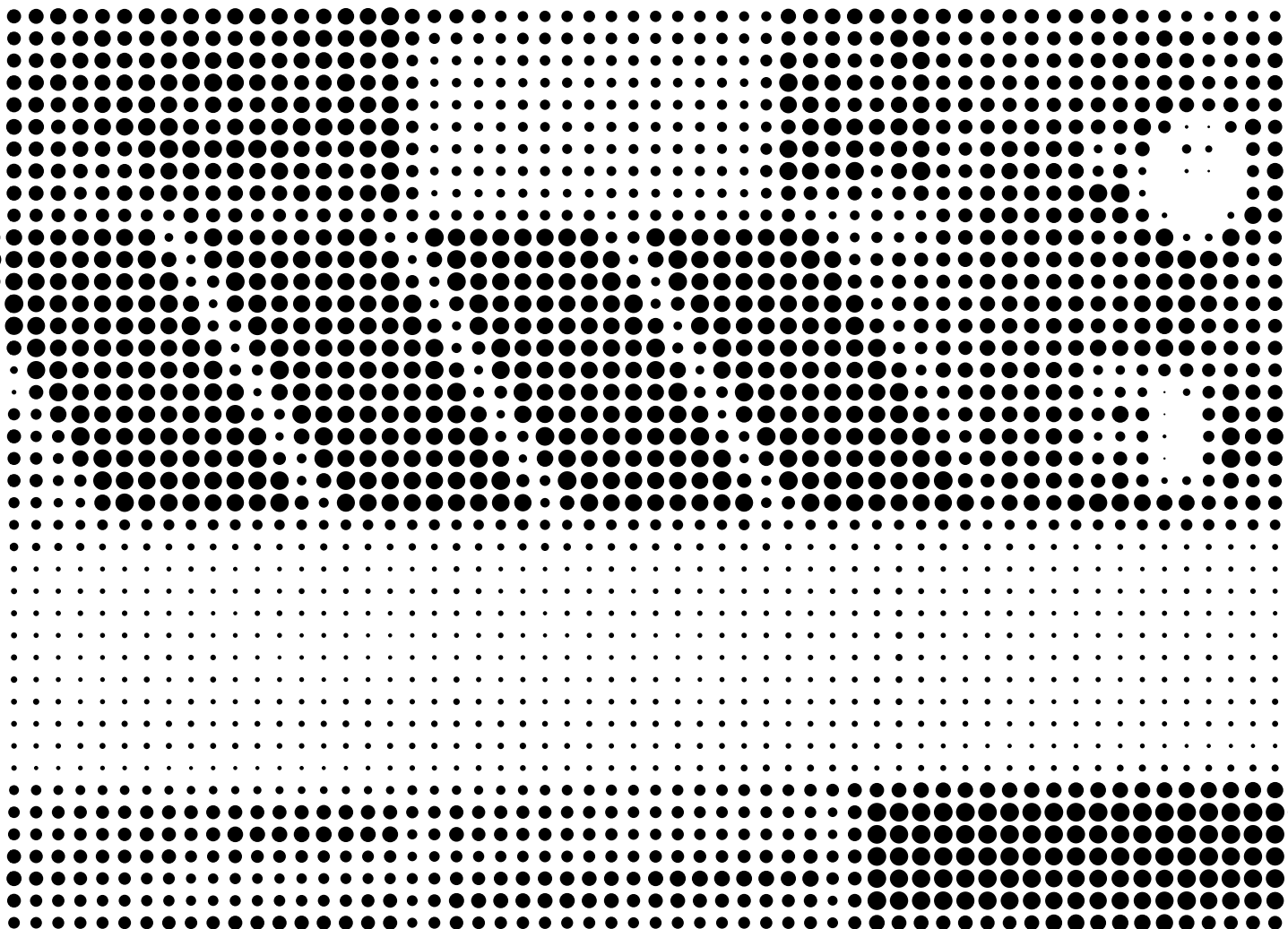
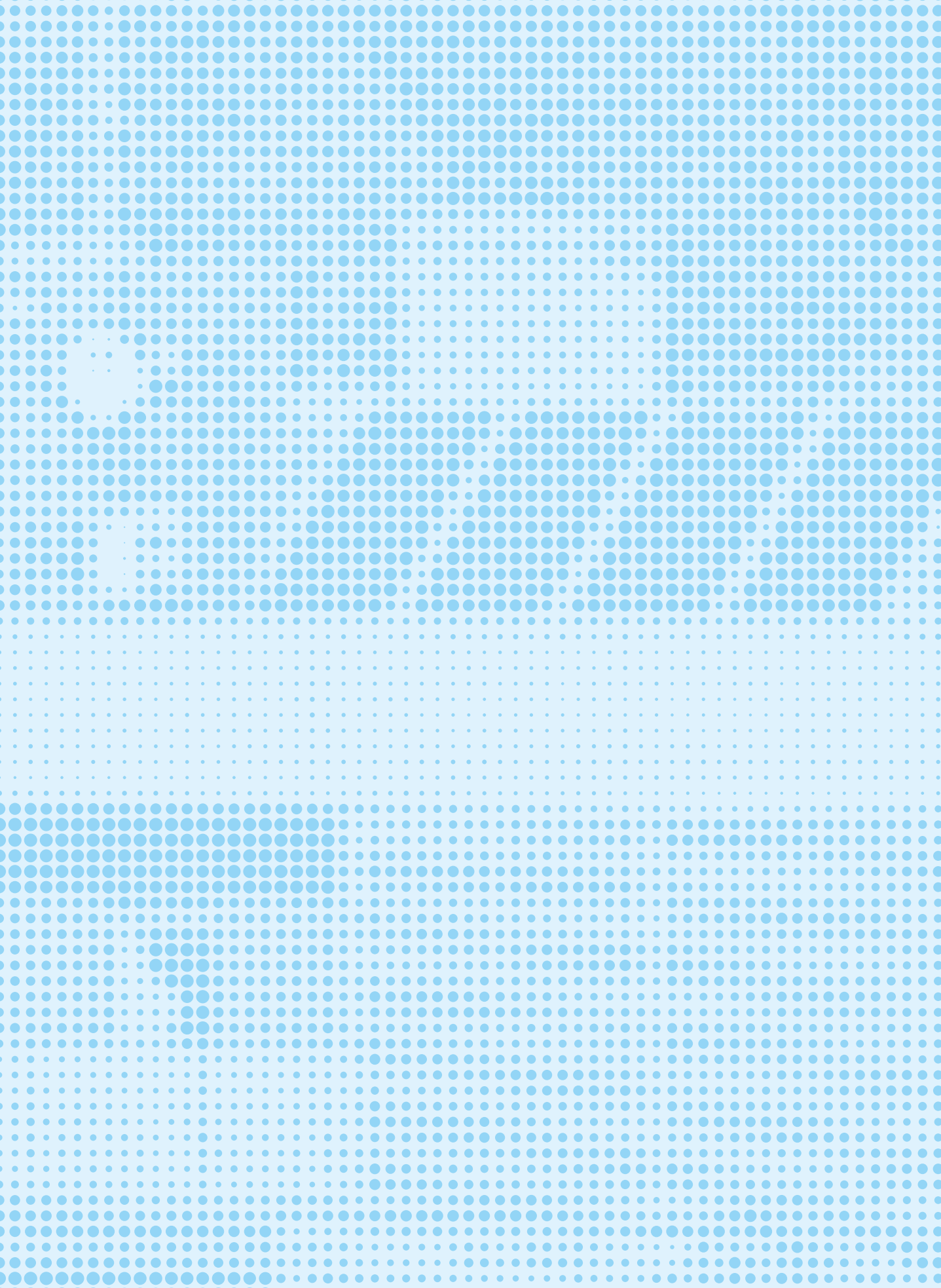


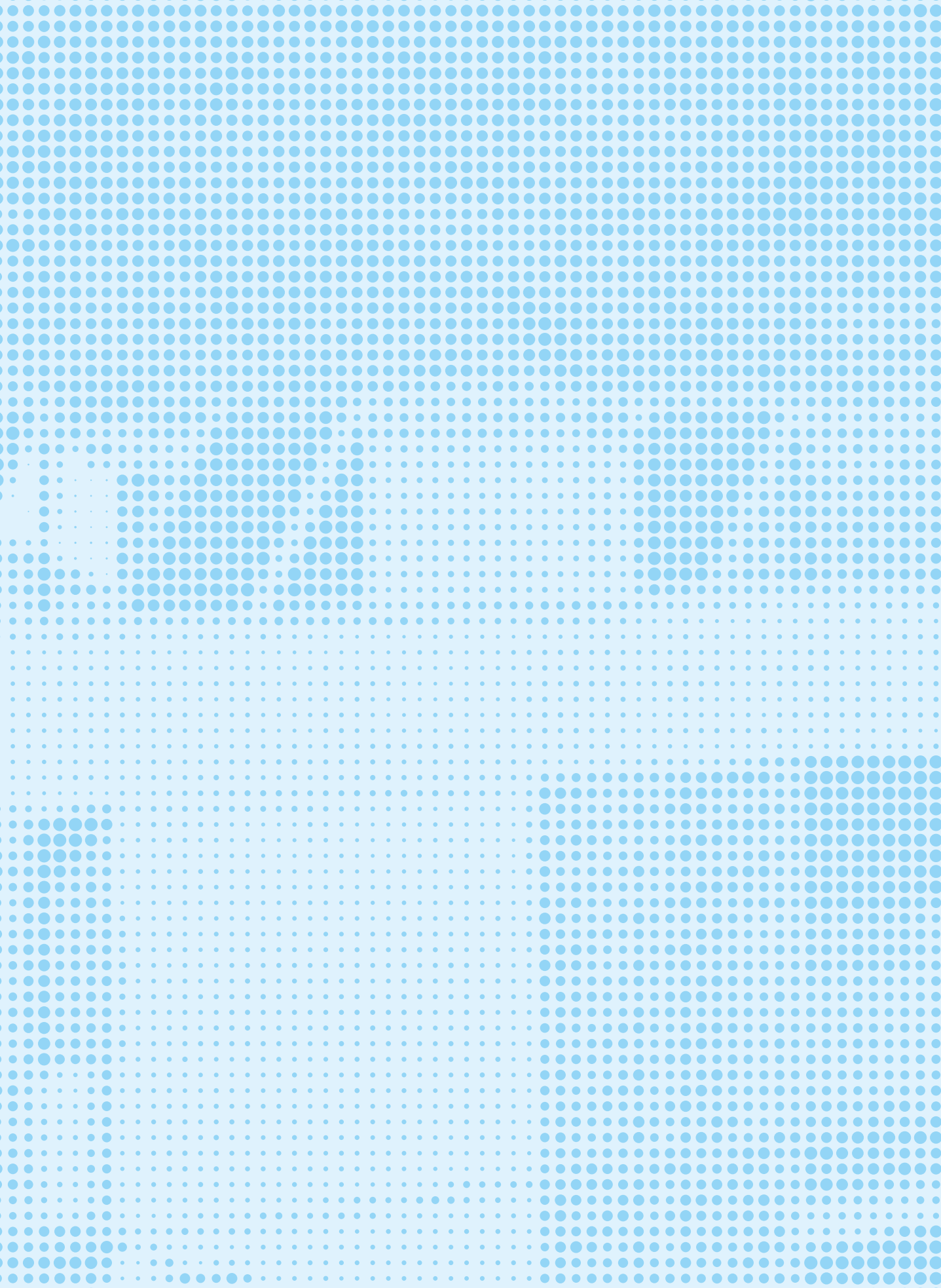
Edificis de consum d'energia gairebé zero



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 11







Edificis de consum d'energia gairebé zero



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 11

Biblioteca de Catalunya - Dades CIP

Edificis de consum d'energia gairebé zero.

- 2a edició. - (Col·lecció Quadern pràctic ; 11)

Referències bibliogràfiques:

I. Morer, Lluís, editor literari

II. Mata, Ainhoa, editor literari

III. Institut Català d'Energia.

IV. Col·lecció: Col·lecció Quadern pràctic ; 11

1. Edificis sostenibles - Catalunya.

2. Edificis - Consum d'energia - Catalunya.

3. Edificis - Estalvi d'energia - Catalunya.

721:502.131.1(460.23)

721:620.9(460.23)

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

1a edició: Abril de 2017

2a edició: Novembre de 2022

Dipòsit legal: B 23038-2022

Redacció del document base:

Sr. Pau Casaldàliga, Sra. Patricia Ripoll, Sr. Felipe Pich-Aguilera,

Sra. Teresa Batlle. Pichenergy. Pich-Aguilera Arquitectes.

