema de control de l'enllumenat de zones comunes només per a edifici plurifamiliar	Sí	Tot i que aquesta mesura no es pot incorporar a l'aplicació CE3X, és una mesura que ja s'està implantant i que proporciona estalvis en les comunitats de veïns. No es considera la incorporació de detectors de presència, ja que a la llarga la incorporació d'aquests elements sense canviar les lluminàries en redueix la vida útil a causa de l'increment de les enceses i apagades. La proposta consisteix a canviar a LED les lluminàries existents en les zones comunes de les diferents tipologies. Canviar LED al mateix temps que s'afegeixen detectors de presència també podria ser recomanable, ja que han aparegut al mercat solucions integrades.
Millores en equips	Millores en electrodomèstics	Sí	Tot i que no es pot incorporar aquesta mesura en la simulació, se'n farà una anàlisi a part. Es suposa el pas d'electrodomèstics de classe A a classe A+++ . Es considera la renovació de la nevera, la rentadora i el rentaplats.
Millora combinada de calefacció, refrigeració i ACS	Substitució de caldera per bomba de calor eficient i termoelèctric per a l'ACS	Sí	Comprèn la substitució de la caldera per una bomba de calor d'elevada eficiència per produir la climatització de l'habitatge (la calefacció i, si escau, també la refrigeració). Al treure la caldera existent és necessari disposar d'un altre equip per produir l'ACS, en aquest cas un acumulador termoelèctric.

La taula 4.17 inclou el detall de les mesures actives analitzades, amb les seves característiques tècniques principals, el cost d'inversió total i el sobrecost respecte de la renovació per un equip convencional no eficient. En general, els costos totals de l'equip, la seva instal·lació i la recollida dels residus de l'equip existent coincideixen amb el cost a pagar per un sol habitatge, excepte en el cas de la tipologia F, amb instal·lacions col·lectives, on el cost total es reparteix proporcionalment entre els diferents veïns. La taula inclou:

- **Característiques principals de la mesura** utilitzades en la simulació
- **Cost d'inversió total**
- **Sobrecost d'inversió** de les millores de rehabilitació amb eficiència energètica respecte de les d'una rehabilitació convencional, tenint en compte el cost de reposició dels equips convencionals. Es considera que en el moment d'efectuar la millora el valor residual dels equips existents a renovar és zero. Concretament, els sobrecostos de les diferents mesures es defineixen de la següent manera:
  - Reposició de la caldera per una caldera de condensació de gas natural o gasoil, o per una caldera de pèl·lets: en els tres casos es descompta el cost de la reposició d'una caldera convencional disponible al mercat (material i mà d'obra, i preu segons la potència de la caldera, diferent per a habitatges unifamiliars, plurifamiliars i per a calderes col·lectives).
  - Reposició d'una bomba de calor (aplicable només als habitatges que tenien refrigeració anteriorment, i exceptuant el canvi a bomba de calor aerotèrmica, ja que aquesta darrera inclou que l'ACS es cobreixi també amb la mateixa bomba de calor): es descompta el cost de reposició d'una bomba de calor convencional disponible al mercat (classe A, de diferent potència en habitatge unifamiliar que en plurifamiliar) i, a més a més, es considera que es substitueixen els equips interiors per uns de rendiment superior. En aquest cas, l'habitatge continua disposant de la caldera existent per cobrir l'ACS i la calefacció, i la bomba de calor s'utilitza essencialment per cobrir la refrigeració estival.
  - Aerotèrmia per cobrir l'ACS, la calefacció i la refrigeració: quan es tracta d'un habitatge unifamiliar originàriament sense refrigeració, es descompta només el cost de la caldera convencional per a habitatge unifamiliar, i es considera que s'utilitzaran els radiadors de calefacció ja existents a l'habitatge. Quan es tracta d'un habitatge originàriament amb refrigeració, es descompten els costos de reposició d'una bomba de calor aire-aigua convencional i d'una caldera convencional (tots dos equips de diferent preu segons la potència necessària en un habitatge unifamiliar i en un de plurifamiliar) i es considera que es conserven els radiadors i les unitats interiors de climatització.
  - Geotèrmia per cobrir l'ACS, la calefacció i la refrigeració d'habitatges unifamiliars: quan es tracta d'un habitatge unifamiliar originàriament sense refrigeració, es descompta només el cost de la caldera convencional per a habitatge unifamiliar. Quan es tracta d'un habitatge originàriament amb refrigeració, es descompten els costos de reposició d'una bomba de calor convencional i d'una caldera convencional, segons preus de mercat.
  - Solar tèrmica: no es descompta cap cost de reposició, ja que es considera que la instal·lació no existia originàriament.
  - Airejadors i reductors de cabal d'ACS: no es descompta cap cost de reposició, ja que es considera que la instal·lació no existia originàriament.



- Il·luminació LED: es descompta el cost de reposició de lluminàries de baix consum.
- Electrodomèstics A+++ : es descompta el cost de reposició d'electrodomèstics de classe A disponibles al mercat.
- Canvi de la caldera per una bomba de calor eficient i un equip termoelèctric per produir l'ACS: quan es tracta d'un habitatge unifamiliar originàriament sense refrigeració, es descompta només el cost de reposició de la caldera convencional, i es considera que els radiadors no es desinstal·laran. Quan es tracta d'un habitatge originàriament amb refrigeració, es descompten els costos de reposició d'una bomba de calor convencional i d'una caldera convencional (tots dos equips de diferent preu segons la potència necessària en un habitatge unifamiliar i en un de plurifamiliar), i es considera que es conserven els radiadors però no les unitats interiors de climatització, les quals s'instal·len noves, de rendiment més elevat.
- **Cost de manteniment.** A més a més, s'inclou el cost de manteniment anual que representa la mesura, ja que és necessari per al càlcul de la rendibilitat (VAN i TIR de la inversió). S'ha de remarcar que en el càlcul de rendibilitat s'utilitza el sobrecost de manteniment que suposa la mesura respecte del cost total de manteniment de tot l'edifici.

Taula 4.17. Detall de les mesures actives seleccionades.

Tipus de mesura	Codi	Mesura	Característiques de la mesura usades en la simulació	Preu d'inversió (€/habitatge)	Preu del sobrecost d'inversió (€/hab.)	Cost de manteniment (€/any)	Vida útil (anys)
Renovació de calderes individuals	A1	Caldera de condensació de gas natural en hab. plurifamiliars	20 kW, rendiment estacional 0,95	1.946,1	447,6	90	16
	A2	Caldera de condensació de gasoil en hab. unifamiliars	35 kW, 0,95	2.600,0	598,0	120	16
	A3	Caldera de condensació de gas natural en hab. unifamiliars	35 kW, 0,95	2.600,0	598,0	120	16
	A4	Caldera de pèl·lets en hab. unifamiliars	15 kW, 0,88	7.650,0	5.650,0	300	16
Renovació de bombes de calor (ús només per refrigerar)	A5	BC en hab. plurifamiliars	EER calor 4**, EER fred 3,7	1.140,0	100,0	40	20
	A6	BC en hab. unifamiliars.	EER calor 4**, EER fred 3,7	2.120,0	150,0	40	20
Renovació de bombes de calor d'aerotèrmia	A7	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor en habitatges unifamiliars	EER calor i ACS 4, EER fred 3,7 200 litres ACS	8.600,0	4.630,0	100	20



Tipus de mesura	Codi	Mesura	Característiques de la mesura usades en la simulació	Preu d'inversió (€/habitatge)	Preu del sobrecost d'inversió (€/hab.)	Cost de manteniment (€/any)	Vida útil (anys)
Renovació de bombes de calor d'aerotèrmia	A8	BC aerotèrmica per a ACS i calor en habitatges unifamiliars	EER calor i ACS 4, 200 litres ACS	7.600,0	5.600,0	100	20
	A9	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor en habitatges plurifamiliars	EER calor i ACS 4, EER fred 3,7 200 litres ACS	8.600,0	6.060,0	100	20
Instal·lacions col·lectives (tipologia F)	A10	Caldera de condensació de gas natural en hab. plurifamiliars amb caldera col·lectiva *	300 kW (2 x 150 kW), 0,9	45.650,0	17.620,9	400	18
	A11	Caldera de pèllets en habitatges plurifamiliars amb caldera col·lectiva *	310 kW (2 x 155 kW), 0,83	65.275,0	40.470,5	800	18
	A12	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor en habitatges plurifamil. amb caldera col·lectiva (30 unitats)	EER calor i ACS 4, EER fred 3,7 100 litres ACS	258.000,0	198.800,0	3000	20
Canvi de bomba de calor convencional per geotèrmia	A13	BC geotèrmica en hab. unifamiliar ACS, calor i fred	EER calor i ACS 4,7, EER fred 5,7 100 litres ACS	20.000,0	16.030,0	150	20
	A14	BC geotèrmica en hab. unifamiliar ACS i calor	EER calor i ACS 4,7, 100 litres ACS	19.000,0	18.000,0	150	20
Instal·lació solar tèrmica	A15	Solar tèrmica amb termosifó en hab. unifamiliar	1 captadors i 160 litres	1.564,5	1.564,5	50	16
	A16	Solar tèrmica en hab. plurifamiliar amb caldera col·lectiva*	22 captadors i 3.000 litres, la caldera es manté	36.606,0	36.606,0	500	16
Airejadors i reductors de cabal d'ACS	A17	Airejadors i reductors de cabal d'ACS en hab. plurifamiliars		14,0	14,0	0	30
	A18	Airejadors i reductors de cabal d'ACS en hab. unifamiliars		28,0	28,0	0	30
Millores de la il·luminació	A19	Il·luminació LED en hab. plurifamiliars		330,0	165,0	0	20
	A20	Il·luminació LED en hab. unifamiliars		435,0	217,5	0	20



Tipus de mesura	Codi	Mesura	Característiques de la mesura usades en la simulació	Preu d'inversió (€/habitatge)	Preu del sobrecost d'inversió (€/hab.)	Cost de manteniment (€/any)	Vida útil (anys)
Millora dels equips	A21	Electrodomèstics A+++ (canvi de rentadora, nevera i rentaplats)		1.250,0	300,0	0	20
Millores de la il·luminació	A22	Il·luminació LED en zones comunes d'hab. plurifamiliars		75,0	37,5	0	15
	A23	Il·luminació LED i control en zones comunes d'hab. plurifamiliars	Lluminàries LED amb detectors de presència integrats	110,0	72,5	0	15
Canvi de caldera per bomba de calor eficient i termoelectríc per a ACS ***	A24	BC per a calefacció i refrigeració i termoelectríc per a ACS en hab. unifamiliar	EER calor 4, EER fred 3,7 100 litres ACS	2.600,0	-1.370,0	40	20 anys BC i 10 anys termoelectríc
	A25	BC per a calefacció i termoelectríc per a ACS en hab. unifamiliar	EER calor 4, 100 litres ACS	2.600,0	600	40	20 anys BC i 10 anys termoelectríc
	A26	BC per a calefacció i refrigeració i termoelectríc per a ACS en hab. plurifamiliar	EER calor 4, EER fred 3,7 100 litres ACS	1.620,0	-920,0	40	20 anys BC i 10 anys termoelectríc

Finalment, les taules 4.18 i 4.19 contenen la relació dels rendiments de les mesures actives convencionals utilitzats en el programa de simulació CE3X i els rendiments estacionals dels equips nous eficients calculats per la mateixa aplicació CE3X.

Taula 4.18. Detall del rendiment dels equips de producció convencionals utilitzats en l'edifici base de la simulació.

Equips convencionals	Rendiment nominal	Rendiment estacional					
		B3	C2	D1	D2	D3	E1
Caldera atmosfèrica	-	70% en totes les tipologies (excepte 55% en la tipologia F)					
Bomba de calor antiga (rendiment de fred)	210%	128,1%	137,4%	138,4%	136,4%	125,7%	146,3%

\* En el cas de calderes col·lectives per a molts habitatges, el preu correspon a l'equip sencer per a tot l'edifici i no al preu proporcional de cada habitatge.

\*\* En les mesures de renovació de la bomba de calor convencional per una d'eficient, es considera que l'habitatge manté la caldera existent i que per tant la bomba de calor només es fa servir per cobrir la refrigeració.

\*\*\* En les mesures de canvi de caldera per bomba de calor eficient i termoelectríc per a ACS, el sobrecost d'inversió algunes vegades és negatiu, ja que el cost de reposició de la caldera i la bomba de calor convencionals és més gran que el del termoelectríc i la bomba de calor eficients.

Equips convencionals	Rendiment nominal	Rendiment estacional					
		B3	C2	D1	D2	D3	E1
Caldera de condensació	-	95% (excepte 90% en la tipologia F)					
Bomba de calor (calor)	400%	267,3%	261,2%	238,5%	226,5%	236,7%	219,2%
Bomba de calor (fred)	370%	237,6%	254,8%	256,7%	252,9%	233,1%	271,4%
BC aerotèrmica (calor)	400%	267,3%	261,2%	238,5%	226,5%	236,7%	219,2%
BC aerotèrmica (fred)	370%	237,6%	254,8%	256,7%	252,9%	233,1%	271,4%
BC aerotèrmica (ACS)	400%	267,3%	261,2%	238,5%	226,5%	236,7%	219,2%
Bomba geotèrmica (calor)	470%	380%					
BC geotèrmica (fred)	570%	500%					
BC geotèrmica (ACS)	470%	380%					

Taula 4.19. Detall del rendiment de les mesures actives utilitzades en la simulació.

**Nota:** La bomba de calor geotèrmica s'introdueix en la simulació CE3X com un equip de rendiment constant, ja que es considera que la temperatura de terra es manté constant i és independent de la zona climàtica.

#### 4.1.5. Selecció de paràmetres econòmics i factors de conversió

Aquest capítol resumeix els valors presos pels diferents factors i índex econòmics i energètics.

Pel que fa als preus de l'energia, s'han utilitzat els preus de les tarifes domèstiques de 2015. Val a dir que s'utilitzen només els preus del terme d'energia i que els preus dels combustibles es posen sobre el PCI.

Font energètica	Cost de l'energia (€, IVA no inclòs)
Electricitat	0,124454 €/kWh <sup>1</sup>
Gas natural	0,0564434 €/kWh <sup>2</sup>
Gasoil	0,06877 €/kWh <sup>3</sup>
Biomassa (estella)	0,02007 €/kWh <sup>4</sup>
Biomassa (pèl·let)	0,04401 €/kWh <sup>4</sup>

Taula 4.20. Preu de cadascuna de les fonts energètiques

<sup>1</sup> Valor de 0,124454 €/kWh a març de 2015 de la tarifa PVPC. Inclou impost de l'electricitat (no inclou IVA ni terme de potència).

<sup>2</sup> Valor de 0,05079909 €/kWh sobre PCS a març de 2015 de la TUR 2. Inclou impost especial sobre hidrocarburs (no inclou IVA). Per passar a PCI s'utilitza la relació PCI=0,9·PCS

<sup>3</sup> Valor de 0,7035 €/litre sobre el PCI. Preu mitjà del gasoil C de l'any 2014 segons l'Oil Bulletin (IVA no inclòs). Per passar a €/kWh s'utilitza el PCI del gasoil de 10.350 kcal/kg i la densitat de 0,85 kg/litre

<sup>4</sup> Preu mitjà de l'any 2014 (IVA no inclòs).

L'increment dels preus de l'energia es defineix a partir del criteri de l'ICAEN, recollit a la taula 4.21.

Taula 4.21. Increment anual del cost de l'energia per font energètica.

Font energètica	Increment anual del cost de l'energia
Electricitat	2,5%
Gas natural	2,0%
Gasoil	2,0%
Biomassa	2,0%

Es defineix un increment de preus dels altres conceptes (costos de manteniment, etc.) del 2% anual. La taxa de descompte es defineix del 3%.

Taula 4.22. Altres paràmetres econòmics considerats.

Altres paràmetres	Valors (%)
Augment IPC (per usar per exemple en els costos de manteniment)	2%
Taxa de descompte	3%

Pel que fa als factors de conversió d'energia primària i d'emissions de CO<sub>2</sub>, s'utilitzen els valors del programa de simulació CE3X\_v2, que coincideixen amb els valors definits per l'IDAE en els seus documents reconeguts (valors aprovats en la Comissió Permanent de Certificació Energètica d'Edificis del 27 de juny de 2013, vegeu taula 4.23).

Taula 4.23. Factors de conversió considerats.

Font energètica	Factor de pas d'energia primària renovable (kWh EPR/kWh EF)	Factor de pas d'energia primària no renovable (kWh EPnR/kWh EF)	Factor de pas d'energia primària total (kWh EP/kWh EF)	Factor d'emissions de GEH (gCO <sub>2</sub> /kWh)
Electricitat	0,414	1,954	2,368	331
Gas natural	0,005	1,190	1,195	252
Gasoil C	0,003	1,179	1,182	311
Biomassa (estella)	1,003	0,034	1,037	18
Biomassa (pèl·lets)	1,028	0,085	1,113	18

## 4.2. Rendibilitat econòmica i idoneïtat de l'aplicació de mesures d'eficiència energètica: visió pràctica per a l'usuari

### 4.2.1. Resultats per tipologia i zona climàtica

En aquest capítol s'analitza la reducció de consum d'energia final i primària, la rendibilitat i la millora de la qualificació energètica que proporcionen les diferents mesures d'eficiència energètica en relació amb els edificis base de cada tipologia i les diferents zones climàtiques, utilitzant l'eina de qualificació energètica CE3X i les eines creades ad hoc.

L'objectiu és identificar, per a cadascuna de les diferents tipologies d'habitatge, les mesures que comporten més estalvi energètic, les que presenten millor rendibilitat per a l'usuari (amb un període de retorn simple) i les que permeten millorar el nivell de la qualificació energètica (lletra de l'etiqueta).

Val a dir que en el moment de decidir quines inversions es prioritzen, l'estalvi energètic i el període de retorn no són els únics elements a considerar. Són també importants altres paràmetres com la millora del confort (tèrmic, acústic i lumínic), la seguretat, la salut, la contribució a la conservació i durabilitat de l'habitatge, etc.

Abans d'analitzar els resultats en detall, cal indicar que conceptualment caldria prioritzar l'aplicació de mesures passives (com l'aïllament en façana o el canvi de finestres), que permeten reduir la demanda energètica. Un cop ajustada la demanda, té tot el sentit reduir el consum dels equips actius mitjançant la seva substitució per d'altres de més eficients, tenint en compte que com que prèviament s'ha ajustat la demanda és molt possible que se'n pugui reduir la potència instal·lada, amb l'estalvi corresponent.

En aquesta anàlisi de la rendibilitat econòmica s'ha inclòs el cost de manteniment dels equips actius o instal·lacions. En l'Annex 1 es pot trobar la valoració global a llarg termini (50 anys) d'algunes mesures on hi ha una valoració més completa que la visió pràctica per a l'usuari, ja que inclou l'anàlisi de rendibilitat de les inversions en mesures d'eficiència energètica tenint en compte els costos econòmics i financers i la vida útil de l'edifici a llarg termini, per la qual cosa el resultat analitzat ja no es basa en el període de retorn simple sinó en el VAN i la TIR. En aquest cas també es té en consideració el cost de reposició dels equips durant els 50 anys.

Els càlculs d'aquest apartat s'han fet calculant el VAN i la TIR a 50 anys.

Per tal de facilitar la lectura en aquest capítol s'inclouen els resultats de les zones climàtiques extremes (B3 i E1). El conjunt de resultats per a totes les zones climàtiques està recollit a l'Annex 1 del treball.

#### 4.2.1.1. Tipologia A. Unifamiliars anteriors a 1950

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+1.
- Envolupant: façanes sense cambra d'aire, coberta inclinada i finestres de vidre senzill i marc de fusta.
- Instal·lacions: caldera de gasoil antiga i il·luminació de baix consum; no disposa d'equip de refrigeració.

### Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia A:

- En aquesta tipologia no s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients o tendals, ja que l'edifici base no disposa de refrigeració.
- Les bombes de calor aerotèrmica i geotèrmica només serveixen per cobrir la calefacció i l'ACS, i es considera que s'utilitzen els radiadors existents.
- En la solució que substitueix la caldera per una bomba de calor eficient i un termoelèctric, la bomba de calor només s'utilitza per generar calor.

Taula 4.24. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia A en les zones climàtiques extremes

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	21,3%	23,5%	17,7%	21,4%	6.616,0	3.608,1	30,4	13,1	16,6	7,1	D *	E
P8		XPS 12 cm	22,3%	25,0%	18,5%	22,8%	9.137,4	6.129,5	40,1	16,9	26,9	11,4	D *	E
P12		Llana mineral 12 cm	22,2%	24,9%	18,4%	22,7%	9.836,0	6.828,1	43,3	18,3	30,1	12,7	D *	E
P38	Aïllament façana interior	EPS 5 cm	5,6%	8,1%	4,7%	7,4%	2.739,9	2.485,6	47,5	15,7	43,1	14,2	E	E
P43		Llana mineral 10 cm	6,7%	9,7%	5,6%	8,8%	2.157,2	1.902,9	31,5	10,3	27,8	9,1	E	E
P44		Cel·lulosa 5 cm	5,5%	7,9%	4,6%	7,2%	2.389,3	2.135,0	42,5	14,0	38,0	12,5	E	E
P55		Cotó de 10 cm	6,8%	9,8%	5,6%	9,0%	3.043,2	2.788,9	43,8	14,4	40,1	13,2	E	E
P56	Milliores de finestres	Marc PVC i vidre 4/12/4	5,6%	5,7%	4,6%	5,2%	5.023,0	2.395,0	>50	40,7	42,0	19,4	E	E
P58	Milliores de finestres	Marc alumini RPT i vidre 4/12/4 **	4,3%	4,2%	3,6%	3,8%	5.922,3	3.294,3	>50	>50	>50	36,2	E	E
P60	Millora estanquitat	Rivets i cintes adhesives	2,1%	2,1%	1,7%	1,9%	105,1	52,6	4,9	2,3	2,4	1,2	E	E
P64	Aïllament coberta interior	EPS 4 cm	7,6%	9,9%	6,3%	9,1%	2.823,1	2.546,6	36,3	13,2	32,7	11,9	E	E
P69		Llana mineral 8 cm	9,2%	12,2%	7,7%	11,1%	2.294,2	2.017,8	24,2	8,8	21,3	7,7	E	E

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

\*\* Tot i que l'estalvi de la millora de les finestres hauria de ser superior a les zones més fredes, en el cas del marc d'alumini, la transmissió empitjora respecte del marc de fusta de les finestres existents i per això el seu efecte és superior en zones de demanda de l'edifici base menor.

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A2	Caldera de condensació de gasoil	19,7%	23,2%	16,4%	21,1%	2.600,0	600,0	12,9	5,2	3,0	1,2	D *	E
A3	Caldera de condensació de gas natural	19,7%	23,2%	24,6%	31,7%	2.600,0	600,0	8,6	3,5	2,0	0,8	D *	E
A4	Caldera de pèl·lets	13,3%	17,1%	29,5%	38,9%	7.650,0	5.650,0	41,8	10,4	30,9	7,7	A	A
A8	BC aerotèrmica per a ACS i calor **	55,0%	59,8%	32,3%	33,6%	7.600,0	5.600,0	18,2	9,3	13,4	6,9	C *	D
A14	BC geotèrmica	60,9%	71,7%	41,2%	53,4%	19.000,0	18.000,0	39,8	13,8	37,7	13,0	C	C
A15	Solar tèrmica amb termosifó	9,1%	4,8%	7,6%	4,3%	1.564,5	1.564,5	36,1	29,7	36,1	29,7	E	E
A18	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	3,0%	1,6%	2,5%	1,4%	28,0	28,0	0,9	0,8	0,9	0,8	-	-
A20	Il·luminació LED hab.	2,5%	1,2%	3,8%	2,0%	357,6	178,8	7,7	7,7	3,8	3,8	-	-
A21	Electrodomèstics A+++	5,7%	2,7%	8,5%	4,4%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9	-	-
A25	Canvi de caldera per BC i termoelèctric	47,1%	56,2%	20,4%	27,7%	2.600,0	600,0	7,8	3,5	1,8	0,8	D	D

Algunes mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor geotèrmica i l'aerotèrmica, seguit de la substitució de la caldera per bomba de calor i termoelèctrica i la renovació de la caldera per una de condensació.

Les mesures actives que presenten un volum d'inversió més elevat són la bomba de calor geotèrmica, l'aerotèrmica i la caldera de pèl·lets.

A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi poc rellevants, el canvi de calderes per bombes de calor i termoelèctrics, la renovació de calderes de condensació de gas natural i la instal·lació de lluminàries LED presenten períodes de retorn inferiors als 10 anys.

Les mesures amb període de retorn més llarg són la caldera de pèl·lets i la bomba de calor geotèrmica.

Taula 4.25. Resultats de l'aplicació de les mesures actives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia A en les zones climàtiques extremes.

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

\*\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.



Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives, destaca l'aïllament de façana per l'exterior per dos motius:

- És la mesura que presenta un estalvi energètic més elevat perquè elimina els ponts tèrmics i la resta de mesures passives no ho fan. D'altra banda, el tipus de material i el gruix no influeixen significativament en l'estalvi assolit.
- És la mesura que presenta un període de retorn més ajustat, sense considerar la millora de l'estanquitat i l'aïllament de la coberta per l'interior, que presenta un cost i un estalvi poc rellevants.

Les solucions passives considerades òptimes (relació cost-estalvi i retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS 6 cm
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris)
- Aïllament de coberta per l'interior: llana mineral 8 cm.

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini, millors encara amb vidre de baixa emissivitat.

En general, les mesures actives permeten incrementar la qualificació energètica:

- La caldera de pèl·lets és la mesura que més incrementa el nivell (pas del nivell E al nivell A), a causa de la consideració d'emissions gairebé zero que té la biomassa. Tot i això, cal tenir en consideració que la biomassa no és recomanable en les zones declarades de protecció especial de l'atmosfera ateses les emissions d'òxids de nitrogen i partícules en suspensió de diàmetre inferior a 10 micres incloses en el Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire horitzó 2020 de la Generalitat de Catalunya.
- Les bombes de calor geotèrmica permeten passar del nivell E al C, i les aerotèrmiques, en les zones climàtiques B3 i C2.
- Les calderes de condensació i el canvi de caldera a bomba de calor i termoelèctric permeten passar de nivell E a D en certes zones climàtiques.

L'única mesura passiva que permet incrementar el nivell de qualificació energètica (pas del nivell E al D) és l'aïllament de façana per l'exterior, però només en algunes zones climàtiques i en alguns gruixos concrets (vegeu annex).

#### 4.2.1.2. Tipologia B. Unifamiliars 1951-80

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+1.
- Envolupant: façanes amb cambra d'aire, coberta inclinada i finestres de vidre senzill i marc de fusta.
- Instal·lacions: caldera de gasoil antiga i il·luminació de baix consum; no disposa d'equip de refrigeració.

Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia B:

- En la tipologia B no s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients o tendals, ja que l'edifici base no disposa de refrigeració.
- Les bombes de calor aerotèrmica i geotèrmica només serveixen per cobrir la calefacció i l'ACS, i es considera que s'utilitzen els radiadors existents.
- En la solució que substitueix la caldera per una bomba de calor eficient i un termoelèctric, la bomba de calor només s'utilitza per generar calor.

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	25,7%	27,5%	21,8%	25,3%	5.425,6	2.958,9	23,4	10,6	12,8	5,8	D*	E
P8		XPS 12 cm	26,4%	28,8%	22,4%	26,5%	7.493,3	5.026,6	31,5	13,9	21,1	9,3	D*	E
P12		Llana mineral 12 cm	26,4%	28,7%	22,3%	26,4%	8.066,2	5.599,5	33,9	15,0	23,5	10,4	D*	E
P17	Aïllament cambra d'aire	EPS+grafit 5	2,5%	4,6%	2,1%	4,2%	1.748,9	1.551,9	>50	20,4	>50	18,1	E	E
P19		EPS+grafit 10 cm	2,9%	5,6%	2,5%	5,2%	2.792,0	2.595,0	>50	26,6	>50	24,7	E	E
P22		Llana mineral 10 cm	2,9%	5,5%	2,4%	5,1%	1.468,6	1.271,6	>50	14,3	48,8	12,3	E	E
P23		PUR injectat 5 cm	2,4%	4,4%	2,0%	4,1%	847,4	650,4	39,2	10,2	30,1	7,8	E	E
P28		Cel·lulosa 10 cm	2,8%	5,4%	2,4%	5,0%	1.290,2	1.093,2	>50	12,8	42,6	10,8	E	E
P38	Aïllament façana exterior	EPS 5 cm	2,4%	4,4%	2,0%	4,1%	2.122,7	1.925,7	>50	25,6	>50	23,2	E	E
P43		Llana mineral 10 cm	2,9%	5,5%	2,4%	5,1%	1.671,3	1.474,2	>50	16,2	>50	14,3	E	E
P44		Cel·lulosa 5 cm	2,3%	4,3%	2,0%	3,9%	1.851,1	1.654,1	>50	23,0	>50	20,6	E	E
P55		Cotó de 10 cm	2,9%	5,6%	2,5%	5,2%	2.357,7	2.160,7	>50	22,4	>50	20,6	E	E
P56	Millora finestres	Marc PVC i vidre 4/12/4	7,2%	7,7%	6,1%	7,1%	4.101,8	1.955,8	>50	28,4	30,3	13,5	E	E
P58		Marc alumini RPT i vidre 4/12/4	6,1%	6,1%	5,1%	5,6%	4.836,1	2.690,1	>50	42,4	49,3	23,6	E	E
P60	Millora estancitat	Rivets	3,0%	3,1%	2,5%	2,8%	85,8	42,9	3,2	1,5	1,6	0,7	E	E
P64	Aïllament coberta interior	EPS 4 cm	4,9%	4,9%	4,2%	4,5%	2.092,5	1.887,6	47,3	22,9	42,7	20,6	E	E
P69		Llana mineral 8 cm	6,5%	6,5%	5,5%	6,0%	1.700,5	1.495,6	29,1	14,0	25,6	12,4	E	E

Taula 4.26. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia B en les zones climàtiques extremes

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A2	Caldera de condensació de gasoil		20,4%	23,5%	17,3%	21,6%	2.600,0	600,0	14,1	5,9	3,3	1,4	E	E
A3	Caldera de condensació de gas natural		20,4%	23,5%	25,9%	32,4%	2.600,0	600,0	9,4	3,9	2,2	0,9	E	E
A4	Caldera de pèl·lets		13,6%	17,1%	31,0%	39,6%	7.650,0	5.650,0	>50	12,2	37,7	9,0	A	A
A8	BC aerotèrmica per a ACS i calor *		56,9%	60,5%	34,0%	34,3%	7.600,0	5.600,0	19,9	10,6	14,6	7,8	D	D
A14	BC geotèrmica		63,0%	72,7%	43,4%	54,5%	19.000,0	18.000,0	44,0	17,6	41,7	16,7	C	C
A15	Solar tèrmica amb termosifó		10,4%	5,5%	8,8%	5,0%	1.564,5	1.564,5	36,1	29,7	36,1	29,7	E	E
A18	Airejadors i reductors de cabal d'ACS		3,5%	1,8%	2,9%	1,7%	28,0	28,0	0,9	0,8	0,9	0,8	-	-
A20	Il·luminació LED		2,2%	1,1%	3,4%	1,8%	280,8	140,4	7,7	7,7	3,8	3,8	-	-
A21	Electrodomèstics A+++		6,4%	3,1%	9,8%	5,2%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9	-	-
A25	Canvi de caldera per BC i termoelèctric		47,9%	56,4%	20,3%	27,4%	2.600,0	600,0	8,8	4,1	2,0	0,9	D	E

Taula 4.27. Resultats de l'aplicació de les mesures actives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia B en les zones climàtiques extremes

En general, les mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor geotèrmica i l'aerotèrmica, seguit de la substitució de la caldera per bomba de calor i termoelèctrica i de la renovació de la caldera per una de condensació.

Les mesures actives que presenten un volum d'inversió més elevat són la bomba de calor geotèrmica, l'aerotèrmica i la caldera de pèl·lets.

A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi petits, el canvi de calderes per bombes de calor i termoelèctrics, la renovació de calderes de condensació de gas natural i la instal·lació de lluminàries LED en habitatges presenten períodes de retorn inferiors als 10 anys.

Les mesures que presenten un període de retorn més llarg són la caldera de pèl·lets i la geotèrmica. Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives, destaca l'aïllament de façana per l'exterior per diferents motius:

\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.

- És la mesura que presenta un estalvi energètic més elevat perquè elimina els ponts tèrmics i la resta de mesures passives no ho fan. D'altra banda, el tipus de material i el gruix no influeixen significativament en l'estalvi assolit.
- És la mesura que presenta un període de retorn més petit, sense considerar la millora de l'estanquitat, que presenta un cost i un estalvi poc rellevants.

Les solucions passives que es consideren òptimes (relació cost-estalvi i període de retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS 6 cm.
  - En el cas d'aïllament en la cambra d'aire:
    - Cambra de 5 cm: PUR injectat (la cambra de l'edifici base de la tipologia B és de 10 cm, i per tant no s'aplicaria aquesta solució)
    - Cambra de 10 cm: cel·lulosa injectada
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris).
- Aïllament de coberta per l'interior: llana mineral de 8 cm

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini. També és més elevat l'estalvi amb el vidre de baixa emissivitat, que a la vegada redueix el període de retorn.

En general, les mesures actives permeten incrementar el nivell de qualificació energètica:

- La caldera de pèl·lets és la mesura que més incrementa el nivell (pas del nivell E al nivell A).
- Les bombes de calor geotèrmica i aerotèrmica permeten passar del nivell E al C i D, respectivament.
- El canvi de caldera a bomba de calor i termoelectric permet passar del nivell E al D en la majoria de zones climàtiques.

L'única mesura passiva que permet incrementar el nivell de qualificació energètica (pas del nivell E al D) és l'aïllament de façana per l'exterior, però només en la zona climàtica B3, ja que en ella la demanada energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (vegeu annex 1).

#### 4.2.1.3. Tipologia C. Unifamiliars 1981-90

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+1.
- Envolupant: façanes amb cambra d'aire i capa d'aïllament de 3 cm, coberta plana i finestres de doble envidrament aïllant tèrmic 4/6/4 i marc d'alumini.
- Instal·lacions: caldera de gasoil antiga i il·luminació de baix consum; disposa d'equip de refrigeració.

Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia C:

- En les zones climàtiques B3, C2, D2 i D3 d'aquesta tipologia sí que s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients i tendals, ja que l'edifici base disposa de refrigeració en aquestes zones climàtiques. En canvi, no s'incorporen les mesures esmentades en la resta de zones climàtiques.
- La bomba de calor eficient substitueix una màquina de refrigeració antiga (unitat exterior i interiors), i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. Per això no es valora en les zones climàtiques on el programa no considera que hi hagi demanda de refrigeració (zones D1 i E1).

Taula 4.28. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia C en les zones climàtiques extremes.

- Per aquest mateix motiu, les bombes de calor aerotèrmica i geotèrmica serveixen per cobrir la calefacció, l'ACS i la refrigeració, però aquesta última només en les zones climàtiques on hi ha demanda, i es considera que s'utilitzen els radiadors i els equips interiors de climatització existents.
- El mateix passa amb la solució de canvi de caldera per bomba de calor i termoelectrònica.

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	23,8%	27,8%	17,6%	24,9%	3.532,5	1.926,5	18,0	7,3	98	4,0	D	D
P8		XPS 12 cm	24,4%	28,5%	18,1%	25,6%	4.878,7	3.272,7	24,1	9,9	162	6,6	D	D
P12		Llana mineral 12 cm	24,4%	28,5%	18,1%	25,5%	5.251,7	3.645,7	26,0	10,7	180	7,4	D	D
P17	Aïllament cambra d'aire	EPS+grafit 5 cm	1,4%	1,6%	1,2%	1,4%	1.215,7	1.078,8	>50	44,6	>50	39,5	E	E
P19		EPS+grafit 10 cm	1,9%	2,1%	1,7%	1,9%	1.940,9	1.803,9	>50	>50	>50	48,6	E	E
P22		Llana mineral 10 cm	1,9%	2,1%	1,6%	1,9%	1.020,9	883,9	>50	28,4	49,5	24,6	E	E
P23		PUR injectat 5 cm	1,3%	1,5%	1,2%	1,3%	589,1	452,1	45,7	22,6	35,1	17,4	E	E
P28		Cel·lulosa 10 cm	1,8%	2,0%	1,6%	1,8%	896,9	759,9	>50	25,7	43,9	21,8	E	E
P38	Aïllament façana interior	EPS 5 cm	1,3%	1,5%	1,2%	1,3%	1.475,6	1.338,6	>50	>50	>50	>50	E	E
P43		Llana mineral 10 cm	1,9%	2,1%	1,6%	1,9%	1.161,8	1.024,8	>50	32,3	>50	28,5	E	E



Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P44	Aïllament façana interior	Cel·lulosa 5 cm	1,3%	1,4%	1,1%	1,3%	1.286,8	1.149,8	>50	>50	>50	46,1	E	E
P55		Cotó 10 cm	1,9%	2,1%	1,7%	1,9%	1.638,9	1.502,0	>50	44,2	>50	40,5	E	E
P56	Millores finestres	Marc PVC i vidre 4/12/4	7,2%	7,0%	6,3%	6,3%	7.568,9	3.608,9	>50	>50	>50	29,7	D *	E
P58		Marc alumini RPT i vidre 4/12/4 **	4,9%	4,6%	4,1%	4,1%	8.924,1	4.964,1	>50	>50	>50	>50	E	E
P60	Millora estanquitat	Rivets i cintes adhesives	0,9%	0,3%	0,7%	0,3%	158,4	79,2	19,6	32,6	9,8	16,3	E	E
P63	Aïllament coberta exterior	XPS 12 cm	1,8%	3,0%	1,4%	2,7%	4.841,2	1.498,7	>50	>50	>50	28,9	E	E
P64		EPS 4 cm	1,0%	1,7%	0,8%	1,6%	2.363,9	2.132,4	>50	>50	>50	>50	E	E
P69	Aïllament coberta interior	Llana mineral 8 cm	1,5%	2,5%	1,2%	2,3%	1.921,0	1.689,6	>50	44,0	>50	38,7	E	E
P70	Tendal	Tendals articulats ***	5,9%	NA	7,2%	NA	841,1	841,1	10,5	NA	10,5	NA	D *	NA

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

\*\* Tot i que l'estalvi de la millora de les finestres hauria de ser superior a les zones més fredes, en el cas del marc d'alumini la transmitància empitjora respecte del marc de fusta de les finestres existents i per això el seu efecte és més gran en zones de demanda de l'edifici base menor.

\*\*\* NA = No aplicable. La mesura de la col·locació de tendals no s'aplica en les zones climàtiques D1 i E1, ja que el programa de simulació considera que la tipologia C no té demanda de refrigeració en aquestes zones climàtiques.