Associació de Consultors d'Instal·lacions (ACI):

Ana Otero, ARC bcn

Raquel Clemente, JG Ingenieros

Xavi Martínez, Cristian González – AIA Instal·lacions Arquitectòniques

Arnau Bonastre – SJ12 Enginyers

Héctor Fernández – OTP Global Engineering

Sergio Colado – NECHI Ingeniería

Dídac Escribano – ENGITECSA

Col·laboradors en la revisió del document:

César de Cara – Institut Català d'Energia

Coordinació tècnica:

Lluís Morer, Ainhoa Mata - Institut Català d'Energia

Versió electrònica:

icaen.gencat.cat/quadempractic

Maquetació: Addenda, gestió i assessorament de l'edició | addenda.es

Disseny: Oxigen, comunicació gràfica | oxigen.cat

Avis 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

Pròleg	9
1. Introducció	11
1.1. Finalitat del quadern	11
1.1.1. Origen de l'objectiu dels edificis de consum d'energia gairebé zero	11
1.1.2. Públic a qui s'adreça	13
1.2. El cicle de l'energia dins dels nostres edificis	14
1.3. Edificis de consum d'energia gairebé zero a Europa	15
1.4. Edificis de consum d'energia gairebé zero a Espanya i Catalunya	20
1.4.1. Secció HE-0, Limitació del consum energètic	21
1.4.2. Secció HE-1, Condicions per al control de la demanda energètica	23
1.4.3. Secció HE-2, Condicions de les instal·lacions tèrmiques	27
1.4.4. Secció HE-3, Condicions de les instal·lacions d'enllumenat	28
1.4.5. Secció HE-4, Contribució mínima d'energia renovable per cobrir la demanda d'aigua calenta sanitària	28
1.4.6. Secció HE-5, Generació mínima d'energia elèctrica	29
1.4.7. Secció HE-6, dotacions mínimes per a la infraestructura de recàrrega de vehicles elèctrics	30
1.5. La rehabilitació energètica i edificis de consum d'energia gairebé zero	31
2. Punt de partida per a un edifici nou	34
2.1. Situació geogràfica i condicions climàtiques	34
2.2. Entorn proper	38
2.3. Disponibilitat de recursos	40
2.4. Requeriments d'ús en funció del programa	40
2.4.1. Condicions de confort necessàries per a cada tipus d'edifici	41
2.4.2. Nivell d'ocupació i activitat que ha d'allotjar l'edifici	42
3. Descripció de les mesures passives i de les estratègies per a la disminució de la demanda energètica	44
3.1. Factor de forma i geometria	45
3.2. Orientació	46
3.3. Envolupant	50
3.3.1. Tancaments opacs	50
3.3.2. Obertures	60
3.3.3. Proteccions solars	68
3.3.4. Reducció de ponts tèrmics	74
3.3.5. Estanquitat i hermeticitat dels tancaments	76
3.4. Solucions bioclimàtiques	77

4. Estratègies en les mesures actives per a la disminució del consum energètic mitjançant gestió energètica i equips d'alta eficiència	82
4.1. Instal·lació de climatització	84
4.2. Sistemes de producció	89
4.3. Sistemes de distribució	106
4.4. Sistemes terminals	109
4.5. Sistemes híbrids	113
4.6. Sistemes de ventilació	114
4.7. Tecnologies i estratègies d'il·luminació artificial	117
4.8. Tecnologies i estratègies en aparells elèctrics	120
4.9. Recàrrega de vehicles elèctrics	121
5. Mesures relacionades amb la generació d'energia d'origen renovable i l'autoconsum energètic	125
5.1. Energia solar fotovoltaica	125
5.2. Energia tèrmica renovable	127
5.3. Energia eòlica de baixa potència (minieòlica)	137
5.4. Energia aerotèrmica i geotèrmica de baixa temperatura	139
5.5. Microgeneració per produir electricitat i energia tèrmica	146
5.6. Energia de la biomassa	147
5.7. Aprofitament d'energies residuals	151
5.8. Gestió de la demanda elèctrica i tèrmica. Gestió del balanç de càrregues i bateries	151
5.9. Autoconsum energètic	152
6. Mesures relacionades amb la gestió energètica	153
6.1. Sistema de gestió energètica (SGE)	153
6.2. Control i gestió de consignes i paràmetres de funcionament d'equips (<i>building management system</i> , BMS)	155
6.3. Telegestió	160
6.4. Formació dels usuaris	161
7. Més enllà dels edificis de consum d'energia gairebé zero	162
7.1. Els edificis d'energia positiva	162
7.2. L'energia embeguda als edificis	163
7.3. Economia circular	163
7.4. Level(s): marc d'avaluació ambiental d'edificis	165
7.5. Segells ambientals d'edificis	167
7.6. Objectius de desenvolupament sostenible (ODS)	167
7.7. Pacte Verd Europeu	169

Pròleg

Durant el segle xx l'espècie humana ha crescut de forma exponencial, ha transformat la seva manera de viure i la societat de consum s'ha estès massivament. La seva expansió ha implicat la transformació del món, reduint els espais salvatges i la biodiversitat. L'energia forma part del motor que impulsa la nostra societat i utilitza majoritàriament combustibles fòssils: per al transport, per a la producció industrial, per a l'escalfament dels habitatges...

Aquest model energètic que hem mantingut durant dècades, basat en l'extracció de combustibles fòssils, ha comportat que avui ens hàgim d'enfrontar a les conseqüències ambientals derivades (canvi climàtic, contaminació atmosfèrica, etc.), desigualtats socials (no només en l'àmbit intern, sinó també en l'àmbit mundial) i un impacte econòmic per als països que, com Catalunya, són grans importadors de recursos energètics primaris.

Per això, el canvi en els models i sistemes energètics –inclosa la seguretat en el subministrament energètic– és un element fonamental per al canvi de paradigma que esdevé cada cop més necessari per superar els reptes actuals.

A més, el coneixement científic del qual ara es disposa sobre la relació directa entre el consum d'energia basada en fonts emissores de carboni i el canvi climàtic global fa que la transformació del model energètic sigui una obligació que va més enllà de l'àmbit econòmic per convertir-se en una condició per a l'habitabilitat del planeta. En aquest sentit, els estudis científics posen en relleu l'enorme pressió a què es veu sotmesa l'atmosfera per les emissions de gasos causants de l'efecte d'hivernacle, la qual cosa ens ha portat a la situació global d'emergència climàtica. D'aquesta anàlisi també se'n dedueix la urgència del canvi del model energètic a escala mundial.

La **transició energètica** esdevé, doncs, un dels grans reptes del segle xxi. Aquesta es basa en una aposta decidida per una transformació socioeconòmica a través de la gestió de la demanda, la millora de l'eficiència energètica, l'electrificació de l'economia, l'impuls de les energies renovables i la implantació d'una mobilitat neta, segura i connectada, entre altres estratègies. També, l'apoderament de la ciutadania, la lluita contra la pobresa energètica i una transició justa i inclusiva que no deixi ningú enrere són aspectes que cal tenir en compte per aconseguir l'objectiu d'assolir una **societat descarbonitzada el 2050**.

El sector dels edificis és clau en aquesta transició energètica, ja que és un gran consumidor d'energia: a Europa, els edificis consumeixen el **40% de l'energia final**. Posar en pràctica els conceptes d'*edificis de consum gairebé nul* i *de zero emissions* i la rehabilitació del parc d'edificis existents, incloent-hi la utilització de les cobertes i façanes per a la generació renovable, és, doncs, determinant en la transició cap al nou model energètic.

El parc d'edificis existents (anterior al 2007) està molt envellit, i les ajudes provinents dels fons Next Generation són un incentiu cabdal i sense precedents per

impulsar-ne la rehabilitació. Aquest pla de recuperació contribuirà a reparar els danys econòmics i socials provocats per la pandèmia del virus COVID-19.

L'objectiu des de la Unió Europea és la rehabilitació del 3% del parc d'edificis cada any, i a Espanya tan sols es rehabilita el 0,8%. El Codi tècnic de l'edificació del 2019 impulsa les grans rehabilitacions, les inclou en l'àmbit d'aplicació del document bàsic d'estalvi d'energia i indica requisits mínims per a intervencions parcials.

D'altra banda, els edificis nous són de consum d'energia gairebé zero, en complir amb la limitació de consum energètic del Codi tècnic de l'edificació. La normativa, cada cop més exigent, ha fet millorar l'eficiència energètica dels edificis de nova construcció, que han assolit uns nivells impensables fa una dècada. Properament, es modificarà aquesta normativa, incorporant l'obligació d'instal·lar punts de recàrrega per als vehicles elèctrics als aparcaments dels edificis, amb la qual cosa s'avança cap a un model d'integració de mobilitat, de consum i de producció d'energia, amb instal·lacions solars fotovoltaïques, als edificis.

Aquesta concreció de la normativa ha comportat la necessària actualització d'aquesta publicació, s'hi han incorporat els nous requisits energètics que han de complir els edificis i s'han actualitzat els continguts de mesures passives i, especialment, els de mesures actives i energies renovables.

Una altra normativa que s'ha actualitzat és la que regula la certificació energètica dels edificis (RD 390/2021). El seu àmbit d'aplicació (edificis nous i existents vinculats a una venda o lloguer i edificis públics) s'amplia incloent-hi rehabilitacions, edificis de més de 500 m² de determinats usos (administratiu, comercial, residencial públic...) i aquells que han de realitzar la inspecció tècnica de l'edifici. Aquest canvi dona un nou impuls a aquest document, que, a més, resulta clau en les ajudes Next Generation, ja que cal demostrar un estalvi energètic sobre la base d'aquest canvi.

Cal també incorporar en aquest concepte modern de rehabilitació les possibilitats dels edificis per a la generació energètica distribuïda a partir de fonts d'energia renovable. El model energètic renovable que Catalunya necessita, en el marc dels objectius europeus, requereix la utilització massiva de les cobertes dels edificis per a la generació renovable. Aquesta aportació, tot i que no podrà cobrir per si sola les necessitats d'energia renovable del nou model, és una aportació necessària i una manera de promoure l'apoderament dels ciutadans i la seva participació en el mercat energètic.

Aquesta publicació inclou també una mirada més àmplia respecte dels impactes ambientals dels edificis. El sistema Level(s) estableix un marc comú a Europa per revisar els aspectes ambientals durant el disseny, l'execució i l'ús de l'edifici. Cal que limitem el consum d'energia, de materials i aigua, durant tot el cicle de vida de l'edifici, i canviem cap a una **economia circular**. En un marc encara més ampli, es referencien els aspectes principals dels **objectius de desenvolupament sostenible** més directament relacionats amb les ciutats.

Per concloure, Sir David Attenborough sintetitza la situació actual al seu llibre *Una vida en nuestro planeta*:

La negligent utilització dels combustibles fòssils ens ha posat davant del major i més urgent desafiament que mai hàgim enfrontat. Si aconseguim culminar la transició de les energies renovables a la vertiginosa velocitat que exigeixen les circumstàncies, el gènere humà recordarà amb eterna gratitud la generació present, ja que **som veritablement la primera que ha entès autènticament les dimensions del problema –i la darrera amb possibilitat de fer quelcom per corregir el rumb.**



1. Introducció

1.1. Finalitat del quadern

1.1.1. Origen de l'objectiu dels edificis de consum d'energia gairebé zero

El sector de l'edificació representa el 40% del consum energètic total de la Unió Europea. La reducció del consum d'energia en aquest àmbit constitueix, per tant, una prioritat en el marc de l'Estratègia Europa 2020 (aprovada pel Consell Europeu el març del 2007), coneguda com a 20-20-20, per a un creixement intel·ligent, sostenible i integrador.

Aquesta estratègia marcava tres objectius clars:

- Reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle un 20% respecte del 1990 amb el compromís sota acord internacional d'elevat l'objectiu fins al 30%.
- Arribar a una contribució del 20% de fonts renovables en el consum d'energia final de la UE el 2020 i del 10% en el sector del transport.
- Augmentar l'eficiència energètica amb la finalitat d'estalviar un 20% del consum energètic de la UE respecte de les projeccions per a l'any 2020.

En relació amb els tres objectius, el grau de compliment a Catalunya ha estat el següent:

- El consum energètic de Catalunya de l'any 2019 se situava en un 20,6% per sota del consum energètic de l'escenari base per a l'any 2020, de manera que ja complia amb l'objectiu del 20% de reducció del consum energètic per al 2020, tot i la tendència creixent del consum energètic dels darrers anys.
- El consum d'energies renovables respecte del consum «brut» d'energia final (definit segons el criteri de la Directiva 2009/28/UE) mostra una tendència creixent en el període 2004-2010. L'entrada en vigor de l'aplicació dels criteris de sostenibilitat dels biocarburants (any 2011), la supressió dels ajuts econòmics per a noves instal·lacions de producció d'energia elèctrica amb energies renovables (any 2012) i l'eliminació de l'exempció fiscal als biocarburants (any 2013) van produir una reducció i posterior estabilització de la contribució de les energies renovables entorn del 8% a partir de l'any 2014. Posteriorment, malgrat la manca de noves instal·lacions de generació elèctrica renovable, l'ús de biocarburants avançats, la utilització de biomassa per a generació tèrmica i dels sistemes d'aerotèrmia fan que per a l'any 2019 la contribució de les energies renovables assoleixi el 9,9%. Aquesta àmplia diferència és conseqüència d'haver assolit només el 19,8% d'energies renovables en la combinació elèctrica, inferior a la previsió del Pla de l'energia i canvi climàtic de Catalunya (PECAC) per a l'any 2020 (37,9%).

- Des del 1990 les emissions de CO₂ han anat en augment, sempre a causa del creixement econòmic. A partir del 2006-2007 les emissions disminueixen, a causa de la crisi econòmica del moment, fins al 2014, moment en el qual comença la recuperació econòmica i, en conseqüència, tornen a augmentar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Una contribució més gran de les energies renovables en la combinació elèctrica a partir d'aquest any hauria produït un increment menys acusat de les emissions de GEH (gasos amb efecte d'hivernacle). La forta reducció de les emissions degut a l'efecte perllongat en el temps de la crisi econòmica va provocar que el 2014 el nivell d'emissions estigués molt per sota de l'objectiu màxim per al 2020. Tanmateix, tenint present que s'ha assolit una reducció del 22,1% fins a l'any 2019 (respecte de l'any 2005), la tendència d'augment de les emissions els últims anys apunta que, en circumstàncies normals (sense crisi deguda a la pandèmia de COVID-19), no s'assoliria la reducció de les emissions prevista.

En la Convenció Marc sobre el Canvi Climàtic de desembre del 2015, es va aprovar l'Acord de París per mantenir l'augment de la temperatura mitjana mundial molt per sota dels 2 °C respecte del nivell preindustrial i seguir esforçant-se per limitar l'augment de la temperatura a 1,5 °C, com també que les emissions han de ser pràcticament nul·les el 2050.

L'Acord de París també indica que s'ha de promoure la resiliència al clima, l'adaptació de les ciutats al canvi climàtic.

En aquest context, el 19 de maig de 2010 es publica la Directiva 2010/31/UE del Parlament Europeu i del Consell, relativa a l'eficiència energètica dels edificis, que afecta el consum energètic de la calefacció, l'escalfament d'aigua, la refrigeració, la ventilació i la il·luminació per als edificis nous i existents, tant residencials com no residencials. Aquesta directiva defineix, per primer cop, els edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB, de l'anglès *nearly zero energy building*) i és una refosa de la Directiva 2002/91/UE, que va iniciar el camí per contribuir a la reducció del consum energètic als edificis de la UE.

La Directiva (UE) 2018/844, per la qual es modifica la Directiva 2010/31/UE, relativa a l'eficiència energètica dels edificis, i la Directiva 2012/27/UE, relativa a l'eficiència energètica, planteja com a objectiu renovar el 3% del parc d'edificis cada any i promoure un accés igualitari al finançament. Les eines següents ajudaran a assolir aquest objectiu:

- Les hipoteques vinculades al certificat energètic.
- Les finestretes úniques per millorar l'assessorament.
- El passaport de renovació de l'edifici (document electrònic o en paper en què es descriu el full de ruta a llarg termini –a quinze o vint anys– per a la renovació per etapes d'un edifici).

Ahora, la directiva representa un impuls per a la generalització del vehicle elèctric, mitjançant l'obligació d'incloure punts de recàrrega i canalitzacions als edificis nous i a les rehabilitacions importants.

Els objectius de la UE per a l'any 2030 mostren la urgència de mitigar el canvi climàtic:

- 40% de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) respecte del 1990.
- 32% de renovables sobre el consum total d'energia final bruta.

- 32,5% de millora de l'eficiència energètica.
- 15% d'interconnexió elèctrica dels estats membres.

La Comissió Europea va actualitzar el 28 de novembre de 2018 la seva visió estratègica a llarg termini en la comunicació *Un planeta net per a tothom* (COM, 2018, 773 final) per tal que la Unió Europea arribi a una economia pròspera, moderna, competitiva i climàticament neutra l'any 2050.

Les mesures contemplades en el Pla nacional integrat d'energia i clima (PNIEC) 2021-2030, aprovat el 16 de març de 2021, permetran assolir els resultats següents a Espanya el 2030:

- 23% de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte del 1990.
- 42% de renovables sobre l'ús final de l'energia.
- 39,5% de millora de l'eficiència energètica.
- 74% d'energia renovable en la generació elèctrica.

Aquests resultats permetran avançar cap al compliment de l'objectiu a més llarg termini que ha guiat l'elaboració d'aquest pla, que és assolir la neutralitat d'emissions de GEH d'Espanya el 2050, en coherència amb les posicions adoptades per la Comissió Europea i la majoria dels estats membres. Aquest objectiu suposa la reducció de, com a mínim, un 90% de les emissions brutes totals de gasos amb efecte d'hivernacle respecte del 1990 per al 2050. A més, es persegueix aconseguir per a aquesta data un sistema elèctric 100% renovable.

El [pla de recuperació Next Generation de la Unió Europea](#) preveu invertir 750.000 milions d'euros per superar la crisi econòmica deguda a la pandèmia causada pel coronavirus. Més del 50% de l'import es destinarà a donar suport a la modernització: recerca i innovació, transicions climàtica i digital justes, resiliència i nou programa de salut. A més, el paquet posa el focus en la lluita contra el canvi climàtic, amb el 30% dels fons de la UE, la protecció de la biodiversitat i la igualtat de gènere. L'Europa posterior a la COVID-19 ha de ser més ecològica, més digital, més resilient i millor adaptada als reptes actuals i futurs.

Per avançar cap a aquests objectius europeus, la Generalitat de Catalunya a través de l'ICAEN (Institut Català d'Energia) ha actualitzat el QUADERN PRÀCTIC publicat l'abril del 2017 per ajudar i orientar els arquitectes i enginyers a dissenyar i construir edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB).

Aquest quadern pràctic pretén endreçar els criteris i aclarir la terminologia per facilitar el procés de canvi dins del sector. Així mateix, reflecteix una realitat en constant evolució amb innovacions permanents.

Es tracta d'un instrument d'ajuda, d'orientació i de guia bàsica que pretén servir com a document de consulta als equips d'arquitectura i enginyeria i a altres professionals relacionats amb el món de la construcció. També és un quadern útil i interessant per a les propietats i promotores que s'inicien en els edificis de consum d'energia gairebé zero. Ha de quedar clar que, per assolir els edificis de consum d'energia gairebé zero, cal que cada personal tècnic apliqui en tot moment el seu criteri i els seus coneixements professionals per aconseguir un edifici saludable, confortable, atractiu, d'alta eficiència energètica i de baixes emissions.

1.1.2. Públic a qui s'adreça

El públic objectiu d'aquesta publicació és el següent:

- Professionals que participen en el procés de disseny i concepció d'edificis.
- Empreses constructores i fabricants de productes i sistemes de la construcció que materialitzaran els edificis i els seus components.
- Persones usuàries amb interès en el comportament energètic dels edificis que ocupen i/o habiten.
- Estudiants que en el futur participaran en el sector de l'edificació.
- Equips tècnics especialitzats en assessorament i estudis energètics.
- Administracions que han de desenvolupar legislacions al respecte.

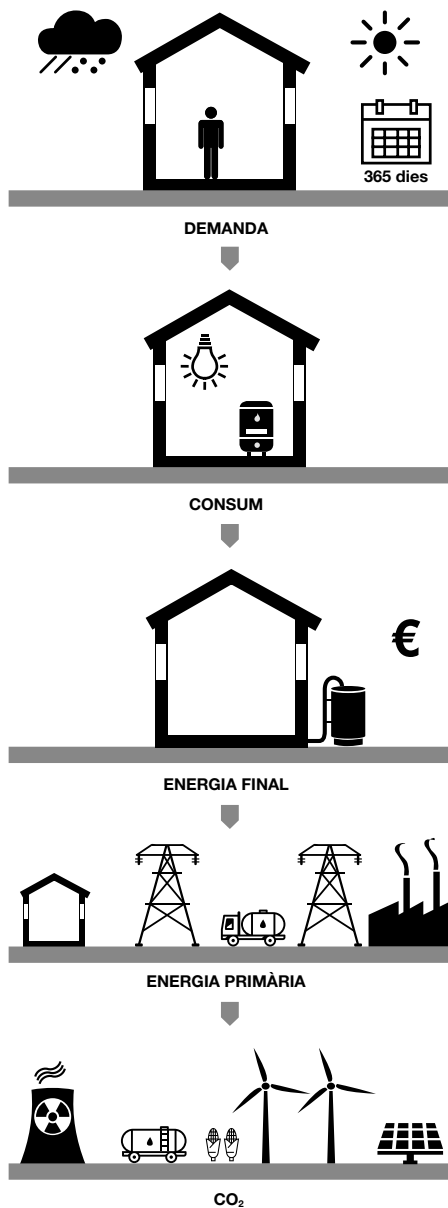
1.2. El cicle de l'energia dins dels nostres edificis

Una de les funcions principals d'un edifici és protegir el seu interior de les condicions i variacions climàtiques exteriors i cobrir unes necessitats de confort específiques, que depenen del seu ús. Complir aquesta funció pot requerir un cert consum d'energia, que depèn del disseny, la zona climàtica, els elements que componen la seva envoltant, la manera com utilitzem l'edifici i les característiques dels equips i de les instal·lacions que consumeixen energia.

Abans d'abordar la guia és important especificar alguns conceptes i criteris sobre la relació entre energia i edificació per tal d'aclarir totes les exigències normatives i indicar quines decisions es poden prendre en cada fase de projecte.

- **Energia:** capacitat de realitzar un treball, expressada com la potència multiplicada per la unitat de temps. Cal indicar que el temps d'ús és fonamental a l'hora de quantificar-la i hem de tenir en compte el balanç anual per poder valorar-la. La unitat més utilitzada és el kWh, segons el sistema internacional. Ara bé, també s'utilitza el megajoule. Per poder comparar millor l'edifici amb la resta d'edificis, és aconsellable relacionar el consum d'energia amb la ràtio kWh/m².
- **Potència:** quantitat de treball efectuat per una unitat de temps. La unitat més utilitzada és el W (watt), segons el sistema internacional. Per mantenir el confort i l'ús d'un edifici, la potència de les instal·lacions ha de permetre satisfer la demanda de temperatura i de força en totes les situacions. Per tant, els edificis han d'estar preparats per cobrir la demanda de potència en les situacions més demandants.
- **Demanda energètica:** quantitat d'energia necessària per satisfer els requeriments de confort ambiental i d'ús. Per calcular-la, s'ha de tenir en compte la implantació, l'ús, la morfologia i el sistema constructiu de l'edifici.
- **Consum energètic:** energia que requereixen els sistemes (instal·lacions) de l'edifici per satisfer la demanda energètica. Tenint en compte la relació entre demanda i consum, són especialment significatius la tipologia i el rendiment d'aquests sistemes.
- **Energia final:** energia que s'utilitza en el punt de consum. Equival al consum energètic.
- **Energia primària:** energia continguda a les fonts energètiques tenint en compte el procés de transformació, l'emmagatzematge i les pèrdues degudes al transport des del punt de producció fins al punt de consum.
- **Emissions de CO₂:** quantitat de diòxid de carboni (CO₂) emès durant el procés de generació, transformació, transport i consum de l'energia. Depenen tant del consum energètic com de la font energètica utilitzada (renovable o no renovable).

Figura 1.1. Recorregut de l'energia des del punt de producció fins a l'edifici on es consumeix.



1.3. Edificis de consum d'energia gairebé zero a Europa

La Directiva 2010/31/UE, relativa a l'eficiència energètica dels edificis, estableix que cada estat membre ha de concretar la definició exacta d'edifici de consum d'energia gairebé zero, però mantenint una definició general:

Edifici amb un nivell d'eficiència energètica molt alt. [...] La quantitat gairebé zero o molt baixa d'energia requerida hauria d'estar coberta, en molt àmplia

mesura, per energia procedent de fonts renovables, inclosa energia procedent de fonts renovables produïda *in situ* o en l'entorn.

Els principis que han de ser delimitats són els següents:

- La demanda energètica.
- El percentatge d'energia renovable utilitzada.
- L'energia primària utilitzada i les emissions de CO₂.

Cal diferenciar el concepte *nearly zero energy building* (nZEB) del concepte *net zero energy building* (NZEB), que fa referència a un edifici amb un balanç d'energia zero. És a dir, en el segon cas, la quantitat total d'energia utilitzada per l'edifici anualment és aproximadament igual a la quantitat d'energia renovable generada allà mateix o, segons altres definicions, en altres llocs.

Cost òptim

Tal com indica la Directiva 2010/31/UE, les mesures per millorar l'eficiència energètica dels edificis han de tenir en compte les condicions climàtiques, les condicions de confort interiors i la rendibilitat en termes de cost-eficàcia dels elements de l'envolupant i dels equips instal·lats a l'edifici.

A l'annex III d'aquesta mateixa directiva es defineix el marc metodològic comparatiu per determinar els nivells òptims de rendibilitat dels requisits d'eficiència energètica dels edificis i dels seus elements.