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A2	Caldera de condensació de gasoil	17,0%	22,7%	13,3%	20,5%	2.600,0	600,0	17,6	6,6	4,1	1,5	D	D
A3	Caldera de condensació de gas natural	17,0%	22,7%	19,9%	30,7%	2.600,0	600,0	11,7	4,4	2,7	1,0	D	D
A4	Caldera de pèl·lets	12,9%	17,5%	24,5%	38,1%	7.650,0	5.650,0	>50	13,8	>50	10,2	B	A
A6	BC hab. unifamiliar **	3,3%	0,0%	4,7%	NA	2.120,0	150,0	40,5	NA	2,9	NA	D	NA
A7	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor ***	50,8%	63,6%	30,7%	40,6%	8.600,0	4.630,0	21,3	10,2	11,5	5,5	C	C
A13	BC geotèrmica	58,3%	70,3%	41,3%	51,6%	20.000,0	16.030,0	42,4	19,8	34,0	15,9	B	B
A15	Solar tèrmica amb termosifó	10,7%	5,9%	8,4%	5,3%	1.564,5	1.564,5	36,1	29,7	36,1	29,7	D*	E
A18	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	3,6%	2,0%	2,8%	1,8%	28,0	28,0	0,9	0,8	0,9	0,8	-	-
A20	Il·luminació LED	2,7%	1,4%	3,9%	2,2%	330,0	165,0	7,7	7,7	3,8	3,8	-	-
A21	Electrodomèstics A+++	6,7%	3,3%	9,4%	5,4%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9	-	-
A24	Canvi de caldera per BC i termoelèctric ****	41,5%	54,1%	17,6%	25,3%	2.600,0	-1.370,0	8,2	4,3	0,0	0,0	D	D

Taula 4.29. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia C en les zones climàtiques extremes.

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

\*\* NA= No aplicable. La bomba de calor d'habitatge unifamiliar substitueix la màquina de climatització antiga i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. En les zones climàtiques on l'aplicació CE3X considera que no hi ha demanda de refrigeració (zones D1 i E1) no se'n pot valorar l'aplicació.

\*\*\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.

\*\*\*\* En les mesures de canvi de caldera per bomba de calor eficient i termoelèctric per a ACS, algunes vegades el sobrecost d'inversió és negatiu, ja que el cost de reposició de la caldera i la bomba de calor convencionals és més gran que el del termoelèctric i la bomba de calor eficients.

En general, les mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor geotèrmica i l'aerotèrmica, seguides de la substitució de la caldera per bomba de calor i termoelèctrica i de la renovació de la caldera per una de condensació.

Les mesures actives que presenten un volum d'inversió més elevat són la bomba de calor geotèrmica, l'aerotèrmica i la caldera de pèl·lets.

A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi poc rellevants, el canvi de calderes per bombes de calor i termoelèctrics, la renovació de calderes de condensació de gas natural, en la majoria de zones climàtiques, i la instal·lació de lluminàries LED en habitatges, presenten períodes de retorn inferiors als 10 anys.

Les mesures que presenten un període de retorn més llarg són la caldera de pèl·lets i la geotèrmica.

Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives, destaca l'aïllament de façana per l'exterior, per diferents motius:

- És la mesura que presenta un estalvi energètic més elevat perquè elimina els ponts tèrmics i la resta de mesures passives no ho fan. D'altra banda, el tipus de material i el gruix no influeixen significativament en l'estalvi assolit.
- És la mesura que presenta un període de retorn més ajustat, sense considerar la millora de l'estanquitat, que presenta un cost i un estalvi poc rellevants.

Les solucions passives que es consideren òptimes (relació cost-estalvi i període de retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS de 6 cm
  - En el cas d'aïllament en la cambra d'aire:
    - Cambra de 5 cm: PUR injectat
    - Cambra de 10 cm: cel·lulosa injectada (la cambra de l'edifici base de la tipologia C és de 5 cm, i per tant no s'aplicaria aquesta solució)
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris)
- Aïllament de coberta:
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 8 cm
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: XPS de 12 cm

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini. També és més elevat l'estalvi amb el vidre de baixa emissivitat, que a la vegada redueix el període de retorn.

Els tendals també proporcionen un estalvi energètic significatiu en les zones climàtiques més càlides i presenten períodes de retorn al voltant dels 10 anys.

En general, les mesures actives permeten incrementar el nivell de qualificació energètica:

- La caldera de pèl·lets és la mesura que més l'incrementa (pas del nivell E al nivell A en pràcticament totes les zones climàtiques).
- Les bombes de calor geotèrmica i aerotèrmica permeten passar del nivell E al B i C, respectivament.
- El canvi de caldera a bomba de calor i termoelèctrica permet passar del nivell E al D en totes les zones climàtiques.



Les mesures passives que permeten incrementar el nivell de qualificació energètica (pas del nivell E al D) són l'aïllament de façana per l'exterior, en totes les zones climàtiques, i la millora de finestres només en la zona climàtica B3 (vegeu annex).

#### 4.2.1.4. Tipologia D. Unifamiliars 1991-2011

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+2.
- Envolupant: façanes amb cambra d'aire i capa d'aïllament de 4 cm, coberta plana i finestres de doble envidrament aïllant tèrmic 4/12/4 i marc d'alumini.
- Instal·lacions: caldera de gas natural antiga i il·luminació de baix consum; disposa d'equip de refrigeració.

Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia D:

- En les zones climàtiques B3, C2, D2 i D3 d'aquesta tipologia sí que s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients i tendals, ja que l'edifici base disposa de refrigeració en aquestes zones climàtiques. En canvi, no s'incorporen les mesures esmentades en la resta de zones climàtiques.
- La bomba de calor eficient substitueix una màquina de refrigeració antiga, i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. Per això no es valora en les zones climàtiques on el programa no considera demanda de refrigeració (zones D1 i E1).
- Per aquest mateix motiu, les bombes de calor aerotèrmica i geotèrmica serveixen per cobrir la calefacció, l'ACS i la refrigeració, però aquesta última només en les zones climàtiques on hi ha demanda, i es considera que s'utilitzen els radiadors i els equips interiors de climatització existents.
- El mateix passa amb la solució de canvi de caldera per bomba de calor i termo-elèctrica.

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	16,8%	21,7%	9,8%	17,4%	6.051,6	3.300,3	37,2	13,5	20,3	7,4	C	C
P8		XPS 12 cm	17,7%	22,7%	10,4%	18,2%	8.357,9	5.606,6	48,5	17,8	32,5	12,0	C	C
P12		Llana mineral 12 cm	17,6%	22,6%	10,3%	18,2%	8.996,9	6.245,6	>50	19,3	36,4	13,4	C	C
P17	Aïllament cambra d'aire	EPS+grafit 5 cm	1,7%	2,3%	1,2%	1,8%	1.934,7	1.716,7	>50	40,9	>50	36,3	D	D
P19		EPS+grafit 10 cm	2,4%	3,2%	1,7%	2,6%	3.088,6	2.870,7	>50	46,8	>50	43,5	D	D
P22		Llana mineral 10 cm	2,3%	3,1%	1,7%	2,5%	1.624,6	1.406,7	>50	25,5	>50	22,0	D	D



Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P23	Aïllament cambra d'aire	PUR injectat 5 cm	1,6%	2,2%	1,2%	1,8%	937,4	719,5	48,0	20,8	36,9	16,0	D	D
P28		Cel·lulosa 10 cm	2,3%	3,0%	1,6%	2,4%	1.427,2	1.209,3	>50	23,1	45,1	19,6	D	D
P38	Aïllament façana interior	EPS 5 cm	1,6%	2,2%	1,2%	1,8%	2.348,2	2.130,3	>50	>50	>50	47,3	D	D
P43		Llana mineral 10 cm	2,3%	3,1%	1,7%	2,5%	1.848,8	1.630,9	>50	29,0	>50	25,6	D	D
P44		Cel·lulosa 5 cm	1,6%	2,1%	1,1%	1,7%	2.047,7	1.829,8	>50	47,6	>50	42,6	D	D
P55		Cotó 10 cm	2,4%	3,2%	1,7%	2,6%	2.608,2	2.390,2	>50	39,5	>50	36,2	D	D
P56	Milliores fines-tres	Marc PVC i vidre 4/12/4	7,9%	8,8%	6,0%	7,1%	10.397,7	4.957,7	>50	>50	49,5	27,0	C	D
P58		Alumini i vidre 4/12/4	5,2%	5,8%	3,8%	4,7%	12.259,3	6.819,3	>50	>50	>50	56,7	D	D
P60	Millora estanquitat	Rivets, etc.	0,81%	0,88%	0,6%	0,7%	217,6	108,8	23,2	11,9	11,6	5,9	D	D
P63	Aïllament coberta exterior	XPS 12 cm	2,0%	3,4%	1,3%	2,7%	7.138,8	2.210,0	>50	>50	>50	32,1	D	D
P64		EPS 4 cm	1,1%	1,9%	0,7%	1,5%	3.485,8	3.144,5	>50	>50	>50	>50	D	D
P69	Aïllament coberta interior	Llana mineral 8 cm	1,7%	2,8%	1,0%	2,2%	2.832,8	2.491,4	>50	49,8	>50	43,8	D	D
P70	Tendal	Tendals articulats *	2,7%	NA	3,7%	NA	841,1	841,1	13,6	NA	13,6	NA	D	NA

Taula 4.30. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia D en les zones climàtiques extremes.

\* NA = No aplicable. La mesura de la col·locació de tendals no s'aplica en les zones climàtiques D1 i E1, ja que el programa de simulació considera que la tipologia D no té demanda de refrigeració en aquestes zones climàtiques.

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A3	Caldera de condensació de gas natural	13,8%	21,3%	8,8%	17,3%	2.600,0	600,0	17,8	5,8	4,1	1,3	C	C
A4	Caldera de pèl·lets	9,1%	15,8%	11,9%	24,5%	7.650,0	5.650,0	>50	17,0	>50	12,6	B	A
A6	BC hab. unifamiliar **	4,2%	0,0%	5,9%	NA	2.120,0	150,0	21,6	NA	1,5	NA	D	NA
A7	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor ***	42,7%	55,0%	19,7%	19,2%	8.600,0	4.630,0	22,2	15,5	11,9	8,4	B	C
A13	BC geotèrmica	49,9%	66,0%	29,7%	39,0%	20.000,0	16.030,0	39,6	19,8	31,7	15,8	B	A
A15	Solar tèrmica amb termosifó	9,6%	5,4%	6,1%	4,4%	1.564,5	1.564,5	30,0	25,1	30,0	25,1		
A18	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	3,2%	1,8%	2,0%	1,5%	28,0	28,0	0,8	0,7	0,8	0,7	C*	D
A20	Il·luminació LED	3,8%	1,9%	5,3%	3,4%	673,0	336,5	7,7	7,7	3,8	3,8		
A21	Electrodomèstics A+++	4,5%	2,3%	6,3%	4,1%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9		
A24	Canvi de caldera per BC i termoelèctric ****	34,7%	51,1%	8,4%	12,3%	2.600,0	-1.370,0	10,0	6,0	0	0	C	C

Taula 4.31. Resultats de l'aplicació de les mesures actives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia D en les zones climàtiques extremes

En general, les mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor geotèrmica i l'aerotèrmica, seguit de la substitució de la caldera per bomba de calor i termoelèctrica i la renovació de la caldera per una de condensació.

Les mesures actives que presenten un volum d'inversió més elevat són la bomba de calor geotèrmica, l'aerotèrmica i la caldera de pèl·lets.

A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi petits, el canvi de calderes per bombes de calor i termoelèctriques, la

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

\*\* NA = No aplicable. La bomba de calor d'habitatge unifamiliar substitueix la màquina de climatització antiga i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. En les zones climàtiques on l'aplicació CE3X considera que no hi ha demanda de refrigeració (zones D1 i E1), no se'n pot valorar l'aplicació.

\*\*\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.

\*\*\*\* En les mesures de canvi de caldera per bomba de calor eficient i termoelèctrica per a ACS el sobrecost d'inversió algunes vegades és negatiu, ja que el cost de reposició de la caldera i la bomba de calor convencionals és més gran que el del termoelèctric i la bomba de calor eficients.

instal·lació de lluminàries LED i la caldera de condensació de gas natural (en aquest cas només en zones climàtiques fredes, D1, D2, D3 i E1) presenten períodes de retorn inferiors als 10 anys.

Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives, destaca l'aïllament de façana per l'exterior, per diferents motius:

- És la mesura que presenta un estalvi energètic més elevat perquè elimina els ponts tèrmics i la resta de mesures passives no ho fan. D'altra banda, el tipus de material i el gruix no influeixen significativament en l'estalvi assolit.
- És la mesura que presenta un període de retorn més ajustat, sense considerar la millora de l'estanquitat, que presenta un cost i un estalvi petits.

Les solucions passives que es consideren òptimes (relació cost-estalvi i període de retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS de 6 cm
  - En el cas d'aïllament en la cambra d'aire:
    - Cambra de 5 cm: PUR injectat
    - Cambra de 10 cm: cel·lulosa injectada (la cambra de l'edifici base de la tipologia D és de 5 cm, i per tant no s'aplicaria aquesta solució)
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris)
- Aïllament de coberta:
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 8 cm
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: XPS de 12 cm

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini. També és més elevat l'estalvi amb el vidre de baixa emissivitat, que a la vegada redueix el període de retorn.

En general, les mesures actives permeten incrementar el nivell de qualificació energètica:

- La caldera de pèl·lets és la mesura que més l'incrementa (pas de nivell D a nivell A en la majoria de zones climàtiques).
- La bomba de calor geotèrmica permet passar del nivell D al B o A segons la zona climàtica.
- La bomba de calor aerotèrmica permet passar del nivell D al C o B segons la zona climàtica.
- El canvi de caldera a bomba de calor i termoelèctrica permet passar del nivell E al D en totes les zones climàtiques.

L'única mesura passiva que permet incrementar el nivell de qualificació energètica (pas del nivell D al C, en totes les zones climàtiques) és l'aïllament de façana per l'exterior.

#### 4.2.1.5. Tipologia E. Plurifamiliars anteriors a 1950

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+4.
- Envolupant: façanes sense cambra d'aire, coberta plana i finestres de vidre senzill i marc de fusta.
- Instal·lacions: caldera de gas natural antiga i il·luminació de baix consum; disposa d'equip de refrigeració.

Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia E:

- En les zones climàtiques B3, C2, D2 i D3 d'aquesta tipologia sí que s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients i tendals, ja que l'edifici base disposa de refrigeració en aquestes zones climàtiques. En canvi, no s'incorporen les mesures esmentades en la resta de zones climàtiques.
- La bomba de calor eficient substitueix una màquina de refrigeració antiga, i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. Per això no es valora en les zones climàtiques on el programa no considera demanda de refrigeració (zones D1 i E1).
- Per aquest mateix motiu, la bomba de calor aerotèrmica serveix per cobrir la calefacció, l'ACS i la refrigeració, però aquesta última només en les zones climàtiques on hi ha demanda, i es considera que s'utilitzen els radiadors i els equips interiors de climatització existents.
- El mateix passa amb la solució de canvi de caldera per bomba de calor i termoelèctrica.

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	17,1%	20,9%	13,2%	17,8%	1.522,8	830,5	19,5	9,3	10,6	5,1	E	E
P8		XPS 12 cm	18,2%	22,5%	14,2%	19,1%	2.103,2	1.410,9	25,1	11,9	16,8	8,0	E	E
P12		Llana mineral 12 cm	18,2%	22,4%	14,1%	19,0%	2.264,0	1.571,7	27,1	12,9	18,8	8,9	E	E
P38	Aïllament façana interior	EPS 5 cm	8,6%	10,9%	7,3%	9,2%	757,4	687,1	17,6	8,9	15,9	8,1	E	E
P43		Llana mineral 10 cm	9,8%	12,5%	8,3%	10,6%	596,3	526,0	12,2	6,1	10,7	5,4	E	E
P44		Cel·lulosa 5 cm	8,5%	10,6%	7,1%	9,0%	660,5	590,2	15,6	7,9	14,0	7,1	E	E
P55		Cotó 10 cm	9,9%	12,6%	8,4%	10,7%	841,3	771,0	17,0	8,5	15,6	7,8	E	E



Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P56	Milliores finestres	Marc PVC i vidre 4/12/4	5,8%	6,5%	4,3%	5,6%	1.968,7	938,7	>50	38,4	36,5	18,3	E	E
P58		Marc alumini RPT i vidre 4/12/4 *	4,9%	5,6%	3,5%	4,8%	2.321,2	1.291,2	>50	>50	>50	29,2	E	E
P60	Millora estanquitat	Rivets i cintes adhesives	1,8%	2,0%	1,4%	1,7%	41,2	20,6	5,2	2,7	2,6	1,3	E	E
P63	Aïllament coberta exterior	XPS 12 cm	5,7%	7,5%	4,7%	6,3%	1.358,3	420,5	48,4	23,2	15,0	7,2	E	E
P64	Aïllament coberta interior	EPS 4 cm	4,4%	5,5%	3,7%	4,7%	663,3	598,3	30,4	15,2	27,4	13,7	E	E
P69		Llana mineral 8 cm	5,3%	6,8%	4,4%	5,8%	539,0	474,0	20,7	10,0	18,2	8,8	E	E
P70	Tendal	Tendals articulats *	0,5%	NA	0,7%	NA	757,0	757,0	>50	NA	>50	NA	E	NA

\* NA = No aplicable. La mesura de la col·locació de tendals no s'aplica en les zones climàtiques D1 i E1, ja que el programa de simulació considera que la tipologia E no té demanda de refrigeració en aquestes zones climàtiques.

Taula 4.32. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia E en les zones climàtiques extremes.

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobre-cost (€/hab.)	Període de retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobre-cost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A1	Caldera de condensació de gas natural	17,9%	22,5%	12,9%	19,1%	1.946,2	446,2	17,0	8,6	3,9	2,0	E	E
A5	BC hab. pluri-familiar *	2,1%	NA	3,4%	NA	1.140,0	100,0	21,7	NA	1,9	NA	E	NA
A9	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor **	52,3%	63,0%	24,1%	30,6%	8.600,0	6.060,0	39,4	23,0	27,8	16,2	D	D
A17	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	5,4%	3,2%	3,9%	2,7%	14,0	14,0	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-
A19	Il·luminació LED	2,7%	1,5%	4,3%	2,7%	176,7	88,4	6,3	6,3	3,1	3,1	-	-
A21	Electrodom. A+++	10,0%	5,4%	16,0%	10,2%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9	-	-
A22	Il·luminació LED zones comunes	1,7%	1,0%	1,7%	1,0%	75,0	37,5	5,3	5,3	2,7	2,7	-	-
A23	Il·luminació LED i control zones comunes	2,6%	1,4%	2,6%	1,4%	110,0	72,5	5,9	5,9	3,9	3,9	-	-
A26	Canvi de caldera per BC i termoelèctrica ***	37,7%	50,4%	0,8%	7,1%	1.620,0	-920,0	12,9	8,4	0	0	E	E

Taula 4.33. Resultats de l'aplicació de les mesures actives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia E en les zones climàtiques extremes.

Algunes mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor aerotèrmica.

La mesura activa que presenta un volum d'inversió per habitatge més elevat és la bomba de calor aerotèrmica.

A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi poc rellevants, la instal·lació de lluminàries LED en les zones comunes i en els habitatges presenta un període de retorn inferior als 10 anys. S'ha de remarcar que la mesura de canvi de calderes per bombes de calor i termoelèctriques i la que

\* NA = No aplicable. La bomba de calor d'habitatge substitueix la màquina de climatització antiga i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. En les zones climàtiques on l'aplicació CE3X considera que no hi ha demanda de refrigeració (zones D1 i E1) no se'n pot valorar l'aplicació.

\*\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.

\*\*\* En les mesures de canvi de caldera per bomba de calor eficient i termoelèctrica per a ACS el sobre-cost d'inversió algunes vegades és negatiu, ja que el cost de reposició de la caldera i la bomba de calor convencionals és més gran que el de la termoelèctrica i la bomba de calor eficients.

incorpora detectors de presència en les mateixes lluminàries té períodes de retorn una mica superiors, però també acotats.

Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives, en aquest cas destaca l'aïllament de façana per l'interior, que presenta un estalvi energètic prou elevat per aconseguir períodes de retorn ajustats, inferiors a 10 anys en les zones climàtiques més fredes i inferiors als de l'aïllament de façana per l'exterior.

Les solucions passives que es consideren òptimes (relació cost-estalvi i període de retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS de 6 cm
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris)
- Aïllament de coberta:
  - Aïllament per l'exterior: XPS de 12 cm
  - Aïllament per l'interior: llana mineral de 8 cm

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini. També és més elevat l'estalvi amb el vidre de baixa emissivitat, que a la vegada redueix el període de retorn.