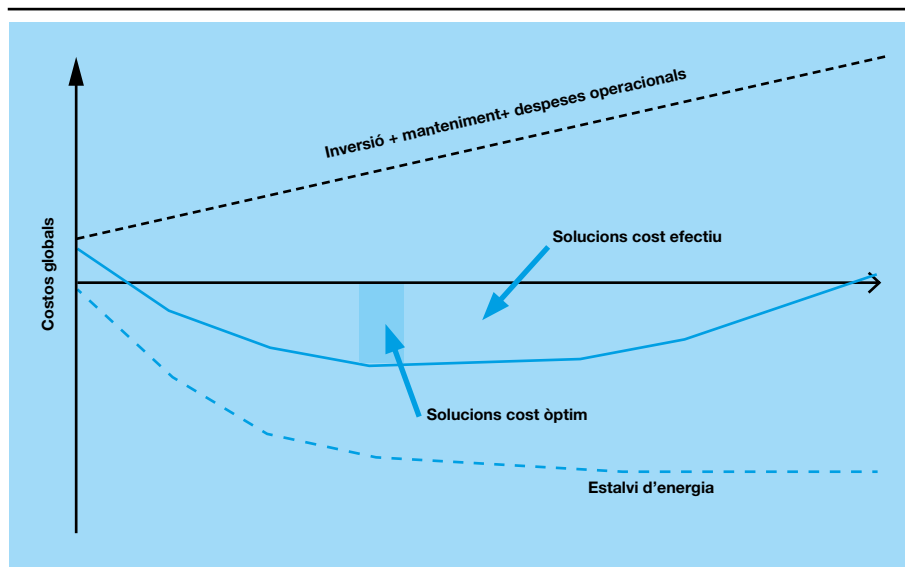
Els estats membres han aplicat aquesta metodologia:

- Definir edificis de referència residencials i terciaris, nous i existents, tenint en compte les condicions climàtiques exteriors i les condicions de confort interiors.
- Especificar mesures d'eficiència energètica.
- Avaluar les necessitats d'energia final i primària dels edificis de referència, abans i després d'aplicar les mesures d'eficiència energètica.
- Calcular els costos (valor actual net) de les mesures d'eficiència energètica durant el seu cicle de vida útil previst. Els costos que cal considerar són els següents:
 - Costos d'inversió.
 - Costos de manteniment i funcionament (entre ells, costos i estalvi d'energia, calculant la previsió del cost d'aquesta en el futur).
 - Guanys procedents de l'energia produïda.
 - Costos d'eliminació, si és el cas. Per exemple, considerant la vida d'un edifici de 50 anys, si es disposa d'una caldera i el seu cicle de vida útil previst és de 15 anys, caldrà considerar el cost de substituir-la al cap d'aquest temps.

En calcular els costos de les mesures d'eficiència energètica durant el cicle de vida útil previst, els estats membres avaluen la relació cost-efectivitat dels diferents nivells dels requisits mínims d'eficiència energètica, cosa que permet determinar els nivells òptims de rendibilitat dels requisits d'eficiència energètica.

El mètode del cost òptim per a un edifici no analitza mai un sol paquet de mesures, sinó un conjunt de solucions, les quals són més o menys igual de vàlides o òptimes des del punt de vista de la rendibilitat. Per tant, per a cada tipus d'edifici hi ha un conjunt de corbes, depenent de la construcció i de les combinacions tècniques utilitzades en el càlcul del cost òptim d'avaluació.

En els casos publicats per la Comissió Europea es defineix que el nombre de solucions calculades no ha de ser inferior a deu i s'ha d'assegurar que és possible identificar la línia que representa el cost òptim de les mesures proposades.



Gràfic 1.1.
Implementació de la metodologia de cost òptim als estats de la Unió Europea, 2013.
Font: BPIE.

Indicadors de referència

A la majoria de països, la definició de l'edifici de consum d'energia gairebé zero assumeix com a indicador principal l'**energia primària màxima** (kWh/m²/any). Per poder disposar de dades unificades, comparables entre si, els estats membres han d'aplicar la norma UNE-EN ISO 52000-1:2019, d'eficiència energètica dels edificis. Aquesta norma estableix un marc metodològic comú a la Unió Europea i defineix els diferents indicadors que han de complir els edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB), els quals no són només el consum d'energia primària o les emissions.

Dates límit de compliment

A la Directiva 2010/31/EU es va establir que, a tot tardar, el 31 de desembre de 2018 tots els edificis nous que estiguessin ocupats i fossin propietat d'autoritats públiques havien de ser edificis de consum d'energia gairebé zero. També es va determinar que, com a màxim, el 31 de desembre de 2020 tots els edificis nous havien de ser edificis de consum d'energia gairebé zero.

Estat de desenvolupament actual

El mes de juny de 2021, el Buildings Performance Institute Europe (BPIE, www.bpie.eu) va publicar el llibre *Nearly zero: a review of EU Member State implementation of new build requirements*. En aquesta publicació es mostra la implementació dels edificis d'energia gairebé zero als estats membres de la Unió Europea.

Taula 1.1. Resum dels requisits dels edificis de consum d'energia gairebé zero.

Estat/regió	La legislació nZEB per a edificis públics estava publicada el gener de 2019?	La legislació nZEB per a tots els edificis estava publicada el gener de 2021?	Hi ha un indicador numèric d'energia primària expressat en kWh/m ² /any?	Els requeriments d'energies renovables estan clarament especificats?
Àustria	Sí	Sí	No	Sí
BE - Brussel·les	Sí	Sí	Sí	No
BE - Flandes	Sí	Sí	No	Sí
BE - Valònia	Sí	Sí	Sí	No
Bulgària	No	No	Sí	Sí
Croàcia	Sí	Sí	Sí	Sí
Xipre	Sí	Sí	Sí	No
Txèquia	Sí	Sí	Sí	No
Dinamarca	Sí	Sí	Sí	Sí
Estònia	Sí	Sí	Sí	No
Finlàndia	Sí	Sí	Sí	No
França	Sí	Sí	Sí	Sí
Alemanya	No	Sí	No	Sí
Grècia	No	No	Sí	Sí
Hongria	No	No	Sí	Sí
Irlanda	Sí	Sí	Sí	Sí
Itàlia	Sí	Sí	No	Sí
Letònia	Sí	Sí	Sí	No
Lituània	Sí	Sí	Sí	Sí
Luxemburg	Sí	Sí	No	No
Malta	Sí	Sí	Sí	No
Països Baixos	Sí	Sí	Sí	Sí
Polònia	Sí	Sí	Sí	No
Portugal	Sí	Sí	No	Sí
Romania	Sí	Sí	Sí	Sí
Eslovàquia	Sí	Sí	Sí	No
Eslovènia	Sí	Sí	Sí	Sí
Espanya	No	Sí	Sí	Sí
Suècia	Sí	Sí	Sí	No

Només vuit dels estats membres han complet els quatre requisits: Croàcia, Dinamarca, França, Irlanda, Lituània, els Països Baixos, Romania i Eslovènia.

A més de les variacions climàtiques dins d'un país, la Comissió Europea ha considerat el clima a tota la UE.

El 2016 es va publicar la recomanació (UE) 2016/1318 de la Comissió, sobre les directrius per a la promoció d'edificis gairebé sense energia i bones pràctiques, per garantir que, el 2020, tots els edificis nous siguin edificis gairebé sense energia. Es proposava uns llindars de referència d'energia primària a tota la UE, diferenciats segons quatre zones climàtiques principals: mediterrània, oceànica, continental i nòrdica.

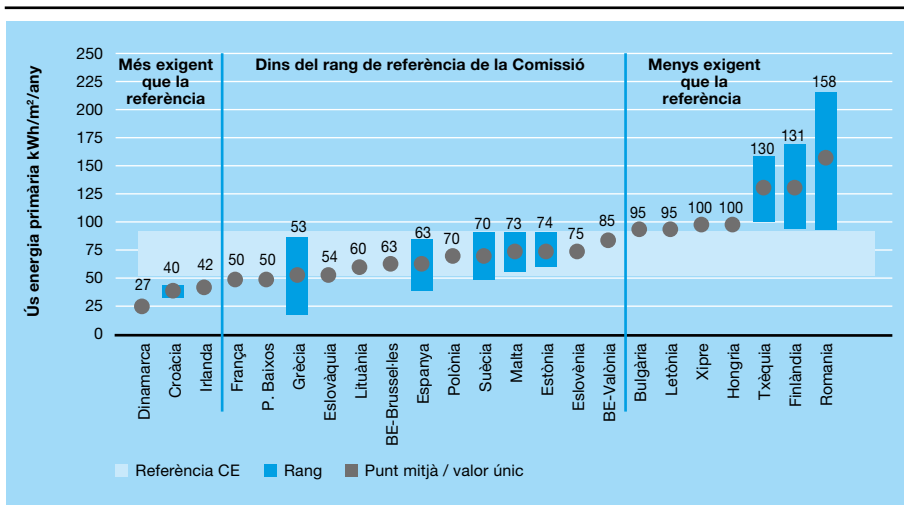
A continuació, es resumeixen aquests valors de referència recomanats per a habitatges unifamiliars i oficines.

Zona climàtica	Energia primària no renovable (kWh/m ² ·any)	Energia de fonts renovables (kWh/m ² ·any)	Energia primària total (kWh/m ² ·any)	Percentatge de renovables respecte de l'energia primària total (%)
Casa unifamiliar				
Mediterrània	0-15	50	50-65	87%
Oceànica	15-30	35	50-65	61%
Continental	20-40	30	50-70	50%
Nòrdica	40-65	25	65-90	32%
Oficines				
Mediterrània	20-30	60	80-90	71%
Oceànica	40-55	45	85-100	49%
Continental	40-55	45	85-100	49%
Nòrdica	55-70	30	85-100	32%

Taula 1.2. Valors de referència recomanats per a habitatges unifamiliars i oficines.

A mesura que disminueix la severitat climàtica (zona mediterrània), disminueix el límit proposat i augmenta el percentatge de contribució d'energies renovables.

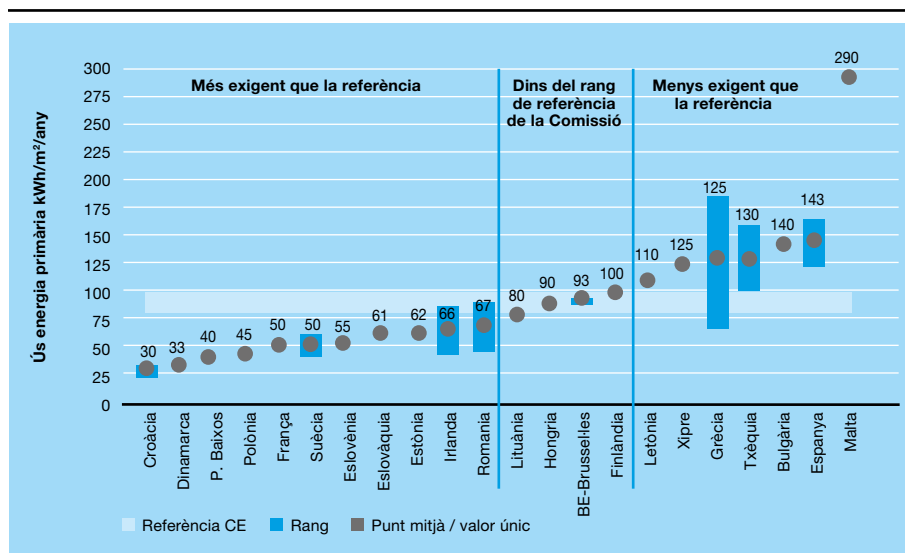
Al gràfic següent es poden veure els rangs límit d'energia primària total (kWh/m²/any) per a habitatges unifamiliars, en els diferents estats membres.



Gràfic 1.2. Els rangs límit d'energia primària total (kWh/m²/any) per a habitatges unifamiliars, en els diferents estats membres.

Al gràfic següent es poden veure els rangs límit d'energia primària total (kWh/m²/any) per a edificis d'oficines, en els diferents estats membres.

Gràfic 1.3. Rangs limit d'energia primària total (kWh/m²/any) per a edificis d'oficines, en els diferents estats membres.



1.4. Edificis de consum d'energia gairebé zero a Espanya i Catalunya

A Espanya i a Catalunya, es va transposar per primera vegada la definició genèrica d'edifici de consum d'energia gairebé zero com a disposició addicional quarta del Reial decret 56/2016, de 12 de febrer, relatiu a auditories energètiques, acreditació de proveïdors de serveis i auditors energètics i promoció de l'eficiència en el subministrament energètic:

Es defineix com a edifici de consum d'energia gairebé nul, en l'àmbit de la Directiva 2010/31/UE del Parlament Europeu i del Consell, de 19 de maig de 2010, relativa a l'eficiència energètica dels edificis, aquell edifici amb un nivell d'eficiència energètica molt alt, que s'ha de determinar de conformitat amb l'annex I de l'esmentada directiva. La quantitat gairebé nul·la o molt baixa d'energia requerida hauria d'estar coberta, en molt àmplia mesura, per energia procedent de fonts renovables, inclosa energia procedent de fonts renovables produïda *in situ* o en l'entorn.

El 2017, es va publicar una nova definició d'edifici de consum d'energia gairebé zero (nZEB) que establia que havia de complir els requisits mínims definits al Codi tècnic de l'edificació (CTE), segons s'indica al Reial decret 235/2013, que regula el procediment de la certificació d'eficiència energètica d'edificis, en la seva disposició addicional segona (aquesta disposició es va modificar per l'article 1 del Reial decret 564/2017).

El 2019 es va modificar el Codi tècnic de l'edificació per actualitzar la definició dels edificis de consum d'energia gairebé zero (Reial decret 732/2019, de 20 de desembre, BOE 27-12-2019). Degut a la situació d'estat d'alarma a causa de la pandèmia de COVID-19, el termini de sis mesos d'aplicació voluntària (la finalització original era el 27 de juny de 2020) es va allargar fins al 23 de setembre de 2020. És obligatòria l'aplicació de l'esmentat reial decret per a totes les obres que sol·licitin llicència municipal a partir del 24 de setembre de 2020.

En l'àmbit d'aplicació del document bàsic d'estalvi d'energia s'indica: «Es defineix com a **edifici de consum d'energia gairebé nul** aquell edifici, nou o existent, que compleix amb les exigències reglamentàries establertes en aquest document bàsic «DB HE Estalvi d'energia» quant a la **limitació de consum energètic** per a edificis de nova construcció.»

Aquesta frase conté diferents punts rellevants:

- Perquè un edifici sigui de consum d'energia gairebé zero ha de complir amb la «limitació de consum energètic» per a edificis de nova construcció, o sigui, amb l'apartat HE-0 del document bàsic d'estalvi d'energia, en relació amb les exigències per a obra nova.
- Tots els edificis de nova construcció han de complir l'apartat HE-0 i, per tant, tots els edificis nous que es construeixen, segons el CTE 2019, són edificis de consum d'energia gairebé zero, tal com indicava la Directiva europea 2010/31/UE.
- Els edificis existents només es poden considerar edificis de consum d'energia gairebé zero si compleixen amb els límits de consum energètic per a nova construcció. En el cas dels habitatges, a l'apartat HE-0 del document bàsic s'estableixen uns límits de consum d'energia primària més estrictes per als edificis de nova construcció que per als edificis existents, amb la qual cosa es reflecteix la complexitat de la rehabilitació. En edificis terciaris, els límits que cal complir són els mateixos per als edificis nous o rehabilitats.
- Per tant, els edificis de consum d'energia gairebé zero són comparables entre ells independentment de si són nous o rehabilitats.

1.4.1. Secció HE-0, Limitació del consum energètic

L'àmbit d'aplicació de la secció HE-0, Limitació del consum energètic, és el següent:

1. Edificis de nova construcció.
2. Intervencions en edificis existents, en els casos següents:
 - ampliacions en les quals s'incrementi més d'un 10% la superfície o el volum construït de la unitat o unitats d'ús sobre les quals s'intervé, quan la superfície útil total ampliada superi els 50 m²;
 - canvis d'ús, quan la superfície útil total superi els 50 m²;
 - reformes en què es renovin de manera conjunta les instal·lacions de generació tèrmica i més del 25% de la superfície total de l'envolupant tèrmica final de l'edifici.

Estan exclosos de l'àmbit d'aplicació:

- Els edificis protegits oficialment per ser part d'un entorn declarat o per raó del seu particular valor arquitectònic o històric, si el compliment de determinades exigències bàsiques d'eficiència energètica pot alterar de manera inacceptable el seu caràcter o aspecte.
- Construccions provisionals d'utilització inferior a dos anys.
- Edificis industrials, de la defensa i agrícoles no residencials, o parts d'aquests, de baixa demanda energètica (no requereixen unes condicions tèrmiques de confort).
- Edificis aïllats de superfície útil inferior a 50 m².

Recordant la definició d'aquesta mateixa publicació, l'**energia primària** és l'energia continguda a les fonts energètiques tenint en compte el procés de transformació,

l'emmagatzematge i les pèrdues degudes al transport des del punt de producció fins al punt de consum.

La limitació de consum energètic s'estableix mitjançant dos conceptes:

- **Consum d'energia primària no renovable.** Aquest indicador ja existia al Codi tècnic de l'edificació de 2013.
- **Consum d'energia primària total.** Aquest nou indicador limita tant l'energia primària renovable com la no renovable, i, per tant, evita que un edifici poc eficient energèticament pugui complir la normativa consumint tota l'energia renovable. Així, per poder complir aquest paràmetre, els edificis han de tenir una demanda energètica molt reduïda.

Els límits que cal complir difereixen en funció de si l'ús de l'edifici és habitatge (residencial privat) o bé si és terciari (ús diferent a residencial privat).

Edificis d'ús residencial privat

Els habitatges d'obra nova i les ampliacions han de complir amb uns valors més estrictes que els existents. Tanmateix, el límit augmenta en funció de la severitat climàtica d'hivern (la zona climàtica B correspon a Tarragona i la zona climàtica E, a la Vall d'Aran, per exemple).

- **Energia primària no renovable:**

Taula 1.3. Valor límit de consum d'energia primària no renovable per a ús residencial privat (taula 3.1.a del CTE 2019 DB-HE0).

Valor límit $C_{ep, nren, lim}$ [kW-h/m ² /any] per a ús residencial privat						
	Zona climàtica d'hivern					
		A	B	C	D	E
Edificis nous i ampliacions	20	25	28	32	38	43
Canvis d'ús a residencial privat i reformes	40	50	55	65	70	80

En territori extrapeninsular (illes Balears, Canàries, Ceuta i Melilla), s'han de multiplicar els valors de la taula per 1,25.

- **Energia primària total:** en els habitatges d'obra nova, el límit és del doble respecte de l'energia primària no renovable (per exemple, zona C: 32 kW-h/m²/any d'energia primària no renovable; 64 kW-h/m²/any d'energia primària total). En canvi, la diferència no és tan gran en el cas dels canvis d'ús i les rehabilitacions, tenint en compte la dificultat d'instal·lar-hi energies renovables.

Taula 1.4. Valor límit de consum d'energia primària total per a ús residencial privat (taula 3.2.a del CTE 2019 DB-HE0).

Valor límit $C_{ep, tot, lim}$ [kW-h/m ² /any] per a ús residencial privat						
	Zona climàtica d'hivern					
		A	B	C	D	E
Edificis nous i ampliacions	40	50	56	64	76	86
Canvis d'ús a residencial privat i reformes	55	75	80	90	105	115

En territori extrapeninsular (illes Balears, Canàries, Ceuta i Melilla), s'han de multiplicar els valors de la taula per 1,15.

Edificis d'ús no residencial

En el cas dels edificis d'ús no residencial, els límits són en funció de les seves càrregues internes, i no es fa diferència entre edificis nous i existents. Alhora, el límit disminueix a mesura que augmenta la severitat climàtica, perquè en aquest valor s'incorporen també les elevades càrregues de refrigeració que solen tenir els edificis terciaris.

- **Energia primària no renovable:**

Valor límit $C_{ep, nren, lim}$ [kW-h/m ² /any] per a ús diferent del residencial privat					
Zona climàtica d'hivern					
	A	B	C	D	E
$70 + 8 \cdot C_{Fi}$	$55 + 8 \cdot C_{Fi}$	$50 + 8 \cdot C_{Fi}$	$35 + 8 \cdot C_{Fi}$	$20 + 8 \cdot C_{Fi}$	$10 + 8 \cdot C_{Fi}$

C_{Fi} : càrrega interna mitjana [W/m²]
 En territori extrapeninsular (illes Balears, Canàries, Ceuta i Melilla), s'han de multiplicar els valors de la taula per 1,15.
 Cal tenir-se en compte (vegeu les definicions del Codi tècnic de l'edificació) que la càrrega interna es calcula com el valor mitjà de la càrrega interna durant una setmana tipus i no com a mitjana durant el temps d'ocupació o com la càrrega durant el temps d'ocupació.

Taula 1.5. Valor límit de consum d'energia primària no renovable per a ús no residencial (taula 3.1.b del CTE 2019 DB-HE0).

- **Energia primària total:** si ens fixem en el paràmetre fix, el límit per a energia primària no renovable és molt reduït en comparació amb el límit d'energia primària total; per tant, si l'energia primària total està a prop del límit, la proporció d'energies renovables haurà de ser elevada.

Valor límit $C_{ep, nren, lim}$ [kW-h/m ² /any] per a ús diferent del residencial privat					
Zona climàtica d'hivern					
	A	B	C	D	E
$165 + 9 \cdot C_{Fi}$	$155 + 9 \cdot C_{Fi}$	$150 + 9 \cdot C_{Fi}$	$140 + 9 \cdot C_{Fi}$	$130 + 9 \cdot C_{Fi}$	$120 + 9 \cdot C_{Fi}$

C_{Fi} : càrrega interna mitjana [W/m²]
 En territori extrapeninsular (illes Balears, Canàries, Ceuta i Melilla), s'han de multiplicar els valors de la taula per 1,40.
 Cal tenir en compte (vegeu les definicions del Codi tècnic de l'edificació) que la càrrega interna es calcula com el valor mitjà de la càrrega interna durant una setmana tipus i no com a mitjana durant el temps d'ocupació o com la càrrega durant el temps d'ocupació.

Taula 1.6. Valor límit de consum d'energia primària total per a ús no residencial (taula 3.2.b del CTE 2019 DB-HE0).

Les seccions del document bàsic d'estalvi d'energia són obligatòries en funció dels seus àmbits d'aplicació:

- **Secció HE-0, Limitació del consum energètic.** Aquesta secció relaciona i sintetitza els requeriments de les seccions següents. Per poder complir la secció HE-0, és imprescindible aplicar correctament la resta.
- **Secció HE-1, Condicions per al control de la demanda energètica.**
- **Secció HE-2, Condicions de les instal·lacions tèrmiques.**
- **Secció HE-3, Condicions de les instal·lacions d'enllumenat.**
- **Secció HE-4, Contribució mínima d'energia renovable per cobrir la demanda d'aigua calenta sanitària.**
- **Secció HE-5, Generació mínima d'energia elèctrica.**

1.4.2. Secció HE-1, Condicions per al control de la demanda energètica

L'àmbit d'aplicació és molt ampli: nova construcció i intervencions en edificis existents (ampliacions, canvis d'ús i reformes). Estan exclosos els mateixos edificis que a la secció HE-0, abans comentada.

Per controlar la demanda energètica, els edificis han de disposar d'una envoltant tèrmica de tals característiques que limiti les necessitats d'energia primària per aconseguir el benestar tèrmic, en funció del règim d'estiu i d'hivern, de l'ús de l'edifici i, en el cas d'edificis existents, de l'abast de la intervenció.

Aquesta secció té en compte aquests factors:¹

- Conducció: transmitància tèrmica límit i global.
- Radiació: control solar.
- Convecció: permeabilitat de l'edifici.

TRANSMITÀNCIA DE L'ENVOLUPANT TÈRMICA

La **transmitància tèrmica**² és el flux de calor, en règim estacionari, per a una àrea i diferència de temperatures unitàries dels mitjans situats a cada costat de l'element que es considera.

Els elements constructius han de complir una transmitància límit per evitar que un element tingui una transmitància molt pitjor a la resta.

Taula 1.7. Valor límit de consum de transmitància tèrmica (taula 3.1.1.a del CTE 2019 DB-HE1).

Valors límit de transmitància tèrmica, U_{lim} [W/m ² ·K]						
Element	Zona climàtica d'hivern					
	A	B	C	D	E	
Murs i terres en contacte amb l'aire exterior (U_s, U_{s1})	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cobertes en contacte amb l'aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Murs, terres i cobertes en contacte amb espais no habitables o amb el terreny (U_t) Parets mitgeres o particions interiors pertanyents a l'envolupant tèrmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Obertures (conjunt de marc, vidre i, si escau, calaix de persiana (U_{H1}))	3,20	2,70	2,30	2,10	1,80	1,80
Portes amb superfície semitransparent igual o inferior al 50%	5,7					

Segons indica el CTE 2019 DB-HE-1:

En el cas de reformes, el valor límit (U_{lim}) de la taula 3.1.1.a-HE-1 és aplicable únicament a aquells elements de l'envolupant tèrmica:

- que se substitueixin, incorporin o modifiquin substancialment;
- que vegin modificades les seves condicions interiors o exteriors com a resultat de la intervenció, quan aquestes suposin un increment de les necessitats energètiques de l'edifici.

Així mateix, en reformes es poden superar els valors de la taula 3.1.1.a-HE-1 quan el coeficient global de transmissió de calor (K) obtingut considerant la transmitància tèrmica final dels elements afectats no superi l'obtingut aplicant els valors de la taula.

Taula 1.8. Valors recomanats de transmitància tèrmica (taula a de l'annex E del CTE 2019 DB-HE).

Transmitància tèrmica de l'element U [W/m ² ·K]						
Element	Zona climàtica d'hivern					
	A	B	C	D	E	
Murs i terres en contacte amb l'aire exterior, U_{M1}, U_s	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
Cobertes en contacte amb l'aire exterior, U_c	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
Elements en contacte amb espais no habitables o amb el terreny, U_T	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Obertures (conjunt de marc, vidre i, si escau, calaix de persiana), U_{H1}	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5

1. *Guía de aplicación del DB-HE 2019*, <<https://www.codigotecnico.org/Guias/GuiaHE2019.html>>.
2. Codi tècnic de l'edificació, document bàsic d'estalvi d'energia.

Cal tenir en compte que, aplicant la transmitància límit, no s'aconsegueix complir amb la resta de requisits. És recomanable consultar els valors recomanats de transmitància tèrmica de l'annex E del CTE 2019 DB-HE.

El **coeficient global de transmissió de calor** (a través de l'envolupant tèrmica de l'edifici) és el valor mitjà del coeficient de transmissió de calor per a la superfície d'intercanvi tèrmic de l'envolupant (A_{int}). Cal complir els valors límit d'aquest coeficient en els àmbits següents:

- Obra nova.
- Ampliacions.
- Canvis d'ús.
- Reformes en què es renovi més del 25% de la superfície total de l'envolupant tèrmica final de l'edifici.