Només la bomba de calor aerotèrmica permet incrementar el nivell de qualificació energètica (pas de nivell E a D). La resta de mesures actives i passives no el milloren.

#### 4.2.1.6. Tipologia F. Plurifamiliars 1951-80 amb caldera col·lectiva

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+5, 3 blocs amb caldera col·lectiva
- Envoltant: façanes amb cambra d'aire, coberta plana i finestres de vidre senzill i marc de fusta
- Instal·lacions: caldera col·lectiva de gas natural antiga (rendiment estacional del 55%, inferior al de la caldera individual antiga, ja que es coneixen diverses instal·lacions col·lectives amb rendiments reals d'aquesta magnitud) i il·luminació de baix consum; disposa d'equip de refrigeració.

Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia F:

- En les zones climàtiques B3, C2, D2 i D3 d'aquesta tipologia sí que s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients i tendals, ja que l'edifici base disposa de refrigeració en aquestes zones climàtiques. En canvi, no s'incorporen les mesures esmentades en la resta de zones climàtiques.
- La bomba de calor eficient substitueix una màquina de refrigeració antiga, i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. Per això no es valora en les zones climàtiques on el programa no considera que hi hagi demanda de refrigeració (zones D1 i E1).
- Per aquest mateix motiu, la bomba de calor aerotèrmica serveix per cobrir la calefacció, l'ACS i la refrigeració, però aquesta última només en les zones climàtiques on hi ha demanda, i es considera que s'utilitzen els elements interiors existents.



Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	31,1%	34,1%	24,1%	30,5%	4.710,6	2.569,0	18,2	8,2	9,9	4,5	E	E
P8		XPS 12 cm	32,9%	36,3%	25,7%	32,4%	6.505,8	4.364,2	23,6	10,6	15,8	7,1	E	E
P12		Llana mineral 12 cm	32,8%	36,2%	25,6%	32,3%	7.003,2	4.861,6	25,5	11,5	17,7	8,0	E	E
P17	Aïllament cambra aire	EPS+ grafit 5 cm	7,6%	9,3%	6,4%	8,3%	1.729,1	1.534,3	25,0	11,0	22,2	9,8	E*	F
P19		EPS+ grafit 10 cm	8,9%	11,0%	7,6%	9,8%	2.760,4	2.565,6	33,9	14,9	31,5	13,9	E*	F
P22		Llana mineral 10 cm	8,8%	10,8%	7,5%	9,6%	1.452,0	1.257,2	18,1	8,0	15,7	6,9	E*	F
P23		PUR injectat 5 cm	7,4%	9,1%	6,3%	8,1%	837,8	643,0	12,4	5,5	9,5	4,2	E*	F
P28		Cel·lulosa 10 cm	8,6%	10,6%	7,4%	9,5%	1.275,6	1.080,8	16,1	7,1	13,7	6,0	E*	F
P38	Aïllament façana interior	EPS 5 cm	7,4%	9,1%	6,3%	8,1%	2.098,7	1.903,9	31,1	13,7	28,2	12,4	E*	F
P43		Llana mineral 10 cm	8,8%	10,8%	7,5%	9,6%	1.652,3	1.457,6	20,6	9,1	18,2	8,0	E*	F
P44		Cel·lulosa 5 cm	7,2%	8,8%	6,1%	7,9%	1.830,1	1.635,3	27,8	12,3	24,9	11,0	E*	F
P55		Cotó 10 cm	8,9%	11,0%	7,6%	9,8%	2.331,0	2.136,2	28,6	12,6	26,2	11,5	E*	F

Taula 4.34. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia F en les zones climàtiques extremes.



\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P56	Milliores fines-tres	Marc PVC i vidre 4/12/4	9,0%	9,4%	7,0%	8,4%	5.711,1	2.723,1	>50	35,9	36,1	17,1	E*	F
P58		Alumini i vidre 4/12/4	7,6%	8,1%	5,8%	7,2%	6.733,6	3.745,6	>50	49,5	60,0	27,5	E*	F
P60	Millora estanquitat	Rivets i etc.	2,8%	2,8%	2,2%	2,5%	119,5	59,8	5,0	2,6	2,5	1,3	F	F
P63	Aïllament coberta exterior	XPS 12 cm	1,4%	2,3%	1,2%	2,1%	9.098,1	2.816,6	>50	>50	>50	>50	F	F
P64	Aïllament coberta interior	EPS 4 cm	1,0%	1,6%	0,8%	1,4%	4.442,5	4.007,5	>50	>50	>50	>50	F	F
P69		Llana mineral 8 cm	1,3%	2,1%	1,0%	1,8%	3.610,3	3.175,2	>50	>50	>50	>50	F	F
P70	Tendal	Tendals articulats **	0,5%	NA	0,8%	NA	841,1	841,1	>50	NA	>50	NA	F	NA

\*\* NA = No aplicable. La mesura de la col·locació de tendals no s'aplica en les zones climàtiques D1 i E1, ja que el programa de simulació considera que la tipologia F no té demanda de refrigeració en aquestes zones climàtiques.

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A5	BC hab. plurifamiliar *	1,7%	NA	3,0%	NA	1.140,0	100,0	35,7	NA	3,1	NA	F	NA
A10	Caldera col·lectiva de condensació de gas natural	29,4%	35,0%	22,8%	31,3%	1.521,7	588,3	6,2	2,6	2,4	1,0	E	E
A11	Caldera col·lectiva de pèl·lets	25,5%	30,4%	28,3%	38,9%	2.175,8	1.242,5	7,5	3,0	4,3	1,7	B	A
A12	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor **	61,8%	67,5%	34,9%	35,9%	8.600,0	6.626,7	26,2	13,6	20,2	10,5	D *	E
A16	Solar tèrmica per plurifamiliar amb caldera col·lectiva	11,7%	6,4%	9,1%	5,7%	1.220,2	1.220,2	15,1	13,5	15,1	13,5	E	F
A17	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	3,9%	2,1%	3,0%	1,9%	14,0	14,0	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-
A19	Il·luminació LED	2,0%	1,0%	3,4%	2,0%	231,9	116,0	6,3	6,3	3,1	3,1	-	-
A21	Electrodomèstics	5,7%	2,8%	9,8%	5,5%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9	-	-
A22	Il·luminació LED zones comunes	1,3%	0,7%	1,3%	0,7%	75,0	37,5	3,7	3,7	1,9	1,9	-	-
A23	Il·luminació LED i control zones comunes	2,0%	1,0%	2,0%	1,0%	110,0	72,5	4,0	4,0	2,6	2,6	-	-

Taula 4.35. Resultats de l'aplicació de les mesures actives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia F en les zones climàtiques extremes.

En general, les mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor aerotèrmica, seguit de la renovació de la caldera per una de condensació de gas natural i la caldera de pèl·lets.

La mesura activa que presenta un volum d'inversió per habitatge més elevat és la bomba de calor aerotèrmica.

A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi poc rellevants, la instal·lació de lluminàries LED en zones comunes (amb

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

\*\* NA = No aplicable. La bomba de calor d'habitatge substitueix la màquina de climatització antiga i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. En les zones climàtiques on l'aplicació CE3X considera que no hi ha demanda de refrigeració (zones D1 i E1) no se'n pot valorar l'aplicació.

\*\*\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.

detectors de presència o sense), les lluminàries LED en habitatges i la renovació de les calderes, fins i tot la de pèl·lets, presenten períodes de retorn inferiors als 10 anys.

Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives destaquen:

- L'aïllament de façana per l'exterior, com a mesura que proporciona estalvi energètic més elevat i un període de retorn ajustat
- Algunes solucions i materials d'aïllament de façana en la cambra d'aire que presenten un volum d'inversió per habitatge força ajustat i un període de retorn inferior als 10 anys en les zones més fredes

Les solucions passives que es consideren òptimes (relació cost-estalvi i període de retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS de 6 cm
  - En el cas d'aïllament en la cambra d'aire:
    - PUR injectat per a cambra de 5 cm
    - Cel·lulosa injectada per a cambra d'aire de 10 cm (la de la tipologia escollida)
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris)
- Aïllament de coberta:
  - Aïllament per l'exterior: XPS de 12 cm
  - Aïllament per l'interior: llana mineral de 8 cm

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini. També és més elevat l'estalvi amb el vidre de baixa emissivitat, que a la vegada redueix el període de retorn.

En general, les mesures actives permeten incrementar el nivell de qualificació energètica (vegeu annex):<sup>7</sup>

- La caldera col·lectiva de pèl·lets permet passar del nivell G a l'A en la majoria de zones climàtiques.
- La bomba de calor aerotèrmica aconsegueix passar del nivell G al D o E segons la zona climàtica, més alt a les zones càlides perquè la demanda base és menor.
- Les calderes de condensació fan passar del nivell G a l'E.
- La solar tèrmica per a caldera col·lectiva permet passar del nivell G a l'F en la majoria de zones climàtiques.

Les mesures passives també permeten incrementar el nivell de qualificació energètica:

- Aïllament de façana per l'exterior (pas del nivell G a l'E).
- L'aïllament de façana per l'interior o en la cambra d'aire permet passar del nivell G a l'F, i a l'E en la zona climàtica B3.
- La millora de finestres permet passar del nivell G a l'F, i en la zona climàtica B3 es passa a l'E.

<sup>7</sup> Tot i que els envoltants de la tipologia F i G són idèntics, no ho són les característiques de les seves instal·lacions. S'ha de prendre en consideració que la tipologia F té una qualificació energètica G, més baixa que la resta de tipologies, a causa del baix rendiment estacional de la instal·lació de caldera col·lectiva existent. Per aquest motiu els resultats de millora de la qualificació energètica de l'aplicació de les diferents mesures són més destacables que en la resta de tipologies.

#### 4.2.1.7. Tipologia G. Plurifamiliars 1951-80 sense caldera col·lectiva

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+5
- Envolupant: façanes amb cambra d'aire, coberta plana i finestres de vidre senzill i marc de fusta
- Instal·lacions: caldera de gas natural antiga i il·luminació de baix consum; disposa d'equip de refrigeració

Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia G:

- En les zones climàtiques B3, C2, D2 i D3 d'aquesta tipologia sí que s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients i tendals, ja que l'edifici base disposa de refrigeració en aquestes zones climàtiques. En canvi, no s'incorporen les mesures esmentades en la resta de zones climàtiques.
- La bomba de calor eficient substitueix una màquina de refrigeració antiga, i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. Per això no es valora en les zones climàtiques on el programa no considera que hi hagi demanda de refrigeració (zones D1 i E1).
- Per aquest mateix motiu, la bomba de calor aerotèrmica serveix per cobrir la calefacció, l'ACS i la refrigeració, però aquesta última només en les zones climàtiques on hi ha demanda, i es considera que s'utilitzen els elements interiors existents.
- El mateix passa amb la solució de canvi de caldera per bomba de calor i termoelèctrica.

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	29,2%	33,2%	21,7%	28,9%	4.710,6	2.569,0	23,2	10,4	12,6	5,7	E	E
P8		XPS 12 cm	30,9%	35,3%	23,2%	30,8%	6.505,8	4.364,2	29,8	13,5	20,0	9,1	E	E
P12		Llana mineral 12 cm	30,8%	35,2%	23,1%	30,7%	7.003,2	4.861,6	32,3	14,6	22,4	10,1	E	E
P17	Aïllament cambra aire	EPS+ grafit 5 cm	7,3%	9,1%	6,0%	7,9%	1.729,1	1.534,3	30,5	14,0	27,0	12,4	E	E
P19		EPS+ grafit 10 cm	8,5%	10,7%	7,1%	9,3%	2.760,4	2.565,7	41,2	19,0	38,3	17,6	E	E
P22		Llana mineral 10 cm	8,4%	10,5%	7,0%	9,2%	1.452,0	1.257,2	22,0	10,1	19,1	8,8	E	E
P23		PUR injectat 5 cm	7,1%	8,8%	5,9%	7,7%	837,8	643,0	15,2	7,0	11,6	5,3	E	E
P28		Cel·lulosa 10 cm	8,3%	10,3%	6,9%	9,0%	1.275,6	1.080,8	19,7	9,0	16,7	7,7	E	E



Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P38	Aïllament façana interior	EPS 5 cm	7,1%	8,8%	5,9%	7,7%	2.098,7	1.903,9	38,0	17,5	34,5	15,8	E	E
P43		Llana mineral 10 cm	8,4%	10,5%	7,0%	9,2%	1.652,3	1.457,6	25,1	11,5	22,1	10,2	E	E
P44		Cel·lulosa 5 cm	6,9%	8,6%	5,7%	7,5%	1.830,1	1.635,3	34,0	15,6	30,3	14,0	E	E
P55		Cotó 10 cm	8,5%	10,7%	7,1%	9,3%	2.331,0	2.136,2	34,8	16,0	31,9	14,7	E	E
P56	Milliores finestres	Marc PVC i vidre 4/12/4	8,4%	9,2%	6,4%	8,0%	5.711,1	2.723,1	>50	45,7	45,6	21,8	E	E
P58		Alumini RPT i vidre 4/12/4	7,1%	7,8%	5,2%	6,8%	6.733,6	3.745,6	>50	>50	>50	35,0	E	E
P60	Millora estancitat	Rivets, etc.	2,6%	2,7%	2,0%	2,3%	119,5	59,8	6,2	3,3	3,1	1,6	E	E
P63	Aïllament coberta exterior	XPS 12 cm	1,3%	2,3%	1,1%	2,0%	3.321,5	1.028,3	>50	>50	>50	33,5	E	E
P64	Aïllament coberta interior	EPS 4 cm	0,9%	1,5%	0,7%	1,3%	1.621,9	1.463,0	>50	>50	>50	>50	E	E
P69		Llana mineral 8 cm	1,2%	2,0%	0,9%	1,7%	1.318,0	1.159,2	>50	48,2	>50	42,4	E	E
P70	Tendal	Tendals articulats	0,9%	NA	1,4%	NA	841,1	841,1	>50	NA	>50	NA	E	NA

\*\* NA = No aplicable. La mesura de la col·locació de tendals no s'aplica en les zones climàtiques D1 i E1, ja que el programa de simulació considera que la tipologia G no té demanda de refrigeració en aquestes zones climàtiques.

Taula 4.36. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia G en les zones climàtiques extremes.

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A1	Caldera de condensació de gas natural	18,7%	23,1%	13,8%	20,1%	1.946,2	446,2	15,0	6,2	3,4	1,4	E	E
A5	BC hab. plurifamiliar **	2,1%	NA	3,4%	NA	1.140,0	100,0	35,7	NA	3,1	NA	E	NA
A9	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor ***	54,4%	59,7%	25,6%	22,5%	8.600,0	6.060,0	31,9	22,5	22,5	15,8	D *	E
A17	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	3,7%	2,1%	2,7%	1,8%	14,0	14,0	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-
A19	Il·luminació LED	2,4%	1,2%	3,9%	2,4%	231,9	116,0	6,3	6,3	3,1	3,1	-	-
A21	Electrodomèstics A+++	6,8%	3,5%	11,2%	6,7%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9	-	-
A22	Il·luminació LED zones comunes	1,6%	0,8%	1,6%	0,8%	75,0	37,5	3,7	3,7	1,9	1,9	-	-
A23	Il·luminació LED i control zones comunes	2,3%	1,2%	2,3%	1,2%	110,0	72,5	4,0	4,0	2,6	2,6	-	-
A26	Canvi de caldera per BC i termoelèctric ****	44,7%	54,8%	9,6%	13,2%	1.620,0	-920,0	9,0	5,5	0	0	E	E

Taula 4.37. Resultats de l'aplicació de les mesures actives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia G en les zones climàtiques extremes

En general, les mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor aerotèrmica, seguit de la substitució de la caldera per bomba de calor i termoelèctrica i la renovació de la caldera per una de condensació de gas natural.

La mesura activa que presenta un volum d'inversió més elevat és la bomba de calor aerotèrmica.

A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi petits, el canvi de calderes per bombes de calor i termoelèctrics, la instal·

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

\*\* NA = No aplicable. La bomba de calor d'habitatge substitueix la màquina de climatització antiga i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. En les zones climàtiques on l'aplicació CE3X considera que no hi ha demanda de refrigeració (zones D1 i E1) no se'n pot valorar l'aplicació.

\*\*\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.

\*\*\*\* En les mesures de canvi de caldera per bomba de calor eficient i termoelèctrica per a ACS el sobrecost d'inversió algunes vegades és negatiu, ja que el cost de reposició de la caldera i la bomba de calor convencionals és més gran que el del termoelèctric i la bomba de calor eficients.

lació de lluminàries LED en zones comunes (amb o sense detectors de presència) i les lluminàries LED en habitatges presenten períodes de retorn inferiors als 10 anys. La renovació de calderes de condensació de gas natural presenta un període de retorn inferior als 10 anys en la majoria de les zones climàtiques.

La mesura que presenta un període de retorn més llarg és la bomba de calor aerotèrmica.

Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives, destaquen:

- L'aïllament de façana per l'exterior com a mesura que proporciona estalvi energètic més elevat i un període de retorn ajustat.
- Algunes solucions i materials d'aïllament de façana en la cambra d'aire, com p.ex. el PUR injectat de 5 cm, que presenten un volum d'inversió per habitatge força ajustat i un període de retorn inferior als 10 anys en les zones més fredes.

Les solucions passives que es consideren òptimes (relació cost-estalvi i període de retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS de 6 cm
  - En el cas d'aïllament en la cambra d'aire:
    - Cambra de 5 cm: PUR injectat
    - Cambra de 10 cm: cel·lulosa injectada
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris)
- Aïllament de coberta:
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 8 cm
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: XPS de 12 cm

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini. També és més elevat l'estalvi amb el vidre de baixa emissivitat, que a la vegada redueix el període de retorn.

Només la bomba de calor aerotèrmica permet incrementar el nivell de qualificació energètica (pas de nivell E a D en algunes zones climàtiques). La resta de mesures actives i passives no el milloren.

#### 4.2.1.8. Tipologia H. Plurifamiliars 1981-90

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+5
- Envoltant: façanes amb cambra d'aire i capa d'aïllament de 3 cm, coberta plana i finestres de doble envidrament aïllant tèrmic 4/6/4 i marc d'alumini sense trencament de pont tèrmic
- Instal·lacions: caldera de gas natural antiga i il·luminació de baix consum; disposa d'equip de refrigeració

Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia H:

- En les zones climàtiques B3, C2, D2 i D3 d'aquesta tipologia sí que s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients i tendals, ja que l'edifici base disposa de refrigeració en aquestes zones climàtiques. En canvi, no s'incorporen les mesures esmentades en la resta de zones climàtiques.
- La bomba de calor eficient substitueix una màquina de refrigeració antiga, i per



tant s'utilitza únicament per refrigerar. Per això no es valora en les zones climàtiques on el programa no considera que hi hagi demanda de refrigeració (zones D1 i E1).

- Per aquest mateix motiu, la bomba de calor aerotèrmica serveix per cobrir la calefacció, l'ACS i la refrigeració, però aquesta última només en les zones climàtiques on hi ha demanda, i es considera que s'utilitzen els elements interiors existents.
- El mateix passa amb la solució de canvi de caldera per bomba de calor i termoelectrònica.