Les taules que cal aplicar en edificis residencials privats i no residencials, així com la fórmula per calcular el coeficient, es poden consultar a www.codigotecnico.org.

En aquest valor mitjà es considera:

- La transmitància i la superfície dels elements massissos.
- La transmitància i la superfície de les obertures.
- La transmitància i les longituds dels ponts tèrmics.

S'inclouen aquells elements en contacte amb el terreny i amb l'ambient exterior, i s'exclouen aquells en contacte amb altres edificis o altres espais adjacents.

Ahora, per evitar descompensacions, està limitada la transmitància tèrmica de les particions interiors que separen espais habitables respecte d'espais no habitables o d'altres usos.

Transmitància tèrmica límit de particions interiors U_{lim} [W/m ² ·K]							
Tipus d'element		Zona climàtica d'hivern					
		A	B	C	D	E	
Entre unitats del mateix ús	Particions horitzontals	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
Entre unitats de diferent ús Entre unitats d'ús i zones comunes	Particions verticals	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00
	Particions horitzontals i verticals	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Taula 1.9.
Transmitància tèrmica límit de particions interiors (taula 3.2 del CTE 2019 DB-HE1).

Les unitats d'ús són un edifici o part d'aquest destinades a un ús específic, en les quals les persones usuàries estan vinculades entre si, bé per pertànyer a una mateixa unitat familiar, empresa, corporació, o bé per formar part d'un grup o col·lectiu que fa la mateixa activitat. Per exemple, en edificis d'habitatge, cadascun dels habitatges; o en edificis d'altres usos, cadascun dels establiments o locals comercials independents.

Per tant, la separació entre dos habitatges ha de complir amb les transmitàncies indicades a la fila «Entre unitats del mateix ús» de la taula anterior.

En canvi, la separació entre un habitatge i un local comercial, o entre un habitatge i les zones comunes, ha de complir els valors indicats a la fila «Entre unitats de diferent ús; Entre unitats d'ús i zones comunes».

CONTROL SOLAR

El **control solar** de l'envolupant tèrmica és la relació entre els guanys solars per al mes de juliol ($Q_{sol,jul}$) dels buits pertanyents a l'envolupant tèrmica amb les seves

proteccions solars mòbils activades, i la superfície útil dels espais inclosos dins de l'envolupant tèrmica (A_{util}).

Per tant, en la fórmula es relaciona la quantitat de radiació que entra per les obertures el mes de juliol ($H_{sol;jul}$), la superfície de l'obertura ($A_{w;p}$) descomptant el marc ($1-F_F$), i l'ombra que produeixen les proteccions solars fixes com ara ràfecs o altres edificis ($F_{sh;obst}$) i les proteccions solars mòbils ($g_{gl;sh;wi}$). El resultat es divideix per la superfície útil de l'edifici.

Figura 1.2. Fórmula per calcular el control solar de l'envolupant tèrmica.

$$q_{sol;jul} = Q_{sol;jul} / A_{util} = (\sum_k F_{sh;obst} \cdot g_{gl;sh;wi} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w;p} \cdot H_{sol;jul}) / A_{util}$$

Superfície dins l'envolupant

$F_{sh;obst}$: factor reductor per ombres per obstacles externs el mes de juliol. El factor d'ombra del buit (FS) del factor solar modificat de buits en el DA DB-HE-1;

$g_{gl;sh;wi}$: transmitància total d'energia solar envidrament amb ombra mòbil activat, juliol;

F_F : fracció de marc del buit k (de forma simplificada pot adoptar-se el valor de 0,25);

$A_{w;p}$: superfície (m^2) del buit k;

$H_{sol;jul}$: irradiació solar mitjana acumulada del mes de juliol ($kWh/m^2/mes$);

A_{util} : superfície útil dels espais inclosos dins de l'envolupant tèrmica.

Aquests valors es poden consultar al document de suport DA DB-HE-1, «Càlcul de paràmetres característics de l'envolupant», <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>.

En edificis nous i ampliacions, canvis d'ús o reformes en què es renovi més del 25% de la superfície total de l'envolupant tèrmica final de l'edifici, el paràmetre de control solar ($q_{sol;jul}$) no ha de superar el valor límit de la taula 3.1.2-HE-1.

Taula 1.10. Valor límit del paràmetre de control solar (taula 3.1.2 del CTE 2019 DB-HE1).

Valor límit del paràmetre de control solar, $q_{sol;jul;lim}$ [$kWh/m^2/mes$]	
Ús	$q_{sol;jul}$
Residencial privat	2,00
Altres usos	4,00

Cal comptar amb proteccions solars i potser limitar la superfície de les obertures per poder complir amb aquest paràmetre.

PERMEABILITAT A L'AIRE

Cal que es compleixen dos paràmetres:

- Permeabilitat a l'aire (Q_{100}) en els buits, amb un valor límit de $27 m^3/h/m^2$ en les zones climàtiques α , A i B, i de $9 m^3/h/m^2$ en les zones climàtiques C, D i E.
- Relació del canvi d'aire amb una pressió de 50 Pa: s'ha de complir en edificis nous d'ús residencial privat amb una superfície útil total superior a $120 m^2$.

Valor límit de la relació de canvi d'aire amb una pressió de 50 Pa, n_{50} [h ⁻¹]	
Compacitat V/A [m ³ /m ²]	n_{50}
V/A ≤ 2	6
V/A > 4	3
Els valors límit de les compacitats intermèdies (2 < V/A < 4) s'obtenen per interpolació.	

Taula 1.11. Valor límit de la relació de canvi d'aire amb una pressió de 50 Pa (n_{50}), en renovacions per hora (taula 3.1.3.b del CTE 2019 DB-HE 1).

El límit es pot verificar mitjançant una de les opcions següents:

- Opció simplificada: relació entre la superfície de tancaments massissos i el seu coeficient de cabal d'aire segons la taula següent, la superfície de les obertures i la seva permeabilitat, entre el volum interior de l'envolupant tèrmica. Cal destacar que les superfícies a considerar són les que estan en contacte amb l'exterior (no en contacte amb el terra o altres edificis). Podeu consultar la fórmula que cal aplicar al web www.codigotecnico.org.
- Determinació mitjançant assaig. El valor de la relació de canvi d'aire a 50 Pa, n_{50} , es pot obtenir mitjançant assaig realitzat segons el mètode B de la norma UNE-EN 13829: 2002, Determinació de l'estanquitat a l'aire en edificis. Mètode de pressurització per mitjà de ventilador.

Transmitàncies U (W/m ² K)	CTE 2006	CTE 2017 ¹	CTE 2017 ²	CTE 2019 ³	CTE 2019 ⁴	Límit possible tècnicament ⁵
Murs de façana i tancaments en contacte amb el terreny	0,95	0,75	0,29	0,49	0,29	0,1
Cobertes	0,59	0,5	0,23	0,40	0,23	0,1
Tancaments en contacte amb el terreny	0,65	0,5	0,36	0,70	0,48	0,15
Obertures (conjunt fulla + marc)	4,4 – 3,5 (segons orientació i percentatge de buit)	3,1	1,6 – 2,05	2,1	2,0	0,8

Taula 1.12. Taula comparativa de l'evolució de les transmitàncies tèrmiques límit segons la normativa i els valors límit possibles tècnicament.

1. Taula 2.3 del CTE DB-HE-1 2013, actualitzat el 2017, valors límit per a la zona C2.
2. CTE 2013, actualitzat el 2017, annex E, Valors orientatius dels paràmetres característics de l'envolupant tèrmica per a usos residencials.
3. CTE 2019, valors límit de transmitància tèrmica, U_{lim} [W/m²K] per a la zona climàtica C.
4. CTE 2019, annex E, Valors orientatius dels paràmetres característics de l'envolupant tèrmica per a usos residencials.
5. Transmitàncies per a edificis de càrregues internes mitjanes.

1.4.3. Secció HE-2, Condicions de les instal·lacions tèrmiques

Aquesta exigència es desenvolupa al Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis (RITE), que es va actualitzar amb el Reial decret 178/2021.

Aquesta normativa estableix que les instal·lacions tèrmiques s'han de dissenyar, calcular, executar, mantenir i utilitzar de manera que es compleixin les exigències tècniques de benestar i higiene, eficiència energètica i energies renovables i residuals i seguretat que estableix aquest reglament.

Es consideren instal·lacions tèrmiques les instal·lacions fixes de climatització (calefacció, refrigeració i ventilació) destinades a atendre la demanda de benestar tèrmic i higiene de les persones, o les instal·lacions destinades a la producció d'aigua calenta sanitària (ACS), incloses les interconnexions a xarxes urbanes de calefacció o refrigeració i els sistemes d'automatització i control.

El RITE s'aplica a les instal·lacions tèrmiques en els edificis de nova construcció i a les instal·lacions tèrmiques que es reformin en els edificis existents, exclusivament pel que fa a la part reformada, així com al manteniment, ús i inspecció de totes les instal·lacions tèrmiques, amb les limitacions que s'hi determinen.

En aquest sentit, es consideren reformes les que estan compreses en algun dels casos següents:

- c) La incorporació de nous subsistemes de climatització o de producció d'aigua calenta sanitària o la modificació dels existents.
- d) La substitució d'un generador de calor o fred per un altre de diferents característiques o la interconnexió amb una xarxa urbana de calefacció o refrigeració.
- e) L'ampliació del nombre d'equips generadors de calor o fred.
- f) El canvi del tipus d'energia utilitzada o la incorporació d'energies renovables.
- g) El canvi d'ús previst de l'edifici.

1.4.4. Secció HE-3, Condicions de les instal·lacions d'enllumenat

Aquesta secció és d'aplicació a les instal·lacions d'il·luminació interior en edificis de nova construcció i en intervencions en edificis existents amb un o més dels criteris següents:

- Renovació o ampliació d'una part de la instal·lació.
- Canvi d'ús característic de l'edifici.
- Canvis d'activitat en una zona de l'edifici.

L'àmbit d'aplicació i les excepcions es mantenen igual que al Codi tècnic de l'edificació del 2017. S'exclouen de l'àmbit d'aplicació els mateixos edificis que a les seccions HE-0 i HE-1, a més de l'interior dels habitatges i l'enllumenat d'emergència.

Les exigències que cal complir són les següents:

1. **Valor d'eficiència energètica de la instal·lació límit (VEEI):** valor que mesura l'eficiència energètica d'una instal·lació d'il·luminació d'un espai o local amb un determinat ús. Cal complir els valors límit que indica el CTE. Es calcula en funció de la potència de la làmpada (P), la superfície il·luminada (S) i la luminància mitjana horitzontal (E_m): $VEEI = 100 \cdot P / (S \cdot E_m)$.
2. **Potència instal·lada (Wm^2):** potència total de làmpades i equips auxiliars, limitada segons si es tracta d'un aparcament, i en la resta d'usos, si la luminància mitjana és inferior o superior a 600 luxs.
3. **Sistemes de regulació i control:** sistema d'encesa i apagat manual i sistema per horari centralitzat al quadre elèctric. En zones d'ús esporàdic, la segona opció es pot substituir per temporitzador o detector de presència.
4. **Sistema d'aprofitament de la llum natural:** sistema automàtic proporcional a la llum natural per a les lluminàries situades a menys de 5 metres d'una finestra.

1.4.5. Secció HE-4, Contribució mínima d'energia renovable per cobrir la demanda d'aigua calenta sanitària

L'àmbit d'aplicació d'aquestes seccions és diferent al de les anteriors:

- a) Nova construcció, demanda d'aigua calenta sanitària (ACS) > 100 l/d.
- b) Edificis existents, demanda d'ACS superior a 100 l/d, amb una reforma íntegra de l'edifici, o de la instal·lació de generació tèrmica, o un canvi d'ús característic.

- c) Ampliacions o intervencions en edificis existents amb una demanda inicial d'ACS > 5.000 l/dia, amb un increment > 50% de la demanda inicial (contribució renovable mínima sobre l'increment de la demanda d'ACS).
- d) Climatitzacions de piscines cobertes noves, piscines cobertes existents en què es renovi la instal·lació de generació tèrmica o piscines descobertes existents que passin a ser cobertes.

Les exigències que cal complir de contribució renovable mínima per a ACS i/o climatització de piscina són les següents:

- Cobrir com a mínim el **70% de la demanda energètica anual per a ACS** i per a climatització de piscina (valors mensuals, incloent-hi pèrdues tèrmiques per distribució, acumulació i recirculació).
- Cobrir com a mínim el **60% si la demanda d'ACS és inferior a 5.000 l/d.**

Els edificis han de satisfer les seves necessitats d'ACS i de climatització de piscina coberta emprant en gran mesura energia procedent de fonts renovables o processos de cogeneració renovables, bé generada en el mateix edifici o bé a través de la connexió a un sistema urbà de calefacció.

Són energies procedents de fonts renovables no fòssils l'energia eòlica, solar, aerotèrmica, geotèrmica, hidrotèrmica i oceànica, hidràulica, biomassa, gasos d'abocador, gasos de plantes de depuració i biogàs.