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	30,7%	35,6%	20,9%	30,3%	4.459,6	2.432,1	21,3	8,9	11,6	4,9	D*	E
P8		XPS 12 cm	32,1%	37,1%	22,0%	31,6%	6.159,2	4.131,7	27,8	11,9	18,6	7,9	D	D
P12		Llana mineral 12 cm	32,0%	37,0%	21,9%	31,5%	6.630,1	4.602,6	30,0	12,8	20,9	8,9	D	D
P17	Aïllament cambra aire	EPS+ grafit 5 cm	1,9%	2,5%	1,6%	2,1%	1.495,2	1.326,8	>50	42,4	>50	37,6	E	E
P19		EPS+ grafit 10 cm	2,7%	3,4%	2,3%	2,9%	2.387,1	2.218,6	>50	49,8	>50	46,3	E	E
P22		Llana mineral 10 cm	2,6%	3,3%	2,2%	2,8%	1.255,6	1.087,2	>50	27,0	49,5	23,4	E	E
P23		PUR injectat 5 cm	1,9%	2,4%	1,6%	2,0%	724,5	556,0	46,1	21,5	35,3	16,5	E	E
P28		Cel·lulosa 10	2,5%	3,2%	2,1%	2,7%	1.103,1	934,6	>50	24,5	43,9	20,7	E	E
P38		Aïllament façana interior	EPS 5 cm	1,9%	2,4%	1,6%	2,0%	1.814,8	1.646,4	>50	>50	>50	48,9	E
P43	Llana mineral 10 cm		2,6%	3,3%	2,2%	2,8%	1.428,9	1.260,4	>50	30,7	>50	27,1	E	E
P44	Cel·lulosa 5 cm		1,8%	2,3%	1,5%	2,0%	1.582,6	1.414,2	>50	49,1	>50	43,9	E	E



\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P55	Aïllament façana interior	Cotó 10 cm	2,7%	3,4%	2,3%	2,9%	2.015,7	1.847,3	>50	42,0	>50	38,5	E	E
P56	Milliores finestres	Marc PVC i vidre 4/12/4	6,4%	6,4%	5,0%	5,4%	5.559,2	2.650,7	>50	>50	>50	29,7	E	E
P58		Alumini RPT i vidre 4/12/4	4,8%	4,6%	3,6%	4,0%	6.554,5	3.646,0	>50	>50	>50	>50	E	E
P60	Millora estancament	Rlvets, etc.	0,5%	0,1%	0,4%	0,1%	116,3	58,2	27,7	>50	13,9	28,3	E	E
P63	Aïllament coberta exterior	XPS 12 cm	0,8%	1,2%	0,6%	1,0%	1.968,5	609,4	>50	>50	>50	35,8	E	E
P64	Aïllament coberta interior	EPS 4 cm	0,4%	0,7%	0,3%	0,6%	961,2	867,1	>50	>50	>50	>50	E	E
P69		Llana mineral 8 cm	0,6%	1,0%	0,5%	0,9%	781,1	687,0	>50	>50	>50	47,9	E	E
P70	Tendal	Tendals articulats **	0,3%	NA	0,4%	NA	841,1	841,1	>50	NA	>50	NA	E	NA

\*\* NA = No aplicable. La mesura de la col·locació de tendals no s'aplica en les zones climàtiques D1 i E1, ja que el programa de simulació considera que la tipologia H no té demanda de refrigeració en aquestes zones climàtiques.

Taula 4.38. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia H en les zones climàtiques extremes

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A1	Caldera de condensació de gas natural	17,3%	22,5%	12,3%	19,2%	1.946,2	446,2	15,7	6,2	3,6	1,4	E	E
A5	BC hab. plurifamiliar *	2,4%	NA	3,7%	NA	1.140,0	100,0	30,4	NA	2,7	NA	E	NA
A9	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor **	51,0%	63,1%	23,4%	30,8%	8.600,0	6.060,0	32,4	16,0	22,8	11,3	D	D
A17	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	3,6%	2,0%	2,5%	1,7%	14,0	14,0	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-
A19	Il·luminació LED	2,8%	1,4%	4,4%	2,7%	280,7	140,3	6,3	6,3	3,1	3,1	-	-
A21	Electrodomèstics A+++	6,7%	3,4%	10,4%	6,4%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9	-	-
A22	Il·luminació LED zones comunes	1,8%	1,0%	1,8%	1,0%	75,0	37,5	3,0	3,0	1,5	1,5	-	-
A23	Il·luminació LED i control zones comunes	2,8%	1,4%	2,8%	1,4%	110,0	72,5	3,1	3,1	2,0	2,0	-	-
A26	Canvi de caldera per BC i termoelèctric ***	41,3%	53,2%	8,2%	12,6%	1.620,0	-920,0	9,4	5,4	0,0	0,0	E	E

Taula 4.39. Resultats de l'aplicació de les mesures actives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia H en les zones climàtiques extremes

En general, les mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor aerotèrmica, seguida de la substitució de la caldera per bomba de calor i termoelèctrica i la renovació de la caldera per una de condensació de gas natural.

La mesura activa que presenta un volum d'inversió més elevat és la bomba de calor aerotèrmica.

A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi petits, el canvi de calderes per bombes de calor i termoelèctrics, la instal·lació de lluminàries LED, tant en zones comunes (amb detectors de presència o sen-

\* NA = No aplicable. La bomba de calor d'habitatge substitueix la màquina de climatització antiga i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. En les zones climàtiques on l'aplicació CE3X considera que no hi ha demanda de refrigeració (zones D1 i E1) no se'n pot valorar l'aplicació.

\*\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.

\*\*\* En les mesures de canvi de caldera per bomba de calor eficient i termoelèctric per a ACS, el sobrecost d'inversió algunes vegades és negatiu, ja que el cost de reposició de la caldera i de la bomba de calor convencionals és més gran que el del termoelèctric i la bomba de calor eficients.

se) com en habitatges, presenten períodes de retorn inferiors als 10 anys. La renovació de calderes de condensació per gas natural té un període de retorn al voltant dels 10 anys en les zones climàtiques més fredes.

La mesura que presenta un període de retorn més llarg és la bomba de calor aerotèrmica.

Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives, destaca:

- L'aïllament de façana per l'exterior, com a mesura que proporciona més estalvi energètic i un període de retorn ajustat.

Les solucions passives que es consideren òptimes (relació cost-estalvi i període de retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS de 6 cm
  - En el cas d'aïllament en la cambra d'aire:
    - Cambra de 5 cm: PUR injectat
    - Cambra de 10 cm: cel·lulosa injectada
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris)
- Aïllament de coberta:
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 8 cm
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: XPS de 12 cm

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini. També és més elevat l'estalvi amb el vidre de baixa emissivitat, que a la vegada redueix el període de retorn.

Només la bomba de calor aerotèrmica, el canvi de calderes per bombes de calor i termoelectrics, i l'aïllament de façana per l'exterior, en algunes zones climàtiques, permeten incrementar el nivell de qualificació energètica (pas de nivell E a D). La resta de mesures actives i passives no el milloren.

#### 4.2.1.9. Tipologia I. Plurifamiliars 1991-2011

Recordatori de les característiques bàsiques de l'habitatge:

- Habitatge entre mitgeres, PB+3
- Envolupant: façanes amb cambra d'aire i capa d'aïllament de 4 cm, coberta plana i finestres de doble envidrament aïllant tèrmic 4/12/4 i marc d'alumini sense trencament de pont tèrmic
- Instal·lacions: caldera de gas natural antiga i il·luminació de baix consum; disposa d'equip de refrigeració

Característiques de l'aplicació de les mesures en habitatges de la tipologia I:

- En les zones climàtiques B3, C2, D2 i D3 d'aquesta tipologia sí que s'incorporen les mesures d'instal·lació de bombes de calor eficients i tendals, ja que l'edifici base disposa de refrigeració en aquestes zones climàtiques. En canvi, no s'incorporen les mesures esmentades en la resta de zones climàtiques.
- La bomba de calor eficient substitueix una màquina de refrigeració antiga, i per

tant s'utilitza únicament per refrigerar. Per això no es valora en les zones climàtiques on el programa no considera demanda de refrigeració (zones D1 i E1).

- Per aquest mateix motiu, la bomba de calor aerotèrmica serveix per cobrir la calefacció, l'ACS i la refrigeració, però aquesta última només en les zones climàtiques on hi ha demanda, i es considera que s'utilitzen els elements interiors existents.
- El mateix passa amb la solució de canvi de caldera per bomba de calor i termoelectrònica.

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P1	Aïllament façana exterior	EPS 6 cm	19,1%	21,6%	12,3%	17,3%	5.945,0	3.242,2	>50	26,8	31,7	14,6	D	D
P8		XPS 12 cm	19,5%	23,4%	12,6%	18,8%	8.210,7	5.507,9	>50	34,0	>50	22,8	D	D
P12		Llana mineral 12 cm	19,5%	23,3%	12,6%	18,7%	8.838,5	6.135,6	>50	36,8	>50	25,5	D	D
P17	Aïllament cambra aire	EPS+grafit 5 cm	3,4%	3,9%	2,6%	3,1%	1.990,2	1.766,0	>50	49,6	>50	44,1	D*	E
P19		EPS+grafit 10 cm	4,5%	5,4%	3,4%	4,3%	3.177,3	2.953,1	>50	>50	>50	>50	D*	E
P22		Llana mineral 10 cm	4,3%	5,2%	3,3%	4,2%	1.671,3	1.447,1	>50	31,3	>50	27,1	D*	E
P23		PUR injectat 5 cm	3,3%	3,7%	2,5%	3,0%	964,3	740,1	46,7	25,2	35,9	19,3	D*	E
P28		Cel·lulosa 10 cm	4,2%	5,0%	3,2%	4,0%	1.468,2	1.244,0	>50	28,4	46,5	24,1	D*	E
P38	Aïllament façana interior	EPS 5 cm	3,3%	3,7%	2,5%	3,0%	2.415,6	2.191,4	>50	>50	>50	>50	D*	E
P43		Llana mineral 10 cm	4,3%	5,2%	3,3%	4,2%	1.901,9	1.677,7	>50	35,6	>50	31,4	D*	E
P44		Cel·lulosa 5 cm	3,2%	3,5%	2,4%	2,8%	2.106,5	1.882,3	>50	>50	>50	>50	D*	E
P55		Cotó 10 cm	4,5%	5,4%	3,4%	4,3%	2.683,0	2.458,8	>50	48,6	>50	44,6	D*	E



\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

Codi	Tipus de mesura	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
			B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
P56	Milliores fines-tres	Marc PVC i vidre 4/12/4	6,8%	6,4%	5,2%	5,2%	5.246,7	2.501,7	>50	>50	>50	37,7	D *	E
P58		Alumini RPT i vidre 4/12/4	4,3%	4,1%	3,2%	3,3%	6.186,0	3.441,0	>50	>50	>50	>50	D *	E
P60	Millora estanquitat	Rivets, etc.	0,5%	0,1%	0,3%	0,1%	109,8	54,9	41,0	>50	20,5	38,9	D *	E
P63	Aïllament coberta exterior	XPS 12 cm	2,6%	3,2%	1,8%	2,6%	3.423,4	1.059,8	>50	>50	>50	32,3	D *	E
P64	Aïllament coberta interior	EPS 4 cm	1,4%	1,8%	1,0%	1,4%	1.671,6	1.507,9	>50	>50	>50	>50	D *	E
P69		Llana mineral 8 cm	2,1%	2,6%	1,5%	2,1%	1.358,4	1.194,8	>50	49,9	>50	43,9	D *	E
P70	Tendal	Tendals articulats **	0,3%	NA	0,4%	NA	841,1	841,1	>50	NA	>50	NA	D	NA

\* La qualificació energètica en les zones més càlides és millor perquè la demanda energètica de partida és menor i és més fàcil arribar al llindar del salt de nivell de qualificació (lletra).

\*\* NA = No aplicable. La mesura de la col·locació de tendals no s'aplica en les zones climàtiques D1 i E1, ja que el programa de simulació considera que la tipologia E no té demanda de refrigeració en aquestes zones climàtiques.

Taula 4.40. Resultats de l'aplicació de les mesures passives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia I en les zones climàtiques extremes.

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període de retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
A1	Caldera de condensació de gas natural	14,0%	20,9%	9,0%	16,8%	1.946,2	446,2	26,0	9,0	6,0	2,1	D	D
A5	BC hab. plurifamiliar *	3,0%	NA	4,2%	NA	1.140,0	100,0	32,4	NA	2,8	NA	D	NA
A9	BC aerotèrmica per a ACS, fred i calor **	42,3%	54,1%	18,6%	18,8%	8.600,0	6.060,0	46,5	31,6	32,7	22,3	C	C
A17	Airejadors i reductors de cabal d'ACS	4,1%	2,4%	2,7%	1,9%	14,0	14,0	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-
A19	Il·luminació LED	4,0%	2,1%	5,6%	3,6%	292,7	146,4	6,3	6,3	3,1	3,1	-	-
A21	Electrodomèstics A+++	8,9%	4,6%	12,6%	8,2%	1.250,0	300,0	11,9	11,9	2,9	2,9	-	-
A22	Il·luminació LED zones comunes	2,5%	1,3%	2,5%	1,3%	75,0	37,5	2,8	2,8	1,4	1,4	-	-
A23	Il·luminació LED i control zones comunes	3,8%	2,0%	3,8%	2,0%	110,0	72,5	2,9	2,9	1,9	1,9	-	-
A26	Canvi de caldera per BC i termoelèctric (***)	31,0%	48,5%	2,6%	8,9%	1.620,0	-920,0	14,5	7,9	0	0	D	D

Taula 4.41. Resultats de l'aplicació de les mesures actives d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia I en les zones climàtiques extremes

En general, les mesures actives proporcionen un estalvi més elevat que les mesures passives, especialment la bomba de calor aerotèrmica, seguida de la substitució de la caldera per bomba de calor i termoelèctrica i la renovació de la caldera per una de condensació de gas natural.

La mesura activa que presenta un volum d'inversió més elevat és la bomba de calor aerotèrmica. A més a més dels airejadors i reductors del cabal de l'ACS, que presenten un cost i un estalvi petits, la instal·lació de lluminàries LED, tant en zones comunes (amb detectors de presència o sense) com en habitatges, presenten períodes de retorn inferiors als 10 anys.

\* NA = No aplicable. La bomba de calor d'habitatge substitueix la màquina de climatització antiga i per tant s'utilitza únicament per refrigerar. En les zones climàtiques on l'aplicació CE3X considera que no hi ha demanda de refrigeració (zones D1 i E1) no se'n pot valorar l'aplicació.

\*\* Tot i que el rendiment de la bomba de calor aerotèrmica sigui superior a les zones més càlides, no es veu reflectit en l'estalvi global de l'habitatge, ja que en les zones més fredes hi ha més demanda de calefacció i per tant l'efecte en l'estalvi global de l'increment de demanda de calefacció és més significatiu que el derivat de la reducció de demanda de refrigeració.

\*\*\* En les mesures de canvi de caldera per bomba de calor eficient i termoelèctric per a ACS, el sobrecost d'inversió algunes vegades és negatiu, ja que el cost de reposició de la caldera i la bomba de calor convencionals és més gran que el del termoelèctric i la bomba de calor eficients.

La mesura que presenta un període de retorn més llarg és la bomba de calor aerotèrmica.

Els resultats són diferents segons les zones climàtiques. Normalment s'assoleixen estalvis energètics més elevats i períodes de retorn més curts en les zones climàtiques més fredes (E1).

D'entre les mesures passives, destaca:

- L'aïllament de façana per l'exterior, com a mesura que proporciona més estalvi energètic i un període de retorn ajustat

Les solucions passives que es consideren òptimes (relació cost-estalvi i període de retorn) són:

- Aïllament de façana:
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: EPS de 6 cm
  - En el cas d'aïllament en la cambra d'aire:
    - Cambra de 5 cm: PUR injectat
    - Cambra de 10 cm: cel·lulosa injectada
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 7 cm (per envair en menor mesura l'espai dels usuaris)
- Aïllament de coberta:
  - En el cas d'aïllament per l'interior: llana mineral de 8 cm
  - En el cas d'aïllament per l'exterior: XPS de 12 cm

Les finestres amb marc de PVC proporcionen un estalvi energètic més elevat, resulten més econòmiques i presenten un període de retorn menor que les d'alumini. També és més elevat l'estalvi amb el vidre de baixa emissivitat, que a la vegada redueix el període de retorn.

Les mesures actives que permeten incrementar el nivell de qualificació energètica són:

- Les calderes de condensació de gas natural i la substitució de la caldera per una bomba de calor i un termoelèctric (pas del nivell E al D)
- La bomba de calor aerotèrmica (pas del nivell E al C)

Les mesures passives que permeten incrementar el nivell de qualificació energètica són:

- Aïllament de façana per l'exterior (pas del nivell E al D)
- L'aïllament de façana per l'interior o en la cambra d'aire (pas del nivell E al D, en algunes zones climàtiques)
- L'aïllament de coberta per l'interior, només en la zona climàtica B3 (pas del nivell E al D)

#### 4.2.2. Conclusions globals

Les tecnologies i mesures d'eficiència energètica que aconsegueixen més estalvi energètic són:

- La bomba de calor geotèrmica és la mesura que assoleix més estalvi energètic (entre un 50 i un 73% d'estalvi d'energia final en funció de la tipologia i la zona climàtica), però en edificis existents només es pot aplicar en habitatges unifamiliars que disposin d'un jardí o terreny adjacent força gran per fer les perforacions necessàries.



- La bomba de calor aerotèrmica per a ACS, fred i calor també obté estalvis molt importants, concretament entre un 42 i un 67% d'estalvi d'energia final en funció de la tipologia i la zona climàtica.
- La substitució de la caldera per una bomba de calor i un termoelectric també obté estalvis importants, d'entre el 31 i el 56% d'energia final, en funció de la tipologia i de la zona climàtica.
- La renovació de caldera col·lectiva de condensació de gas natural també presenta estalvis importants, entre el 29 i el 35% del consum d'energia final en funció de la zona climàtica. Addicionalment, és una de les mesures amb un període de retorn més curt, entre 3 i 7 anys quant a la inversió i entre 1 i 3 anys quant al sobrecost. Aquesta mesura només s'aplica a edificis que ja disposen de caldera col·lectiva per a calefacció i ACS (tipologia F), en els quals, quan és possible instal·lar-la, també obté estalvis importants la caldera col·lectiva de pèl·lets (entre un 26 i un 30% d'estalvi, concretament).
- La col·locació d'aïllament de façana per l'exterior (SATE) és la mesura passiva que aconsegueix més estalvi energètic, concretament entre un 17 i un 37% en funció de la tipologia i de la zona climàtica.

Les tecnologies i mesures d'eficiència energètica que permeten obtenir períodes de retorn de la inversió més curts són:

- La renovació de la caldera de condensació de gas natural, que presenta períodes de retorn simple de la inversió iguals o inferiors a 10 anys en habitatges unifamiliars en totes les zones climàtiques (excepte en habitatges de tipologies C i D situats a la zona climàtica B3), i períodes de retorn simple del sobrecost inferiors a 5 anys en totes les zones climàtiques i totes les tipologies excepte en habitatges de tipologia I (plurifamiliars més nous) situats a la zona B3.
- La renovació de calderes de condensació col·lectives de gas natural o de pèl·lets, que presenta períodes de retorn inferiors a 5 anys en totes les zones climàtiques excepte la B3, en què són superiors a 5 anys, però inferiors a 8.
- La substitució de la caldera per una bomba de calor i un termoelectric presenta períodes de retorn generalment inferiors als 10 anys, que esdevenen inferiors als 5 anys en les zones climàtiques més fredes.
- Els airejadors i reductors de cabal d'ACS, que tenen períodes de retorn simple inferiors a un any en totes les tipologies i zones climàtiques.
- Els rivets i cintes adhesives, que presenten períodes de retorn inferiors a 5 anys en les tipologies d'edificis més antics, anteriors a 1980 (tipologies A, B, E, F i G), en totes les zones climàtiques excepte en la B3, en què és superior a 5 anys però inferior a 7.

Les mesures que permeten incrementar més el nivell de qualificació energètica (la lletra de l'etiqueta energètica) són:

- La caldera de pèl·lets (aplicable només a habitatges unifamiliars i en alguns casos a habitatges plurifamiliars amb caldera col·lectiva [tipologia F]), que és l'única mesura que permet assolir una qualificació A perquè la biomassa es considera un combustible que emet emissions de CO<sub>2</sub>eq gairebé igual a zero, concretament 0,018 kg de CO<sub>2</sub>eq/kWh.
- La bomba de calor geotèrmica, també aplicable només a habitatges unifamiliars.
- La bomba de calor aerotèrmica, en algunes tipologies.

- La substitució de la caldera per una bomba de calor i un termoelèctric, en totes les tipologies unifamiliars i en algunes zones climàtiques d'algunes tipologies plurifamiliars.
- La caldera de condensació, només en les tipologies d'habitatge B, F i I.
- La mesura passiva que permet incrementar el nivell de qualificació energètica és l'aïllament de façana per l'exterior, però només en algunes tipologies, en algunes zones climàtiques i amb alguns gruixos concrets. A banda d'aquesta, l'aïllament de façana per l'interior o en la cambra d'aire també permet incrementar la qualificació energètica en algunes zones climàtiques de les tipologies F i I.

### 4.3. Rendibilitat econòmica i idoneïtat de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica

#### 4.3.1. Selecció de paquets de mesures passives

##### 4.3.1.1. Compliment de la transmitància tèrmica límit del DB-HE1 CTE 2013

Primerament, s'analitza el compliment de la transmitància tèrmica límit del DB-HE1 del CTE 2013 en cadascuna de les mesures i zones climàtiques proposades pel gruix més petit i, per tant, el que té un risc més elevat de no complir amb la transmitància límit. Així es descartaran aquelles mesures que no compleixin aquest límit a l'hora de triar els paquets de mesures. En les taules 4.42 i 4.43 es mostra les transmitàncies segons el Codi Tècnic de l'Edificació 2013.

Zona climàtica	Aïllament façana per l'exterior				Aïllament façana per l'interior			
	U EPS/ MW 6 cm	U XPS 6 cm	U suro 6 cm	U lím. CTE	U EPS/ MW 5 cm	U cel- lulosa/ suro 5 cm	U cotó 5 cm	U lím. CTE
B3	0,40	0,38	0,42	0,82	0,45	0,47	0,42	0,82
C2	0,40	0,38	0,42	0,73	0,45	0,47	0,42	0,73
D1	0,40	0,38	0,42	0,66	0,45	0,47	0,42	0,66
D2	0,40	0,38	0,42	0,66	0,45	0,47	0,42	0,66
D3	0,40	0,38	0,42	0,66	0,45	0,47	0,42	0,66
E1	0,40	0,38	0,42	0,57	0,45	0,47	0,42	0,57

Taula 4.42. Resum de comprovacions pel compliment de la transmitància (U, en W/m<sup>2</sup>·K) valors de referència del CTE 2013 en façanes

Taula 4.43. Resum de comprovacions pel compliment de la transmitància (U, en W/m<sup>2</sup>·K) valors de referència CTE 2013 en cobertes i finestres

Zona climàtica	Aïllament coberta interior diferents gruixos			Aïllament coberta exterior		Millora de finestres		
	U EPS/MW 4 cm	U EPS/MW 6 cm	U límit CTE	XPS 8 cm	U lim CTE	PVC*	Alumini amb RTP*	U límit CTE
B3	0,36	0,30	0,45	0,25	0,45	2,35	2,89	3,3
C2	0,36	0,30	0,41	0,25	0,41	2,35	2,89	2,9
D1	0,36	0,30	0,38	0,25	0,38	2,35	2,89	2,5
D2	0,36	0,30	0,38	0,25	0,38	2,35	2,89	2,5
D3	0,36	0,30	0,38	0,25	0,38	2,35	2,89	2,5
E1	0,36	0,30	0,35	0,25	0,35	2,35	2,89	2,6

En el cas de l'aïllament de façana per l'exterior i l'interior i l'aïllament de coberta per l'exterior es compleix el límit del CTE en totes les solucions. En canvi, en el cas de l'aïllament de coberta per l'interior amb 4 cm de gruix en la zona climàtica E1 no es compleix amb el límit i, per tant, com a mínim s'han d'utilitzar 6 cm per donar-hi compliment.

En el cas de les millores de finestres, s'analitza la transmitància límit per un percentatge de buit d'entre el 20 i el 30% respecte del total de façana, i en façana nord, ja que és la façana on el valor és més restrictiu. En aquest cas les solucions d'alumini amb trencament de pont tèrmic no compleixen amb el valor límit de transmitància del forat en les zones climàtiques D1, D2, D3 i E1. Per tant, aquest serà un motiu addicional per preferir la millora de finestres amb marc de PVC en els paquets de mesures.

#### 4.3.1.2. Mesures passives òptimes

La selecció de les mesures passives òptimes s'ha realitzat tenint en consideració el cost d'inversió i els beneficis d'estalvi energètic i econòmic de les simulacions. S'usa el valor de període de retorn per fer una primera selecció malgrat que aquest valor no és per si sol un criteri d'avaluació. Per aquest motiu, en l'apartat "Valoració global a llarg termini: visió estratègica per a l'administració" de l'annex d'aquest Quadern Pràctic, s'han analitzat algunes mesures mitjançant el valor actual net (VAN) i la TIR.

Les conclusions de les solucions passives òptimes en l'anàlisi cost-benefici permeten plantejar les mesures que formaran part dels paquets passius:

- Aïllament de façana per l'exterior
  - Gruixos més interessants:
    - 6 cm (aquest gruix ja compleix la transmitància límit del DB-HE1 del CTE 2013 i dona un retorn econòmic més baix)
    - 10 cm (proporciona més estalvi, però té un període de retorn més llarg, per la qual cosa es descarta)
  - Materials més interessants:
    - EPS (període de retorn més ajustat)
  - Proposta: P1, EPS ext 6 cm
- Aïllament de façana en la cambra d'aire
  - Gruix: El més interessant és 7 cm, però s'hauria d'omplir el gruix de la cambra existent:
    - 10 cm en edificis antics
    - 5 cm si la cambra ja disposa d'aïllament i és projectat
  - Material: en funció del gruix, el període de retorn més curt varia:
    - 5 cm PUR
    - 10 cm cel·lulosa
  - Proposta: P23, PUR injectat de 5 cm. Proposta P28: Cel·lulosa injectada de 10 cm, segons la tipologia i la mida de la cambra d'aire.
- Aïllament de façana per l'interior:
  - Gruix més interessant: 7 cm (gruix òptim)
  - Material: llana mineral
  - Proposta: P42, llana mineral int. De 7 cm
- Aïllament de coberta per l'exterior:
  - Gruix: 12 cm (estalvi energètic més elevat i període de retorn més curt, però excessivament llarg en totes les zones climàtiques)
  - Proposta: a causa del llarg període de retorn obtingut amb la mesura de manera individual, només es farà un paquet que contingui aquesta mesura (P58, XPS ext. de 12 cm) amb la d'aïllament de façana, que proporciona una millor rendibilitat (P1, EPS ext de 6 cm).
- Aïllament de coberta per l'interior:
  - Gruix més interessant: 8 cm (estalvi energètic més elevat i període de retorn més curt. Compleix el CTE 2013 en totes les zones climàtiques)
  - Material: llana mineral (cost i període de retorn inferior)
  - Proposta: P64, llana mineral int. de 8 cm
- Millora de finestres
  - Material del marc: PVC (estalvi energètic més elevat i període de retorn inferior. Compleix el CTE 2013 en totes les zones climàtiques)
  - Tipus de vidre: en general vidres de baixa emissivitat (estalvi energètic més elevat i període de retorn inferior en totes les zones climàtiques, excepte la zona B3 en alguna tipologia d'habitatge concreta)
  - A més a més, s'ha de remarcar que les millores de finestres ja incorporen la millora de l'estanquitat i que, per tant, no s'ha de posar com a mesura addicional en el paquet
  - Proposta: P66, marc de PVC i vidre 4/16/4 BE

- Proteccions solars
  - Els tendals només són aplicables en les simulacions, en algunes zones climàtiques i tipologies amb demanda de refrigeració, com la C i la D. De tota manera, l'aplicació CE3X no permet incorporar-los en un paquet de la mateixa manera que la resta de mesures i per aquest motiu no es tindran en compte en la simulació dels paquets.

#### 4.3.1.3. Proposta de paquets de mesures passives

Es presenten propostes de paquets de mesures diferents per a cadascuna de les tipologies, ja que presenten configuracions diferents. Per exemple, la tipologia A no disposa de cambra d'aire ni de coberta plana on es pugui col·locar aïllament de coberta per l'exterior i en canvi la C sí.

A més a més, els paquets de mesures passives s'analitzaran en les zones climàtiques més significatives. La proposta és analitzar les zones B3, C2, D2 i E1, ja que els resultats són força semblants entre zones de mateixa severitat d'hivern, com per exemple D1 i D2. S'escullen les zones C2 i D2 per dos motius:

- Perquè C2 (Barcelona) i D2 (Girona) disposen d'un nombre d'habitatges principals més elevat.
- Perquè, en les tipologies analitzades, la zona D1 no disposa de demanda de refrigeració segons el programa de simulació CE3X i per tant no seria aplicable la mesura de col·locació de tendals.

Taula 4.44. Proposta de paquets per a la tipologia A i detall de les mesures que els conformen

Codi	Detall	Aïllament de façana	Aïllament de coberta	Millora de finestres
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	P1 EPS ext. 6 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	P42 llana mineral int. 7 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE

Codi	Detall	Aïllament de façana	Aïllament de coberta	Millora de finestres
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	P1 EPS ext. 6 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	P42 llana mineral int. 7 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ3	Aïllament de façana en la cambra + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	P28 cel·lulosa 10 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE

Taula 4.45. Proposta de paquets per a la tipologia B i detall de les mesures que els conformen

Codi	Detall	Aïllament de façana	Aïllament de coberta	Millora de finestres
PQ1	Aïllament façana exterior + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	P1 EPS ext. 6 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ2	Aïllament façana interior + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	P42 llana mineral int. 7 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	P23 PUR 5 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	P1 EPS ext 6 cm	P63 XPS ext. 12 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE

Taula 4.46. Proposta de paquets per a les tipologies C, D, H i I, i detall de les mesures que els conformen.

Taula 4.47. Proposta de paquets per a la tipologia E i detall de les mesures que els conformen.

Codi	Detall	Aïllament de façana	Aïllament de coberta	Millora de finestres
PQ1	Aïllament façana exterior + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	P1 EPS ext. 6 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ2	Aïllament façana interior + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	P42 llana mineral int. 7 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	P1 EPS ext 6 cm	P63 XPS ext. 12 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE

Taula 4.48. Proposta de paquets per a les tipologies F i G, i detall de les mesures que els conformen.

Codi	Detall	Aïllament de façana	Aïllament de coberta	Millora de finestres
PQ1	Aïllament façana exterior + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	P1 EPS ext. 6 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ2	Aïllament façana interior + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	P42 llana mineral int. 7 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	P28 cel·lulosa 10 cm	P69 llana mineral int. 8 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	P1 EPS ext 6 cm	P63 XPS ext. 12 cm	P57 marc PVC i vidre 4/16/4 BE

### 4.3.2. Selecció de paquets de mesures integrades: passives i actives

En general les mesures actives són excloents entre elles (o caldera de biomassa o de condensació) i es poden dur a terme de manera per part dels propietaris en anys successius segons les prioritats i necessitats, per exemple quan s'espantilla un equip concret. El cas de les mesures passives és diferent, ja que pot tenir interès, per exemple, aprofitar el moment de col·locar aïllament en façana per col·locar aïllament en coberta i fins i tot canviar les finestres. En conseqüència, no sembla adequat fer paquets de mesures actives per integrar la renovació de la caldera amb la de la bomba de calor, o d'altres mesures d'aquest estil.

Per contra, si que es considera interessant un paquet de mesures integrades que incorpori la renovació de la caldera en el paquet PQ1 de mesures passives.

D'altra banda, si tenim en compte que un 47% dels ciutadans enquestats al treball de camp del projecte Caracterització del parc existent..., encarregat per l'Agència de l'Habitatge de Catalunya, estan bastant o molt disposats a invertir en mesures d'estalvi energètic, però en general estan disposats a invertir pocs diners (26% entre 1.001 i 3.000 € i 24% entre 501 i 1.000 €), es podria promoure i difondre públicament un paquet de mesures de baix cost sense manteniment per estalviar energia, que podria tenir bona acollida entre el públic.

Per aquest motiu, pel que fa als paquets integrats de mesures passives i actives, es consideren dos paquets:

- Paquet de rehabilitació integral, que conté:
  - El paquet PQ1, amb aïllament de façana per l'exterior, finestres de PVC i de coberta per l'interior
  - La renovació de la caldera, amb caldera de condensació de gas natural
- Paquet de mesures de baix cost, que conté:
  - Airejadors i reductors de cabal d'ACS
  - Canvi de làmpades de l'habitatge per làmpades LED
  - Col·locació de rivets i cintes adhesives per reduir infiltracions d'aire

Codi	Detall	Passives	Actives	
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	PQ 1 Aïllament façana exterior EPS 6 cm, aïllament de coberta interior MW 8 cm, finestres marc PVC i vidre 4/16/4 BE	A3 Renovació caldera de condensació de gas natural per habitatge unifamiliar	
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	P69 Rivets, cintes adhesives i massilla elàstica	A17/A18 Airejadors i reductors de cabal d'ACS	A19/A20 Il·luminació LED

Taula 4.49. Proposta de paquets integrats de mesures passives i actives detall de les mesures que els conformen.



### 4.3.3. Rendibilitat econòmica i idoneïtat dels paquets de mesures

En aquest capítol, s'analitza l'estalvi energètic, la rendibilitat i la qualificació energètica obtinguda amb els diferents paquets de mesures proposats per tipologia i per a les diferents zones climàtiques significatives escollides.

#### 4.3.3.1. Tipologia A. Unifamiliars anteriors a 1950

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobre-cost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn simple del sobre-cost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1		
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	42,0%	50,0%	34,9%	45,6%	13.972,7	8060,3	32,5	13,0	18,7	7,5	C	C
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	23,4%	30,9%	19,5%	28,2%	9.407,8	6249,0	39,2	14,1	26,0	9,4	D	D
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	50,6%	60,0%	45,7%	59,3%	16.572,7	8660,3	29,4	11,8	15,4	6,2	C	C
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	7,7%	4,9%	8,1%	8,1%	490,7	259,3	4,9	4,9	2,6	2,6	-	-

Taula 4.50. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia A en les zones climàtiques extremes

- Opció amb major estalvi energètic i econòmic.
- Segona opció amb major estalvi energètic i econòmic.

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el PQ5 de rehabilitació integral, que també presenta el volum d'inversió més gran. En canvi, aquest paquet presenta un període de retorn força elevat, de 12 anys en les zones climàtiques més fredes i de gairebé 30 anys en les zones més càlides.

El paquet de mesures de baix cost és el que presenta un període de retorn (anys) més curt, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants.

Els paquets de mesures passives proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les solucions individuals i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 3).

La majoria de paquets de mesures proposades milloren la qualificació energètica de l'habitatge.

- PQ1, amb aïllament de façana per l'exterior: permet passar del nivell E al nivell C
- PQ2, amb aïllament de façana per l'interior: pas del nivell E al D
- PQ5, paquet de rehabilitació integral: pas del nivell E al C

#### 4.3.3.2. Tipologia B. Unifamiliars de 1951 a 1980

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn simple del sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1		
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	43,6%	48,2%	36,9%	44,3%	11.260,1	6.442,5	28,7	12,5	16,4	7,1	D	D
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	16,7%	21,2%	14,1%	19,5%	7.423,5	4.875,6	49,3	18,7	32,4	12,3	E	E
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	17,0%	21,7%	14,4%	20,0%	7.124,6	4.576,7	46,6	17,5	29,9	11,3	E	E
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	52,5%	59,0%	48,3%	59,2%	13.860,1	7.040,5	27,0	11,5	13,7	5,8	C	C
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	8,7%	6,0%	8,9%	8,9%	113,8	70,9	4,2	4,2	2,2	2,2	-	-

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el paquet de rehabilitació integral, que també presenta el volum d'inversió més elevat. En canvi, aquest paquet presenta un període de retorn força elevat, d'11,5 anys en les zones climàtiques més fredes i de 27 anys en les zones més càlides.

El paquet de mesures de baix cost és el que presenta un període de retorn més curt, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants.

Els paquets de mesures passives proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les solucions individuals i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 3).

Només el paquet passiu 1 (PQ1) i el de rehabilitació integral (PQ5) incrementen la qualificació energètica de l'habitatge.

- PQ1, amb aïllament de façana per l'exterior: Pas de nivell E al nivell D
- PQ5, paquet de rehabilitació integral: pas del nivell E al C

Taula 4.51. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia B en les zones climàtiques extremes.

#### 4.3.3.3. Tipologia C. Unifamiliars de 1981 a 1990

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1		
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	37,5%	42,5%	30,1%	38,3%	13.081,8	7.284,4	38,9	17,7	21,6	9,9	C	C
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	10,5%	12,3%	9,9%	11,0%	10.654,0	6.325,6	>50	49,9	>50	29,7	D	E
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	10,2%	12,0%	9,7%	10,8%	10.138,4	5.810,0	>50	48,6	>50	27,8	D	E
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	38,3%	43,2%	30,7%	38,9%	16.002,0	7.093,5	46,6	21,3	20,7	9,4	C	C
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	45,1%	54,0%	39,0%	53,9%	15.681,8	7.884,4	36,0	15,1	18,1	7,6	C	C
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	7,2%	3,6%	7,4%	7,4%	516,4	272,2	6,3	6,3	3,3	3,3	-	-

Taula 4.52. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia C en les zones climàtiques extremes.

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el paquet de rehabilitació integral, seguit del paquet passiu PQ4, amb aïllament de façana i coberta exteriors i el passiu PQ1, amb aïllament de coberta interior, que també presenten el volum d'inversió més elevat en aquest mateix ordre. En canvi, aquests paquets presenten períodes de retorn força llargs, mentre que els períodes de retorn del sobrecost d'aplicar les mesures d'eficiència són més ajustats, inferiors a 10 anys en les zones climàtiques més fredes.

El paquet de baix cost (PQ6) és el que presenta un període de retorn més curt, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants.

Els paquets de mesures passives proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les mesures individuals, i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 2)

Tots els paquets passius i el de rehabilitació integral PQ5 incrementen la qualificació energètica de l'habitatge, però els paquets passius 1 i 4 incrementen dos nivells, i la resta només un nivell.

- Paquet passiu PQ1, amb aïllament de façana per l'exterior i coberta per l'interior: pas del nivell E al nivell C
- Paquet passiu PQ2, amb aïllament de façana i coberta per l'interior: pas del nivell E al nivell D
- Paquet passiu PQ3, amb aïllament de façana a la cambra d'aire i coberta per l'interior: pas del nivell E al nivell D
- Paquet passiu PQ4, amb aïllament de façana i coberta per l'exterior: pas del nivell E al nivell C
- Paquet de rehabilitació integral PQ5: pas del nivell E al C

#### 4.3.3.4. Tipologia D. Unifamiliars de 1991 a 2011

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	29,5%	37,7%	20,8%	30,7%	19.363,7	1.0831,1	>50	30,2	31,2	16,0	C	C
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	13,8%	16,5%	11,6%	13,5%	15.070,0	9.070,7	>50	43,5	46,9	26,2	C	D



Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	13,5%	16,1%	11,3%	13,1%	14.249,5	8.250,2	>50	42,2	43,6	24,5	C	D
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	29,6%	38,8%	20,9%	31,6%	23.669,8	10.549,7	>50	29,2	30,3	13,0	C	B
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	36,2%	49,1%	25,1%	39,9%	21.963,7	11.431,1	>50	21,4	27,3	11,1	B	B
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	7,7%	4,6%	7,9%	5,6%	918,6	473,3	7,0	6,4	3,6	3,3		

Taula 4.53. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia D en les zones climàtiques extremes.

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el paquet de rehabilitació integral (PQ5), seguit del paquet passiu PQ4, amb aïllament de façana i coberta exteriors, i el passiu PQ1, amb aïllament de coberta interior. En aquesta tipologia, aquests paquets presenten volums d'inversió elevats i en conseqüència períodes de retorn molt llargs, superiors als 10 anys fins i tot en les zones més fredes.

El paquet de baix cost (PQ6) és el que presenta un període de retorn més curt, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants.