Les bombes de calor per a la producció d'ACS i/o climatització de piscina, per poder considerar la seva contribució renovable a efectes d'aquesta secció, han de disposar d'un valor de rendiment mitjà estacional ($SCOP_{dhw}$) superior a 2,5 quan siguin accionades elèctricament i superior a 1,15 quan siguin accionades mitjançant energia tèrmica. El valor de $SCOP_{dhw}$ es determina per a la temperatura de preparació de l'ACS, que no ha de ser inferior a 45 °C.

1.4.6. Secció HE-5, Generació mínima d'energia elèctrica

Aquesta secció és aplicable en els casos següents:

- a) Edificis de nova construcció quan superin els 1.000 m² construïts.
- b) Ampliacions d'edificis existents quan s'incrementi la superfície construïda a més de 1.000 m².
- c) Edificis existents que es reformin íntegrament o en què es produeixi un canvi d'ús característic, quan se superin els 1.000 m² de superfície construïda.

Es considerarà que la superfície construïda inclou la superfície de les zones destinades a aparcament a l'interior de l'edifici i exclou les zones exteriors comunes.

La potència a instal·lar mínima P_{min} serà la menor de les resultants d'aquestes dues expressions:

$$P1 = F_{pr,el} \cdot S$$

$$P2 = 0,1 \cdot (0,5 \cdot S_c - S_{oc})$$

on,

P_{min} = potència a instal·lar [kW];

$F_{pr,el}$ = factor de producció elèctrica, que pren valor de 0,005 per a ús residencial privat i 0,010 per a la resta d'usos [kW/m²];

S = superfície construïda de l'edifici [m²];
 Sc = superfície de coberta no transitable o accessible únicament per a conservació [m²];
 Soc = superfície de coberta no transitable o accessible únicament per a conservació ocupada per captadors solars tèrmics [m²].

En aquells edificis on, per raons urbanístiques o arquitectòniques o bé perquè es tracti d'edificis protegits oficialment –amb el benentès que l'autoritat que dicta la protecció oficial és qui en determina els elements inalterables–, no es pugui assolir la potència a instal·lar mínima, s'haurà de justificar aquesta impossibilitat i analitzar les diferents alternatives, i s'adoptarà la solució que assoleixi la màxima potència instal·lada possible.

Taula 1.13. Taula comparativa dels valors dels documents bàsics d'estalvi d'energia del Codi Tècnic de l'Edificació del 2006, 2013 i 2019.

	CTE 2006		CTE 2013			CTE 2019	
	Edifici habitatges	Edifici terciari	Edifici habitatges	Edifici terciari		Edifici habitatges	Edifici terciari
HE-1, Límit de demanda energètica (kWh/m ² /any)	Calefacció	No definit	20 +1000/S ¹	Estalvi del 25% demanda referència	HE-1, Condicions per al control de demanda energètica (kWh/m ² /any)	Transmitància tèrmica límit de cada element	
	Refrigeració		15			Coefficient global de transmissió de calor (K) ² per a zona C: V/A ≤ 1 → 0,53; V/A ≥ 4 → 0,72	K (zona C): V/A ≤ 1 → 0,65; V/A ≥ 4 → 0,82
HE-0, Límit de consum energètic (kWh/m ² /any)	No definit		50 + 1500/S ¹	Classe B		Energia primària no renovable (EPnR) ⁶ = 32	EPnR ⁷ = 35 + 8 · CFI
						Energia primària total (EPT) ⁶ = 64	EPT ⁷ = 140 + 9 · CFI
% renovables	Solar Tèrmica ACS ²	≥ 30%	≥ 30%	≥ 40%		70%; si demanda < 5.000 litres/dia, 60%	
	Elèctrica fotovoltaica ³	–	Segons ús edifici	–		Segons ús edifici	Superfície construïda > 1.000 m ²

1. S = superfície útil dels espais habitables de l'edifici, en m².
2. Contribució solar per a la producció d'ACS.
3. Contribució fotovoltaica mínima d'energia elèctrica per a edificis de determinats usos i de superfície construïda igual o més gran de 5.000 m² calculada amb la fórmula $P = C \cdot (0.002 \cdot S - 5)$; P (potència nominal a instal·lar); C (coeficient en funció de la zona climàtica); S (superfície construïda de l'edifici); Producció integrada d'energia elèctrica fotovoltaica.
4. Valors per a edificis nous i ampliacions. Cal consultar els límits per a canvis d'ús i per a reformes en les quals es renovi més del 25% de la superfície total de l'envolupant tèrmica final de l'edifici.
5. Edificis nous d'ús residencial privat amb una superfície útil total superior a 120 m².
6. Edificis d'ús residencial privat, zona climàtica C.
7. Edificis d'ús diferent a residencial privat, a la zona climàtica C. Límit en funció de les càrregues internes.

1.4.7. Secció HE-6, dotacions mínimes per a la infraestructura de recàrrega de vehicles elèctrics

L'àmbit proposat per a aquesta nova secció és el dels edificis que compten amb una zona d'ús d'aparcament, ja sigui interior o exterior adscrita a l'edifici, en els supòsits següents:

- a) edificis de nova construcció;
- b) edificis existents, en els casos següents:
- Intervencions en la instal·lació elèctrica de l'edifici que afectin més del 50% de la potència instal·lada a l'edifici abans de la intervenció, per als casos en què l'aparcament se situa a l'interior de l'edificació;
 - intervencions en la instal·lació elèctrica de l'aparcament que afectin més del 50% de la potència instal·lada en aquest abans de la intervenció;
 - ampliacions, en els casos en què s'inclouin intervencions en l'aparcament i s'incrementi més d'un 10% la superfície o el volum construït de la unitat o unitats d'ús sobre les quals s'intervingui, i, a més, la superfície útil total ampliada sigui superior a 50 m²;
 - canvis d'ús característic de l'edifici;
 - reformes que incloguin intervencions a l'aparcament i en què es renovi més del 25% de la superfície total de l'envolupant tèrmica final de l'edifici.

S'exclouen:

- Ús diferent de residencial privat: 10 places d'aparcament o menys;
- edificis existents terciaris fins a 20 places o residencial privat: cost d'aquest apartat > 7% del cost de la intervenció d'ampliació, canvi d'ús o reforma;
- edificis protegits oficialment si s'altera de manera inacceptable el seu caràcter o aspecte.

Els edificis han de disposar d'una infraestructura mínima per a la recàrrega de vehicles elèctrics que ha de complir amb el Reglament electrotècnic de baixa tensió (REBT) i la Instrucció tècnica complementària ITC-BT-52, Infraestructura per a la recàrrega de vehicles elèctrics.

1. En els edificis d'ús residencial privat s'han d'instal·lar sistemes de conducció de cables que permetin la instal·lació futura d'estacions de recàrrega per al 100% de les places d'aparcament.
2. Als edificis d'ús diferent al residencial privat, s'han d'instal·lar sistemes de conducció de cables que permetin la instal·lació futura d'estacions de recàrrega com a mínim per al 20% de les places d'aparcament.

A més, s'ha d'instal·lar una estació de recàrrega per cada 40 places d'aparcament i s'ha d'instal·lar sempre, com a mínim, una estació de recàrrega.

En els edificis d'ús diferent al residencial privat que siguin titularitat de l'Administració General de l'Estat o dels organismes públics vinculats o dependents d'aquesta, la dotació ha de ser més gran que l'establerta amb caràcter general: s'ha d'instal·lar una estació de recàrrega per cada 20 places d'aparcament i sempre, com a mínim, hi ha d'haver una estació de recàrrega.

1.5. La rehabilitació energètica i edificis de consum d'energia gairebé zero

El parc immobiliari està envellit i requereix una rehabilitació per millorar l'estructura, l'accessibilitat, la salubritat i també l'eficiència energètica dels edificis. Els edificis anteriors al 1980 representen gairebé el 60% del parc respecte del cens de 2011 i, si no s'hi ha realitzat una rehabilitació energètica, no disposen d'aïllament tèrmic.

Els edificis consumeixen prop del 40% de l'energia final a Europa, i per aquest motiu, des de la Directiva (UE) 2018/844, per la qual es modifica la Directiva

2010/31/UE, relativa a l'eficiència energètica dels edificis, i la Directiva 2012/27/UE, relativa a l'eficiència, s'indica:

Cada estat membre ha d'establir una **estratègia a llarg termini** per donar suport a la renovació dels seus parcs nacionals d'edificis residencials i no residencials, tant públics com privats, per transformar-los en parcs immobiliaris amb alta eficiència energètica i descarbonitzats abans de l'any 2050, i facilitar la transformació econòmicament rendible dels edificis existents en edificis de consum d'energia gairebé nul.

Estableix també que calen fulls de ruta amb mesures, indicadors de progressos mesurables i fites indicatives per als anys 2030, 2040 i 2050.

Tot i que la rehabilitació energètica dels edificis comporta avantatges socials (millora del confort tèrmic i acústic), mediambientals (reducció del consum d'energia i d'emissions de CO₂, estalvi de materials) i econòmics (estalvi energètic i revaloració de l'immoble), també hi ha barreres en aquests tres mateixos àmbits que impedeixen que estigui generalitzada. Les dificultats per arribar a acords a les comunitats de veïns, la falta de prioritat, la prevalença de l'economia lineal, l'elevat cost d'inversió i la manca de finançament són barreres que cal superar.

La mateixa Directiva europea 844/2018 insta que «d'acord amb l'avaluació d'impacte de la Comissió, per complir de manera rendible les ambicions de la Unió en matèria d'eficiència energètica, seria necessari realitzar la renovació a una taxa mitjana anual del 3%».

Malgrat que pot semblar un percentatge reduït, encara estem lluny d'assolir-lo: les renovacions profundes del parc residencial el 2013 eren del 0,8% a Espanya, l'1,82% a Àustria, l'1,75% a França o l'1,49% a Alemanya.

Segons la Directiva (UE) 2018/844, el «punt d'activació» és un «moment oportú en el cicle de vida d'un edifici, per exemple, des d'una perspectiva de rendibilitat econòmica o de pertorbació, per dur a terme renovacions vinculades a l'eficiència energètica».

En les recomanacions relatives a la renovació dels edificis (2019/786) s'especifica quins poden ser aquests punts d'activació:

- a) una transacció (per exemple, la venda, el lloguer o l'arrendament financer d'un edifici, el seu refinançament o un canvi en el seu ús);
- b) una reforma (per exemple, una reforma més àmplia no relacionada amb l'energia ja planificada: accessibilitat, seguretat o eliminació d'amiant);
- c) una catàstrofe o un incident (un incendi, un terratrèmol o una inundació).

Per exemple, el Govern neerlandès va anunciar que, a partir de 2023, els edificis han de tenir una qualificació energètica mínima de «C» per poder ser llogats com a espai d'oficines. A Anglaterra i Gal·les, als immobles residencials i no residencials de lloguer del sector privat, des d'abril de 2018, se'ls exigeix un certificat d'eficiència energètica amb una qualificació mínima d'«E».

El mateix document de recomanacions insta a disposar de dades del parc immobiliar, que poden procedir dels registres de certificats energètics de cada estat membre, que permetin fer seguiment de les fites assolides. La formació del personal expert és fonamental per garantir l'aplicació de la Directiva d'eficiència energètica (EPBD) i per a la realització de certificats energètics de qualitat.

D'altra banda, el disseny dels edificis i de les seves reformes ha de preveure la possibilitat de separació dels productes o materials per fomentar-ne la circularitat,

amb la qual cosa es facilita la reutilització o el reciclatge dels materials. Aquesta possibilitat depèn dels tipus de materials i de com estan units. La reutilització i el reciclatge permeten estalviar en consum energètic i de matèries primeres. La recomanació (UE) 2019/1019, relativa a la modernització dels edificis, complementa la Directiva 844/2018, d'eficiència energètica, en relació amb les instal·lacions tèrmiques, els sistemes d'automatització i control i la recàrrega del vehicle elèctric.

La renovació dels edificis és una acció essencial dins del Pacte Verd Europeu (consulteu l'apartat 7.6 d'aquesta publicació).

El 2020 la Comissió Europea va publicar una nova estratègia per impulsar la renovació dels edificis (Renovation Wave):³ «Una onada de renovació per a Europa: fer més ecològics els nostres edificis, crear llocs de treball i millorar la vida.»

L'any 2020, el 75% dels edificis de la UE no són eficients energèticament, tot i que el 85-95% dels edificis actuals encara s'utilitzaran el 2050. Només l'1% dels edificis es rehabiliten energèticament cada any. L'estratègia «Onada de renovació» té com a objectiu duplicar aquesta taxa de renovació en els pròxims anys.

Els principis clau⁴ per a la renovació dels edificis són els següents:

- Primer, l'eficiència energètica.
- Assequibilitat: edificis eficients i sostenibles a l'abast de tothom.
- Descarbonització i integració d'energies renovables.
- Anàlisi del cicle de vida i de la circularitat.
- Estàndards elevats en sanitat i medi ambient: qualitat de l'aire, gestió de l'aigua, protecció davant de l'amiant i el radó...
- Transició ecològica i digital.
- Respecte per l'estètica i la qualitat arquitectònica.