Els paquets de mesures passives proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les mesures individuals i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 3).

Tots els paquets passius (PQ1 a PQ4) incrementen la qualificació energètica de l'habitatge, d'un nivell D a un nivell C, mentre que el paquet de rehabilitació integral passa d'un nivell de qualificació D a un nivell B.

#### 4.3.3.5. Tipologia E. Plurifamiliars anteriors a 1950

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys) B3		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1		
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	31,0%	41,0%	24,4%	34,8%	4.495,5	2.509,7	28,0	12,6	15,6	7,0	D	D
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	22,5%	30,0%	18,5%	25,5%	3.433,5	2.138,8	28,3	13,1	17,6	8,2	E	E
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	31,5%	41,7%	24,9%	35,5%	5.405,9	2.450,2	33,1	11,9	15,0	5,7	D	E
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	41,3%	52,6%	31,9%	44,8%	6.441,7	2.955,8	30,7	14,0	14,1	6,4	D	C
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	9,8%	6,7%	9,5%	7,2%	236,5	125,2	3,8	3,2	2,0	1,7	-	-

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el paquet de rehabilitació integral (PQ5), seguit del paquet passiu PQ4, amb aïllament de façana i coberta exteriors, i el passiu PQ1, amb aïllament de coberta interior. En aquesta tipologia, aquests paquets presenten volums d'inversió elevats i períodes de retorn relativament llargs, superiors als 10 anys fins i tot en les zones més fredes.

El paquet de mesures de baix cost (PQ6) és el que presenta un període de retorn més curt, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants.

Els paquets de mesures passives proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les solucions individuals i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 3)

El paquet passiu PQ1 millora la qualificació energètica de l'habitatge, d'un nivell E a un nivell D, mentre que el paquet de rehabilitació integral PQ5 passa d'un nivell E a un nivell D o C (aquest últim en les zones climàtiques més fredes).

Taula 4.54. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia E en les zones climàtiques extremes.

#### 4.3.3.6. Tipologia F. Plurifamiliars 1951-80 amb caldera col·lectiva

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1		
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	43,7%	51,0%	34,8%	45,5%	14.076,8	8.512,1	37,7	16,4	22,8	9,9	E	E
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	18,5%	23,0%	16,0%	20,5%	10.937,3	7.319,5	>50	28,2	42,7	18,9	E	E
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	19,2%	23,8%	16,6%	21,3%	10.641,8	7.023,9	>50	48,6	39,5	20,3	E	E
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	43,8%	51,4%	34,9%	45,9%	19.564,6	8.153,5	>50	22,6	21,8	9,4	E	E
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	56,5%	66,2%	44,7%	59,1%	10.887,9	6.531,5	22,7	14,0	13,6	8,1	D	D
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	8,7%	5,9%	8,7%	6,3%	120,1	60,3	1,3	3,1	0,6	1,6	-	-

Taula 4.55. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia F en les zones climàtiques extremes

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el paquet de rehabilitació integral (PQ5), seguit dels paquets passius PQ1 i PQ4, que presenten un estalvi energètic similar. El paquet passiu PQ4 és el paquet que presenta el volum d'inversió més elevat.

El paquet de mesures de baix cost PQ6 és el que presenta un període de retorn més curt, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants. El paquet de rehabilitació integral PQ5 presenta un període de retorn del sobrecost inferior als 10 anys en les zones més fredes.

Els paquets de mesures passives proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les solucions individuals i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 3).

Tots els paquets passius (PQ1 a PQ4) incrementen la qualificació energètica de l'habitatge d'un nivell G a un nivell E. El paquet de rehabilitació integral PQ5, per la seva banda, passa d'un nivell G a un nivell D.

#### 4.3.3.7. Tipologia G. Plurifamiliars 1951-80 sense caldera col·lectiva

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobrecost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	41,2%	49,6%	31,7%	43,2%	11.784,5	6.496,1	39,6	17,4	21,8	9,6	D	D
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	17,8%	22,4%	15,1%	19,5%	8.645,0	5.303,4	>50	28,4	37,5	17,4	E	E
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	18,5%	23,2%	15,7%	20,2%	8.349,5	5.007,9	>50	26,4	34,1	15,8	E	G
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	41,3%	50,0%	31,8%	43,6%	13.788,0	6.365,2	46,2	20,2	21,3	9,3	D	E
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	49,4%	59,7%	37,8%	52,0%	13.730,7	6.942,3	38,7	16,9	19,6	8,5	D	C
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	8,7%	6,0%	8,7%	6,5%	365,4	189,7	4,5	3,6	2,3	1,9		

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el paquet de rehabilitació integral PQ5, seguit dels paquets passiu PQ1 i PQ4, que presenten un estalvi energètic similar. El paquet de rehabilitació integral PQ5 i el paquet passiu PQ4 són els que presenten el volum d'inversió més elevat.

Taula 4.56. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia G en les zones climàtiques extremes



El paquet de baix cost PQ6 és el que presenta un període de retorn més curt, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants. El paquet de rehabilitació integral PQ5 presenta un període de retorn del sobrecost inferior als 10 anys en les zones més fredes.

Els paquets de mesures passives proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les solucions individuals i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 3).

El paquet passiu PQ1 incrementa la qualificació energètica de l'habitatge d'un nivell E a un nivell D. Per la seva banda, el paquet de rehabilitació integral PQ5 passa d'un nivell E a un nivell D o C (aquest últim cas en les zones climàtiques més fredes).

Taula 4.57. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia H en les zones climàtiques extremes.

#### 4.3.3.8. Tipologia H. Plurifamiliars 1981-90

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobre-cost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	40,2%	49,3%	29,3%	42,0%	10.843,5	5.813,4	36,8	15,7	19,7	8,4	D	D
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	9,4%	11,8%	8,4%	10,0%	8.390,2	5.144,9	>50	47,0	>50	27,7	E	E
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	8,9%	11,2%	8,1%	9,5%	7.108,4	3.937,3	>50	45,3	48,5	25,1	E	G
PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	40,3%	49,6%	29,4%	42,2%	12.030,9	5.735,8	40,7	17,3	19,4	8,2	D	E
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	47,2%	58,8%	34,3%	50,1%	12.789,7	6.259,6	37,1	15,5	18,2	7,6	C	C
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	7,0%	3,6%	7,4%	4,5%	411,0	212,5	5,5	5,5	2,9	2,8	-	-

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el paquet de rehabilitació integral PQ5, seguit dels paquets passiu PQ1 i PQ4, que presenten un estalvi energètic similar. El paquet de rehabilitació integral PQ5 i el paquet passiu PQ4 són els que necessiten el volum d'inversió més elevat.

El paquet de baix cost PQ6 és el que presenta un període de retorn més curt, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants. El paquet de rehabilitació integral PQ5 i els paquets passius PQ1 i PQ4 presenten un període de retorn del sobrecost inferior als 10 anys en les zones més fredes.

Els paquets de mesures passives (PQ1 a PA4) proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les solucions individuals i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 3).

El paquet passiu PQ1 incrementa la qualificació energètica de l'habitatge d'un nivell E a un nivell D, mentre que el paquet de rehabilitació integral PQ5 passa d'un nivell E a un nivell C en totes les zones climàtiques.

#### 4.3.3.9. Tipologia I. Plurifamiliars 1991-2011

Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobre-cost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1		
PQ1	Aïllament de façana per l'exterior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	23,9%	34,7%	17,0%	27,8%	12.591,3	6.979,8	>50	35,2	49,1	19,5	C	C
PQ2	Aïllament de façana per l'interior + aïllament de coberta per l'interior + finestres PVC i vidre de baixa emissivitat	12,7%	15,8%	10,7%	12,7%	8.454,6	5.321,7	>50	>50	>50	32,6	D	D
PQ3	Aïllament façana cambra + aïllament coberta interior + finestres PVC i vidre BE	12,1%	15,0%	10,3%	12,1%	7.610,6	4.477,7	>50	49,1	>50	28,9	D	E



Codi	Mesura	Estalvi d'energia final total (%)		Reducció de la despesa energètica (%)		Inversió (€/hab.)	Sobre-cost (€/hab.)	Període retorn simple de la inversió (anys)		Període retorn sobrecost (anys)		Qualificació energètica	
		B3	E1	B3	E1			B3	E1	B3	E1	B3	E1
		PQ4	Aïllament façana exterior + aïllament coberta exterior + finestres PVC i vidre BE	24,2%	35,4%			17,2%	28,4%	14.656,2	6.844,8	>50	40,2
PQ5	Paquet de rehabilitació integral	32,2%	46,5%	22,4%	37,3%	14.537,5	7.425,9	>50	30,3	39,8	15,5	C	C
PQ6	Paquet de mesures de baix cost	8,6%	4,5%	8,6%	5,6%	416,5	215,3	5,8	5,8	3,0	3,0	-	-

Taula 4.58. Resultats de l'aplicació dels paquets de mesures d'eficiència energètica més rellevants a edificis de tipologia I en les zones climàtiques extremes.

El paquet que proporciona un estalvi energètic més elevat és el paquet de rehabilitació integral PQ5, seguit dels paquets passius PQ1 i PQ4, que presenten un estalvi energètic similar. El paquet de rehabilitació integral PQ5 i el paquet passiu PQ4 són els que presenten el volum d'inversió més elevat. A la vegada, tots els paquets excepte el de baix cost presenten períodes de retorn del sobrecost molt llargs, superiors als 14 anys fins i tot en les zones més fredes.

El paquet de baix cost PQ6 és el que presenta un període de retorn més curt, inferior a 6 anys, així com uns estalvis energètics i econòmics menys interessants.

Els paquets de mesures passives (PQ1 a PQ4) proporcionen un estalvi energètic força més elevat que les solucions individuals i un període de retorn lleugerament superior (vegeu capítol 3).

El paquet passiu PQ1 i el paquet de rehabilitació integral PQ5 incrementen la qualificació energètica de l'habitatge d'un nivell E a un nivell C.

#### 4.3.4. Conclusions globals

Els paquets de mesures d'eficiència energètica que aconseguixen més estalvi energètic són:

- El paquet de rehabilitació integral (PQ5: aïllaments en façana, canvi de finestres i renovació de caldera), que permet estalvis energètics molt importants, entre el 32 i el 57% d'estalvi d'energia final en climes suaus (B3) i entre el 46 i el 66% en climes freds (E1).
- El paquet de mesures passives PQ1 (aïllament de façana exterior amb EPS de 6 cm, aïllament de coberta interior amb llana mineral de 8 cm i renovació de finestres amb marc de PVC i vidre de baixa emissivitat) aconseguixen estalvis importants, superiors al 40% del consum d'energia final en la majoria de tipologies d'habitatge. En concret, l'estalvi és inferior al 40% només en algunes zones climàtiques de les tipologies C, D, E i I.

- El paquet de mesures passives PQ4 (aïllament de façana exterior amb EPS 6 cm, aïllament de coberta exterior amb XPS 12 cm i renovació de finestres amb marc de PVC i vidre de baixa emissivitat), aconsegueix estalvis importants, iguals o superiors al 30% del consum d'energia final en totes les tipologies on es pot col·locar excepte la tipologia I (habitatges plurifamiliars més nous) en la zona climàtica B3.

El paquet de mesures d'eficiència energètica que permet obtenir períodes de retorn més curts és el paquet de mesures de baix cost PQ6, però també és la mesura que té menys estalvis energètics i econòmics. En concret, té un període de retorn simple de la inversió igual o inferior als 7 anys en totes les tipologies i zones climàtiques, i un període de retorn simple del sobrecost inferior als 4 anys en totes les tipologies i zones climàtiques.

#### 4.4 Conclusions globals. Valoració global a llarg termini: visió estratègica per a l'administració

La valoració global a llarg termini resulta més completa que la visió pràctica per a l'usuari, ja que inclou l'anàlisi de rendibilitat de les inversions en mesures d'eficiència energètica tenint en compte els costos econòmics i financers i la vida útil de l'edifici a llarg termini, per la qual cosa el resultat analitzat ja no es basa en el període de retorn simple sinó en el VAN i la TIR.

Els càlculs d'aquest apartat s'han fet calculant el VAN i la TIR a 50 anys i es poden trobar els resultats de totes les simulacions realitzades en l'apartat 4 de l'annex 1 relatiu a les taules de resultats de les simulacions.

Tot seguit hi ha les conclusions globals. Les mesures que presenten una rendibilitat més bona a llarg termini són:

- La caldera de condensació de gas natural, en totes les tipologies i zones climàtiques, excepte els habitatges de la tipologia E situats a les zones climàtiques més càlides.
- El canvi de caldera per bomba de calor i termoelèctrica, especialment en les zones climàtiques més fredes, i en totes les tipologies excepte la E.
- Els airejadors i reductors de cabal, en totes les tipologies i zones climàtiques.
- Pel que fa al resultat del VAN, les mesures passives més rendibles són l'aïllament en façana (especialment el SATE d'EPS de 6 cm) i els rivets i les cintes adhesives, en totes les tipologies i zones climàtiques.
- El paquet de mesures de baix cost PQ6 és rendible en totes les tipologies i zones climàtiques.
- El paquet de rehabilitació integral PQ5 és rendible en habitatges de les tipologies A i B (unifamiliars anteriors a 1980) de totes les zones climàtiques, i en habitatges de les tipologies C, D, E, F, G i H en les zones climàtiques més fredes.
- El paquet de mesures passives PQ1 (aïllament de façana exterior amb EPS de 6 cm, aïllament de coberta interior amb llana mineral de 8 cm i renovació de finestres amb marc de PVC i vidre de baixa emissivitat) és especialment rendible en habitatges de les tipologies plurifamiliars E, F, G i H situats en climes freds. En menor mesura, també ho és en habitatges de les tipologies unifamiliars A, B i C situats en zones climàtiques fredes.

- Quan es considera el sobrecost d'inversió en lloc de la inversió total, la rendibilitat s'incrementa significativament, de manera que mesures que no són rendibles considerant la inversió total passen a ser-ho considerant el sobrecost, especialment en les zones climàtiques més fredes. Això succeeix especialment en alguns paquets de mesures passives, el paquet de rehabilitació integral, la millora de finestres i les bombes aerotèrmiques.

## 4.5 Anàlisi complementària relativa a la substitució d'estufes elèctriques per bombes de calor

### 4.5.1. Introducció

Tot seguit hi ha una anàlisi addicional de la rendibilitat econòmica i idoneïtat de la substitució d'estufes elèctriques per bombes de calor en habitatges, ja que els habitatges amb estufes elèctriques representen el 27% del total d'habitatges principals. Tanmateix, aquesta mesura no s'ha pogut incorporar al treball de manera equivalent a la resta de mesures analitzades fins ara, ja que parteix d'uns edificis base o originals diferents dels majoritaris en cada tipologia. En concret, només es pot aplicar en edificis que disposen d'estufes elèctriques com a sistema de calefacció. Per aquest motiu s'ha fet aquesta anàlisi complementària, a partir d'aquests edificis base diferents.

Segons els resultats de l'enquesta del treball de camp del projecte Caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya i definició de les tipologies més representatives, així com el paquet de mesures òptimes per a la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica, les tipologies que disposen de més proporció d'estufes elèctriques són les següents:

- Tipologia A (unifamiliars anteriors a 1950): 27% dels habitatges disposen d'estufes elèctriques. Aquesta tipologia representa el 4,72% del parc d'habitatges principals de Catalunya.
- Tipologia E (plurifamiliars anteriors a 1950): 34% dels habitatges disposen d'estufes elèctriques. Aquesta tipologia representa el 13,20% del parc d'habitatges principals de Catalunya.
- Tipologia G (plurifamiliars entre 1951 i 1980): 36% dels habitatges disposen d'estufes elèctriques. Aquesta tipologia representa el 38,70% del parc d'habitatges principals de Catalunya.
- Tipologia I (plurifamiliars posteriors a 1991): 25% dels habitatges disposen d'estufes elèctriques. Aquesta tipologia representa el 17,34% del parc d'habitatges principals de Catalunya.

A la resta de tipologies la tinença d'estufes elèctriques com a sistema de calefacció és inferior al 16%.

L'anàlisi relativa a la substitució d'estufes elèctriques per bombes de calor s'ha fet en les quatre tipologies anteriorment esmentades: A, E, G i I. Per fer-ho, s'han fet noves simulacions d'edificis base a partir de les tipologies inicials, però considerant que en lloc de calderes disposen d'estufes elèctriques per a la calefacció i termoelèctriques per a la producció de l'ACS.

#### 4.5.2. Resultats per tipologia i zona climàtica

La taula 4.59 següent presenta els principals resultats d'aquesta anàlisi.

Paràmetre analitzat	Tipologia A		Tipologia E		Tipologia G		Tipologia I	
	B3	E1	B3	E1	B3	E1	B3	E1
Estalvi d'energia final total (%)	33,8%	48,5%	24,6%	40,8%	31,7%	46,5%	20,4%	38,3%
Reducció de la despesa energètica (%)	33,8%	48,5%	24,6%	40,8%	31,7%	46,5%	20,4%	38,3%
Inversió (€/habitatge)	2.120,0	2.120,0	1.140,0	1.140,0	1.140,0	1.140,0	1.140,0	1.140,0
Període de retorn de la inversió (anys)	4,4	1,5	5,0	1,8	2,7	1,0	5,2	1,6
Període de retorn del sobrecost (anys)	2,3	0,8	0	0	0	0	0	0
VAN inversió	16.474,6	56.086,5	65.540,1	217.453,2	151.346,7	436.155,9	83.507,3	327.611,5
TIR inversió	25,8%	72,3%	22,5%	59,5%	39,8%	101,8%	21,6%	66,3%
VAN sobrecost	18.247,9	57.859,8	98.498,1	250.011,2	187.522,2	472.331,4	126.917,9	371.022,1
TIR sobrecost *	47,0%	134,7%	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Qualificació energètica (en energia primària)	D	D	E	E	E	E	D	D

Taula 4.59. Resultats de l'aplicació de la mesura de substitució de les estufes elèctriques per una bomba de calor en les tipologies A, E, G i I a les zones climàtiques extremes.

\* NA indica que no s'aplica perquè el sobrecost d'inversió d'aquesta mesura és un valor negatiu i no permet calcular la TIR.

### 4.5.3. Conclusions globals

Aquesta mesura de substitució d'estufes elèctriques per bombes de calor presenta uns bons resultats, tant pel que fa a l'estalvi com pel que fa a la rendibilitat. Els principals resultats són:

- Estalvi d'entre el 20 i el 48% d'energia final, en funció de la zona climàtica i la tipologia
- Període de retorn inferior als 10 anys en totes les zones climàtiques i les 4 tipologies analitzades. En molts casos, els períodes de retorn són fins i tot inferiors als 5 anys
- TIR superior al 10% en totes les zones climàtiques i les 4 tipologies analitzades
- Millora de la qualificació energètica en dues de les quatre tipologies analitzades (pas de la qualificació E a D en les tipologies A i I)

## 4.6 Barreres a la rehabilitació energètica i solucions

### 4.6.1. Barreres econòmiques i proposta de solucions

Aquest apartat valora les barreres econòmiques que impedeixen l'avenç de l'aplicació de mesures d'eficiència energètica a l'edificació i proposa solucions per a cadascuna d'elles.

#### 4.6.1.1. Barrera 1. Cost d'inversió elevat

Una rehabilitació energètica integral o important (que inclogui diverses de les mesures analitzades en aquest estudi) requereix una inversió relativament elevada, de diversos milers d'euros. La crisi econòmico-financera que va començar el 2008 ha fet que la majoria de persones no disposin de capacitat per abordar aquesta inversió de cop, i que a la vegada els sigui molt difícil aconseguir crèdit per finançar una inversió d'aquest tipus.

Davant d'aquesta barrera, es plantegen les solucions següents:

- **Finançament i incentius públics**

Els ajuts públics poden ser d'índole diversa:

- a) **Subvencions i ajuts directes** a fons perdut, per finançar una part important (entre el 35 i el 50%, generalment) del cost elegible de la rehabilitació energètica. El cost elegible és l'addicional específic de les mesures d'eficiència energètica. Actualment ja existeixen diversos ajuts d'aquest tipus per a habitatges:

- El programa PAREER de l'IDAE
- Els ajuts del Programa de rehabilitació energètica d'edificis, vehiculats a través de l'Agència d'Habitatge de Catalunya, el Consorci Metropolità de l'Habitatge i el Consorci de l'Habitatge de Barcelona

En el futur se'n preveuen més, a través de fons estructurals de la UE, com el FEDER o el Fons Social Europeu, p.ex.

- b) **Bonificacions fiscals:** actualment la Llei reguladora de les hisendes locals només preveu bonificacions fiscals a l'ICIO i a l'IBI en les mesures d'aprofitament (tèrmic o electrofotovoltaic) de l'energia solar, però no a d'altres

tipus de mesures de rehabilitació energètica. Mentre no es canviï la llei, els ajuntaments podrien fer una mesura equivalent per promoure altres tipus de mesures de rehabilitació energètica mitjançant la subvenció parcial o total dels esmentats impostos municipals (ICIO i IBI), sempre mitjançant concurrència pública.

Recuperar l'opció de deduir en la declaració de l'IRPF les quantitats destinades a la realització d'obres de rehabilitació energètica d'edificis un cop justificat l'estalvi energètic o la millora de qualificació energètica de l'edifici.

**c) La Taxa de Préstec Zero (PTZ):** és un préstec social o socioambiental (Eco PTZ), creat el 1995 seguint l'exemple francès la taxa d'interès del qual és equivalent a 0%. L'import concedit a aquest préstec parteix de la base imposable del prestatari (ha de ser justificat com un avís d'impostos), i depèn d'on es fa la compra de béns arrels. És particularment emmarcat pel Codi de Construcció i Habitatge i el Codi General d'Impostos.

El seu objectiu és animar la renovació energètica dels habitatges existents per millorar-ne l'eficiència energètica i reduir les factures d'energia per a l'habitatge i les emissions de gasos d'efecte hivernacle a França. Està disponible per als propietaris de cases construïdes abans de 1990 i ocupades com a residència principal.

- **L'Administració com a promotor actuant**

Una alternativa diferent és quan l'Administració (la Generalitat de Catalunya mateixa, a través de l'Agència de l'Habitatge de Catalunya, l'INCASOL, etc., o fins i tot els ajuntaments directament) fan de promotor i d'inversor. L'Administració pot fer el projecte de rehabilitació energètica, i també finançar la inversió.

Aquest mecanisme és aplicable tant a edificis públics com a edificis privats. En el cas d'edificis públics es pot aplicar directament des de la propietat (patronat públic municipal, INCASOL, AHC, etc.). En el cas dels privats, la selecció dels edificis sobre els quals actuar s'hauria de fer a partir d'un mapa clar i rigorós de la qualitat energètica dels edificis i del seu potencial de rehabilitació energètica i/o mitjançant convocatòria pública oberta i d'àmplia difusió, per garantir la màxima concurrència, perquè els veïns presentin sol·licituds i l'Administració pugui triar les millors opcions a finançar.

L'administració pública corresponent (Generalitat o ajuntament) cobra posteriorment als veïns en quotes periòdiques, amb interessos molt baixos (els que permeten cobrir les despeses del procés, p.ex.). Aquest procés es pot allargar força temps (períodes de 8 a 15 anys, p.ex., ja que els interessos no suposen un encariment significatiu), cosa que permet reduir la quota que paguen mensualment els veïns.

En cas que algun veí no pugui pagar les quotes corresponents es pot establir el mecanisme de càrregues registrals (vegeu l'apartat següent).

- **Càrregues registrals en ajuts extraordinaris**

Un element clau per atorgar ajuts públics a la rehabilitació energètica en edificis d'habitatge de propietat horitzontal és garantir que tots els veïns acabin pagant la seva part corresponent descomptada la subvenció. Per aconseguir-ho, es pot plantejar el mecanisme que han aplicat l'Ajuntament de Barcelona i



molts altres ajuntaments per desencallar la instal·lació d'ascensors en aquest tipus d'edificis.

En el cas del ascensors, l'administració pública finança l'actuació i, en aquells casos que el veí no disposa de suficient fons per pagar la seva part, l'ajuntament o entitat pública corresponent aplica càrregues registrals sobre el patrimoni immobiliari del propietari. S'ha observat que aquests mecanismes són molt efectius, car en molts casos els futurs hereus acaben aportant els imports corresponents de millora de l'edifici.

- **L'etiqueta energètica com a eina de revalorització dels habitatges**

La certificació d'eficiència energètica d'edificis existents és una etiqueta del mateix tipus de les que ja existeixen per als electrodomèstics –ben coneguda pels ciutadans– que serveix per avaluar la demanda instal·lada de l'edifici i l'eficiència de les seves instal·lacions energètiques actives.

Aquesta etiqueta de certificació energètica atorga un valor immobiliari permanent a l'edifici o habitatge, de manera que els possibles compradors, taxadors, usuaris i entitats de crèdit poden incorporar aquesta informació en la valoració de compra o lloguer de l'immoble. D'aquesta manera, una tasca relativament petita dóna valor econòmic mobiliari als edificis que consumeixen menys energia que els altres, cosa que permet amortitzar i consolidar a mitjà termini les inversions en rehabilitació energètica.

Així mateix, en el cas d'edificis existents la documentació de la certificació d'eficiència energètica informa de les mesures que es poden executar específicament en cada habitatge o edifici determinat per millorar-ne la qualificació energètica. Pot esdevenir, per tant, un element desencadenant d'inversions en rehabilitació energètica d'edificis, com ja està passant en d'altres països europeus, com Dinamarca o Alemanya.

Una condició indispensable perquè l'etiqueta energètica esdevingui una eina de revalorització econòmica dels habitatges i desencadenant d'inversions en rehabilitació energètica és que s'apliqui de manera rigorosa i profunda perquè sigui assumida pel sector i pels propietaris d'immobles com una eina útil i rigorosa.

#### **4.6.1.2. Barrera 2. Risc financer elevat**

Els bancs catalans i espanyols ja tenen una gran exposició sobre el sector immobiliari domèstic i el mercat hipotecari, de manera que estableixen en aquest sector un risc financer molt elevat. L'increment del risc financer provoca, entre d'altres aspectes, un increment dels tipus d'interès amb què s'atorguen préstecs i hipoteques, cosa que al seu torn augmenta els costos globals de l'aplicació de mesures de rehabilitació energètica. Addicionalment, la manca de coneixement específic de la rehabilitació energètica al mercat financer dificulta l'acceptació de les operacions i en restringeix el volum exigint forts avals i clàusules que desincentiven els propietaris.

Les ESE d'una certa dimensió han tingut el mateix problema: els nivells de risc que consideren (especialment en contractes elevats) comporten tipus d'interès molt elevats i per tant necessitats d'assolir rendibilitats (TIR) molt altes, d'entre el 10 i el 15%. Això encareix les inversions en mesures d'eficiència energètica, fins al punt que moltes vegades les fa inviables, especialment quan són productes pensats a mitjà i llarg termini (entre 10 i 20 anys). A més a més, hi ha poques empreses que aglutinin

tot tipus de mesures i executen les que formen part dels seu negoci. La dificultat i les hores que comporta l'aplicació dels procediments de mesura i verificació, i el risc de reducció del volum de consum previst també en dificulta l'aplicació.

Un altre aspecte que incrementa el risc financer en els casos d'inversions en habitatges particulars és el risc que el propietari es vengui l'immoble abans d'haver retornat els crèdits o càrregues contrets en el moment de fer la inversió.

Davant d'aquesta barrera, es plantegen les solucions següents:

- **Finançament amb interessos ajustats en funció de l'excel·lència energètica**

Un dels bancs d'Espanya menys exposats a la crisi hipotecària de l'habitatge dels últims 7 anys (Triodos Bank, concretament) ha posat al mercat un nou producte hipotecari lligat a l'excel·lència energètica de l'habitatge o edifici.

En concret, es tracta de l'Ecohipoteca Triodos, un producte innovador que promou l'eficiència energètica i la sostenibilitat a l'habitatge. Aquest producte ofereix un préstec per a l'adquisició de l'habitatge habitual amb un tipus d'interès variable: Euríbor 12 mesos + diferencial segons la certificació energètica de l'habitatge a finançar, d'acord amb la taula 4.60:

Certificació energètica	Diferencial
A + (*)	1,35 %
A (*)	1,38 %
B	1,41 %
C	1,44 %
d	1,47 %
E	1,50 %
F	1,53 %
G	1,56 %

Taula 4.60. Tipus diferencial addicional a aplicar a l'Ecohipoteca Triodos (sobre Euríbor 12 mesos) en funció del nivell de qualificació de la certificació d'eficiència energètica de l'habitatge.

Aquest producte està destinat especialment a l'adquisició d'habitatges nous. Tanmateix, de ben segur que aquesta o d'altres entitats bancàries poden oferir productes similars per a la rehabilitació energètica d'edificis i habitatges existents.

- **Pagament de les inversions en eficiència mitjançant les factures energètiques**

Un model que s'està aplicant en alguns països europeus (en particular al Regne Unit, mitjançant l'anomenat Green Deal) és que les empreses de subministrament energètic (electricitat o gas natural) financin l'aplicació de mesures d'eficiència energètica i recuperin la inversió a mitjà o llarg termini mitjançant les factures mensuals d'electricitat o gas natural.

Es tracta d'un mecanisme de finançament lligat a l'immoble, que permet a l'usuari (propietari o llogater) fer les millores d'eficiència energètica en el seu habitatge o negoci i abonar el cost a poc a poc a través de la factura energètica

(electricitat i/o gas natural). El préstec està lligat a l'immoble o al compte energètic de l'immoble i no al seu habitant o propietari, que pot variar amb el temps, i esdevé una càrrega que ha d'assumir el nou propietari o llogater en cas de canvi d'usuari. A la vegada, aquest sistema afavoreix les inversions en rehabilitació energètica en habitatges de lloguer, que sense mecanismes d'aquest estil costen molt de concretar.

Les empreses distribuïdores i comercialitzadores d'energia són una peça clau a implicar en la rehabilitació energètica, pels motius següents: disposen d'una amplíssima informació a partir de les dades energètiques dels seus clients, tenen contacte amb el client final, amb el qual també disposen de mecanismes de facturació ordinaris, poden aconseguir economies d'escala mitjançant l'aplicació de determinades mesures en múltiples habitatges i coneixen bé el sector.

Un mecanisme complementari que facilita aquesta opció són els certificats blancs o white certificates, que poden comercialitzar les companyies de distribució i comercialització d'electricitat i gas natural que han fet inversions en eficiència energètica en els habitatges dels seus clients. Els certificats es poden assolir mitjançant projectes d'estalvi com els esmentats, i amb els certificats l'empresa pot vendre el projecte d'estalvi a una altra companyia, amb la qual cosa pot obtenir-ne un benefici econòmic a llarg termini si ho necessita.

El Regne Unit ha combinat la implicació de les companyies distribuïdores d'energia en la reducció de consums amb la possibilitat de comercialitzar white certificates. En aquest cas, els certificats blancs se centren només en el sector residencial.

- **Formació sobre les característiques del producte de la rehabilitació energètica al mercat financer**

És necessari que el mercat financer es familiaritzi amb els productes de rehabilitació energètica i hi guanyi confiança. Per això es considera interessant que l'Administració imparteixi jornades de formació o workshops per esvaïr les pors i treballar plegats per establir els mecanismes necessaris per reduir els riscos financers.

#### **4.6.2. Barreres socials i proposta de solucions**

Molt sovint les barreres que impedeixen l'aplicació de mesures de rehabilitació energètica en l'habitatge no són econòmiques sinó socials i psicològiques. Davant d'aquest tipus de barreres, les solucions han de ser diferents que en els casos de les barreres econòmiques.

##### **4.6.2.1. Barrera 3. Manca de referents i experiències d'èxit**

Ja fa més de 5 anys que es parla de la rehabilitació energètica d'habitatges com a filó d'ocupació i de creixement econòmic i les experiències reals en el sector residencial català són escasses. I la manca d'experiències reals d'èxit que es puguin explicar bé a la ciutadania i als actors clau del mercat frena l'aplicació de noves experiències que es puguin plantejar aquest tipus d'operació.

Davant d'aquesta barrera, es plantegen les solucions següents:

- **Finançament i incentius públics extraordinaris als primers casos singulars**

L'Administració pública, especialment els ajuntaments grans, com l'Ajuntament de Barcelona, podrien ampliar els ajuts públics i subvencions existents (vegeu la Barrera 1 a l'apartat 4.6.1.1) per aconseguir que s'executin uns primers casos singulars de rehabilitació energètica en edificis d'habitatge.

El referent més clar en aquest sentit és l'emblemàtica campanya “Barcelona, posa't guapa” impulsada originàriament per l'Institut del Paisatge Urbà i la Qualitat de Vida (IMPUQV) de l'Ajuntament de Barcelona l'any 1986, que va suposar un revulsiu important per promoure la rehabilitació d'edificis. Aquesta campanya va aconseguir dinamitzar el subsector econòmic de la rehabilitació i ser conegut per bona part de la ciutadania mitjançant l'aliança des de bon principi amb diverses institucions emblemàtiques de la ciutat. En concret, els primers convenis que va signar van ser amb institucions com el Barça, el Corte Inglés i la Caixa.

- **Àmplia difusió dels casos d'èxit**

L'esmentada campanya “Barcelona, posa't guapa” també va provocar un canvi cultural: el canvi de l'imaginari col·lectiu dels ciutadans en relació a la importància de les façanes urbanes. La difusió dels casos en què es va aplicar, a partir d'elements de les pròpies obres de rehabilitació com la bastida, va provocar un efecte crida que va repercutint positivament sobre el conjunt de la ciutat (l'any 2011 es va calcular que la campanya “Barcelona, posa't guapa” havia intervingut del 1986 fins aleshores en el 31% dels edificis de la ciutat de Barcelona).

En el cas de la rehabilitació energètica, es pot plantejar una campanya de difusió d'aquesta índole, reforçada si és el cas amb missatges de difusió de les feines fetes a les pròpies bastides o elements equivalents dels edificis en què es treballa. Cal posar especial èmfasi en els casos fàcilment replicables, perquè puguin ser incorporats fàcilment per la ciutadania.

#### 4.6.2.2. Barrera 4. Falta d'interès per raons d'edat

En el projecte Caracterització del parc existent d'edificis d'habitatge de Catalunya i definició de les tipologies més representatives, i el paquet de mesures per a la millora d'eficiència energètica i la seva avaluació econòmica, (AHC i ERF, 2014- Projecte MARIE), fruit d'una licitació pública de l'Agència d'Habitatge de Catalunya que va guanyar ERF, es va fer un treball de camp mitjançant una enquesta a 916 habitatges de Catalunya. D'entre les conclusions d'aquest treball de camp n'hi havia dues de molt importants relacionades entre elles:

- La composició de les famílies té més incidència en els consums energètics que no les característiques dels habitatges i edificis. Els habitatges amb nens petits o nadons consumeixen més que la mitjana, mentre que els habitatges amb persones grans en canvi consumeixen menys que la mitjana.
- Les llars amb més persones grans (majors de 65 anys) són les menys disposades a invertir en mesures d'eficiència energètica. En aquests sentit, la franja d'edat dels habitants té més incidència en la predisposició a l'aplicació de mesures d'eficiència energètica que les característiques dels habitatges i edificis.

Aquesta constatació té molta lògica, perquè les expectatives de gaudir d'una inversió d'aquest tipus es redueixen a mesura que s'incrementa l'edat. Davant d'aquesta barrera, es plantegen les solucions següents:

- **Identificació i difusió entre habitatges propietat de famílies joves**

La rehabilitació energètica caldrà difondre-la entre els propietaris que siguin famílies "joves" (pares de família entre 30 i 50 anys), que consumeixen més energia i, en general, tenen més bona predisposició a la inversió en rehabilitació. D'altres estudis demoscòpics identifiquen famílies d'aquest perfil i amb estudis universitaris com les més interessades en temes de sostenibilitat i eficiència. Si fins fa 8 les famílies amb aquest perfil s'instal·laven generalment en edificis nous, la crisi econòmica ha diversificat molt més la tipologia d'habitatge que utilitzen, en molts casos habitatges o edificis antics, ja sigui comprat, heretat o en usdefruit. En qualsevol cas, és important orientar els missatges de difusió i promoció de la rehabilitació energètica cap a aquest tipus de públic, perquè si algú ha de desencallar aquests processos seran ells.

- **Èmfasi en la difusió de beneficis complementaris com el confort i la millora per a la salut**

Les dificultats en el desenvolupament de projectes de rehabilitació energètica han fet constatar que en general l'eficiència energètica per si mateixa no és un driver revulsiu o desencadenador de la presa de decisions per impulsar aquest tipus de mesures. Això és cert per a diferents tipus de perfil d'usuari, però especialment en aquest perfil de persona major de 65 anys. Tot i això, molt sovint aquest perfil d'usuari té força capacitat d'inversió però es mou per altres interessos més immediats, com el confort i la millora per a la salut. Això explica l'aplicació creixent de mesures com la instal·lació d'ascensors en edificis d'habitatge que no en tenien, per posar només un exemple. Davant d'aquesta constatació, un element clau pot ser la difusió de l'aplicació de mesures d'eficiència energètica centrada en missatges més ben percebuts per aquest tipus de perfil, com ara el confort (tèrmic, acústic, etc.) i la millora per a la salut (materials de menys impacte ambiental, etc.). Com que moltes mesures d'eficiència energètica poden tenir aquest tipus d'interpretació, es pot orientar la seva difusió en aquest sentit.

#### **4.6.3. Actors clau del mercat**

Aquesta apartat llista els actors clau de la rehabilitació energètica a Catalunya que poden jugar un paper rellevant per a la seva promoció, com ara promotors públics i privats, ajuntaments que han endegats iniciatives singulars, etc. A més llista, segons cada tecnologia, els principals fabricants i distribuïdors.

Els actors més rellevants del sector de la rehabilitació energètica són els següents:

- Cambra Oficial de Contractistes d'Obres de Catalunya (Comissió de Rehabilitació i Manteniment d'Edificis de Catalunya – RIME).
- Associació de Promotors de Barcelona – APCE.
- FERCA (Federació Catalana d'Associacions Empresariales, que agrupa la quasi totalitat de Gremis d'instal·ladors de Catalunya).
- CONSTA (Institució sense ànim de lucre, integrada per les empreses dedicades a la construcció, reforma, manteniment i rehabilitació d'habitatges a Catalunya)
- OBRA ("Observatori de Barcelona per a la Rehabilitació Arquitectònica" és una associació legal en procés de constitució. Estarà formada per la Generalitat,

l'Ajuntament de Barcelona i els principals agents del sector de la rehabilitació per a la promoció de la innovació, la promoció i la difusió de la rehabilitació d'edificis de Barcelona).

- AMI (*Asociación de Empresas de Mantenimiento Integral y Servicios Energéticos*)
- ANESE (*Asociación Nacional de Empresas de Servicios Energéticos*)

També es consideren actors clau del mercat els següents:

- Clúster d'Eficiència Energètica de Catalunya.
- Gremi d'Hotels de Barcelona.
- CEVASA.
- Ajuntament de Barcelona (Institut Municipal del Paisatge Urbà i la Qualitat de Vida, Patronat Municipal de l'Habitatge de Barcelona, Agència de l'Energia de Barcelona).
- Generalitat de Catalunya (Agència de l'Habitatge de Catalunya, Institut Català del Sòl, Institut Català de l'Energia, Acció 10).
- Consorci de l'Habitatge de Barcelona, Consorci Metropolità de l'Habitatge.
- Col·legis professionals: Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona, Col·legi d'Arquitectes de Catalunya, Col·legi d'Administradors de Finques de Barcelona-Lleida, Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya, Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona
- Ajuntament de Santa Coloma de Gramenet.
- VIMUSA (Sabadell).
- PROMUSA (Sant Cugat).