Es preveu que aquestes mesures reverteixin en un impuls important, decidit i durador de la rehabilitació energètica dels edificis, que redueixi les emissions, millori la qualitat de vida de les persones i creï llocs de treball en el sector de la construcció. Aquesta renovació ha de permetre també fer front a la pobresa energètica.

3. https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en.

4. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0638aa1d-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1.0022.02/DOC_1&format=PDF.



2. Punt de partida per a un edifici nou

En el cas dels edificis de nova construcció i de consum d'energia gairebé zero, cal ressaltar que la gran majoria de projectes neixen d'una nova col·laboració o relació entre els diferents actors que participen en el disseny, construcció i posada en funcionament d'aquests edificis.

Podem definir aquesta nova manera de relacionar-se com un treball col·laboratiu en què la sinergia entre els diferents actors (propietats, promotores, arquitectes, constructors, fabricants d'equips, persones usuàries finals...) permet assolir uns objectius millors, que possiblement no s'haurien assolit amb el sistema de treball convencional habitual en les dècades passades. Normalment, el duen a terme individus amb diversitat de coneixements i sovint també d'implicació. És una manera d'organitzar-se que designa la suma d'esforços d'un grup per assolir un objectiu comú. Per aquest motiu, té l'avantatge d'associar les diverses capacitats de creació dels seus actors i així, potencialment, aprofitar al màxim els recursos disponibles d'un grup.

Aquesta nova manera de treballar, basada en una dinàmica de treball adequada i fonamentada en el coneixement, la comunicació i la confiança entre tots els actors, també permet optimitzar els recursos i millorar la relació cost-qualitat dels projectes.

En el procés de disseny d'una nova edificació, pel que fa a la variable de l'energia, els aspectes principals que cal analitzar són els següents:

- Situació geogràfica i condicions climàtiques.
- Entorn proper.
- Disponibilitat de recursos.
- Requeriments d'ús en funció del programa.

Aquests factors són determinants en el comportament energètic dels edificis, a la vegada que poden condicionar decisions tècniques que s'han de prendre en les fases següents de disseny i de construcció d'un edifici.

2.1. Situació geogràfica i condicions climàtiques

La delimitació geogràfica de Catalunya està establerta per les coordenades següents.

- **NORD:** Vielha e Mijaran (Lleida), latitud 42,708960 N; longitud 0,783544.
- **SUD:** Alcanar (Tarragona), latitud 40,536628 N; longitud 0,495895.
- **EST:** Cap de Creus, el Port de la Selva (Girona), latitud 42,318843; longitud 3,312366.
- **OEST:** La Sénia (Tarragona), latitud 40,737641 N, longitud 0,182123.

Aquesta configuració determina una condició respecte al recorregut solar força uniforme.

Per altra banda, el clima mediterrani (temperat, càlid i humit, amb estius secs) és un dels més complexos, ja que presenta paràmetres molt variables. A més, la situació geogràfica i la diversitat orogràfica de Catalunya generen tres variants clàssiques del clima mediterrani: continental, marítim i de muntanya. Aquests subtipus són definits, a grans trets, per la temperatura de l'aire, la radiació solar, la humitat relativa, la pluviometria i la direcció i intensitat dels vents, però també per l'altitud o la continentalitat.

A Catalunya, segons el Codi tècnic de l'edificació (CTE 2017 i CTE 2019), es localitzen set zones climàtiques diferents:

B3	C2	C3	D1	D2	D3	E1
3,16%	25,26%	13,58%	8,53%	15,26%	18,74%	15,47%

Taula 2.1. Percentatge de municipis a cada zona climàtica de Catalunya.

La zona climàtica de cada població de Catalunya es pot consultar al document reconegut CTE-DR/004/15, «Zones climàtiques dels municipis de Catalunya, classificats per demarcacions territorials i en ordre alfabètic, segons la seva altitud», i DB-HE-1 de 2013 (www.codigotecnico.org).

Aquestes zones climàtiques es defineixen segons la severitat climàtica, d'estiu i d'hivern. Cal dir que, per al càlcul de la severitat climàtica, es tenen en compte els graus-dia i la radiació global acumulada. No obstant això, aquesta classificació no inclou paràmetres també importants per a la determinació del confort com són la velocitat del vent i la humitat relativa.

A continuació es descriuen els trets climàtics generals de les ciutats de referència per a les quals s'han dut a terme simulacions energètiques: B3, C2, D1, D2, D3 i E1 (dades extretes d'<http://es.climate-data.org/>).

Tarragona (B3)

Segons la classificació Köppen i Geiger* és un clima Csa. La temperatura mitjana anual és de 16,1 °C. La precipitació és de 560 mm l'any. El mes més sec és el juliol, amb 17 mm. El mes amb més precipitacions és l'octubre, amb 75 mm. El mes més calorós de l'any, amb una mitjana de 23,6 °C, és l'agost. El mes més fred de l'any és el gener, amb 9,2 °C de mitjana. La diferència en la precipitació entre el mes més sec i el mes més plujós és de 58 mm. Les temperatures mitjanes varien durant l'any en 14,4 °C.

Barcelona (C2)

Segons la classificació Köppen i Geiger* és un clima Csa. La temperatura mitjana anual és de 16,5 °C. La precipitació és de 512 mm l'any. El mes més sec és el juliol, amb 25 mm. El mes amb més precipitacions és l'octubre, amb 93 mm. El mes més calorós de l'any, amb una mitjana de 24,1 °C, és l'agost. El mes més fred de l'any és el gener, amb 9,8 °C de mitjana. La diferència en la precipitació entre el mes més sec i el mes més plujós és de 68 mm. Les temperatures mitjanes varien durant l'any en 14,3 °C.

Vic (D1)

Segons la classificació Köppen i Geiger* és un clima Cfb. La temperatura mitjana anual és de 13,4 °C. La precipitació és de 761 mm l'any. El mes més sec és el gener, amb 37 mm. El mes amb més precipitacions és el maig, amb 87 mm. El mes més calorós de l'any, amb una mitjana de 21,8 °C, és el juliol. El mes més fred de l'any és el gener, amb 6,2 °C de mitjana. La diferència en la precipitació entre el mes més sec i el mes més plujós és de 50 mm. Les temperatures mitjanes varien durant l'any en 15,6 °C.

Girona (D2)

Segons la classificació Köppen i Geiger* és un clima Csa. La temperatura mitjana anual és de 14,5 °C. La precipitació és de 729 mm l'any. El mes més sec és el juliol, amb 32 mm. El mes amb més precipitacions és l'octubre, amb 107 mm. El mes més calorós de l'any, amb una mitjana de 23,5 °C, és el juliol. El mes més fred de l'any és el gener, amb 7,9 °C de mitjana. La diferència en la precipitació entre el mes més sec i el mes més plujós és de 75 mm. Les temperatures mitjanes varien durant l'any en 15,6 °C.

Lleida (D3)

Segons la classificació Köppen i Geiger* és un clima BSk. La temperatura mitjana anual és de 15,2 °C. La precipitació és de 423 mm l'any. El mes més sec és el juliol, amb 19 mm. El mes amb més precipitacions és l'octubre, amb 53 mm. El mes més calorós de l'any, amb una mitjana de 24,9 °C, és l'agost. El mes més fred de l'any és el gener, amb 5,7 °C de mitjana. La diferència en la precipitació entre el mes més sec i el mes més plujós és de 34 mm. Les temperatures mitjanes varien durant l'any en 19,2 °C.

Ripoll (E1)

Segons la classificació Köppen i Geiger* és un clima Cfb. La temperatura mitjana anual és de 12,1 °C. La precipitació és de 805 mm l'any. El mes més sec és el juliol, amb 39 mm. El mes amb més precipitacions és l'octubre, amb 94 mm. El mes més calorós de l'any, amb una mitjana de 20,5 °C, és l'agost. El mes més fred de l'any és el gener, amb 4,8 °C de mitjana. La diferència en la precipitació entre el mes més sec i el mes més plujós és de 55 mm. Les temperatures mitjanes varien durant l'any en 15,7 °C.

***Classificació climàtica Köppen i Geiger**

Csa: C (temperat); s (estius secs); a (estius calorosos).

Cfa: C (temperat); f (humit); a (estius calorosos).

Cfb: C (temperat); f (humit); b (estius temperats).

BSk: B (àrid); s (estepari); k (fred i àrid).

Partint de les condicions climàtiques de cada zona i segons la definició de diverses variables de confort, es pot definir el percentatge d'hores anuals de confort climàtic a l'exterior.

La diversitat climàtica de Catalunya també es pot observar en les diferents morfologies de les construccions tradicionals que, en moltes ocasions, optimitzen les seves geometries i solucions constructives per tal de disminuir la demanda energètica dels edificis.

Per tant, un clima càlid no extrem propicia una arquitectura amb una envolupant de gruix considerable, on es generen espais d'ombra i espais assolellats i on es propicia la ventilació amb espais entremitjos (porxos) en què s'aprofita el confort del clima exterior el màxim temps possible durant l'any.

Aquests espais potencien també la vegetació i els elements d'aigua com a estratègies per aconseguir una refrigeració per evaporació. Finalment, incorporen sistemes que afavoreixen la recollida de l'aigua de pluja i el seu posterior ús.

Zona	Percentatge d'hores anuals
B3 Tarragona	20,40% Condicions exteriors de confort 15,30% Condicions exteriors amb necessitat de refrigeració i/o deshumidificació 64,30% Condicions exteriors amb necessitat de calefacció
Zona	Percentatge d'hores anuals
C2 Barcelona	13,60% Condicions exteriors de confort 13,20% Condicions exteriors amb necessitat de refrigeració i/o deshumidificació 73,30% Condicions exteriors amb necessitat de calefacció
Zona	Percentatge d'hores anuals
D1 Vic	12,00% Condicions exteriors de confort 2,20% Condicions exteriors amb necessitat de refrigeració 85,80% Condicions exteriors amb necessitat de calefacció
Zona	Percentatge d'hores anuals
D2 Girona	16,40% Condicions exteriors de confort 4,50% Condicions exteriors amb necessitat de refrigeració 78,90% Condicions exteriors amb necessitat de calefacció
Zona	Percentatge d'hores anuals
D3 Lleida	18,70% Condicions exteriors de confort 8,00% Condicions exteriors amb necessitat de refrigeració 73,40% Condicions exteriors amb necessitat de calefacció
Zona	Percentatge d'hores anuals
E1 Ripoll	8,90% Condicions exteriors de confort 1,10% Condicions exteriors amb necessitat de refrigeració 90,00% Condicions exteriors amb necessitat de calefacció

Taula 2.2. Percentatge d'hores anuals en condicions exteriors de confort, amb necessitat de calefacció o amb necessitat de refrigeració, en les zones climàtiques on s'han situat els edificis simulats. Font: Climate Consultant, <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>, segons ASHRAE Standard 55.

Per a condicions de confort establertes a partir dels paràmetres de:

- 1 Roba d'hivern (usada a l'interior de l'edifici) (1.0 Roba = pantalons llargs, suèter)
- 0,5 Roba d'estiu (usada a l'interior de l'edifici) (0,5 Roba = pantalons curts, samarreta)
- 1,1 Nivell d'activitat durant el dia (1.1 Met = assegut, llegint)
- 90 Predicció en percentatge de persones satisfetes: 100 - Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)
- 20,3 Temperatura de confort més baixa a l'hivern calculada per model: Predicted Mean Vote (PMV)
- 24,3 Temperatura de confort més alta a l'hivern calculada per model PMV
- 26,7 Temperatura de confort més alta a l'estiu calculada per model PMV
- 84,6 Humitat màxima calculada pel model PMV (%)

Per altra banda, un clima fred propicia la compacitat, les obertures que permeten guany solar a l'hivern i la protecció enfront del vent. Aquestes construccions incorporen sistemes de calefacció tradicionals com ara llars de foc. Finalment, utilitzen sistemes que gestionen i evacuen l'aigua de pluja i, per tant, impedeixen patologies derivades de l'excés d'humitat sobre l'edificació.

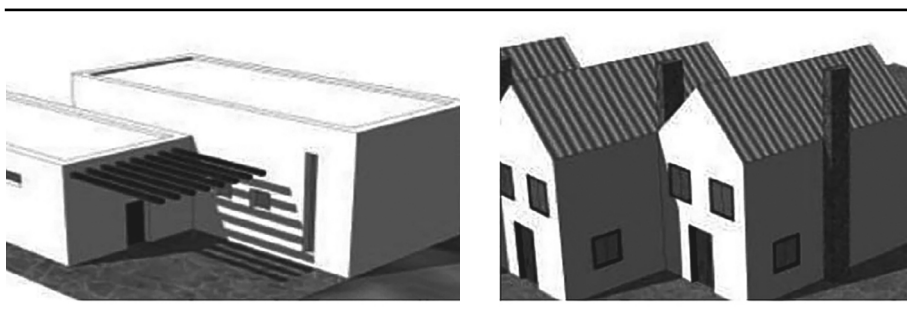


Figura 2.1. Dibuix esquemàtic d'una possible construcció tradicional residencial de clima càlid. Per exemple, a Tarragona, amb zona climàtica B3.

Dibuix esquemàtic d'una possible construcció tradicional residencial de clima fred. Per exemple, a Ripoll, amb zona climàtica E1.

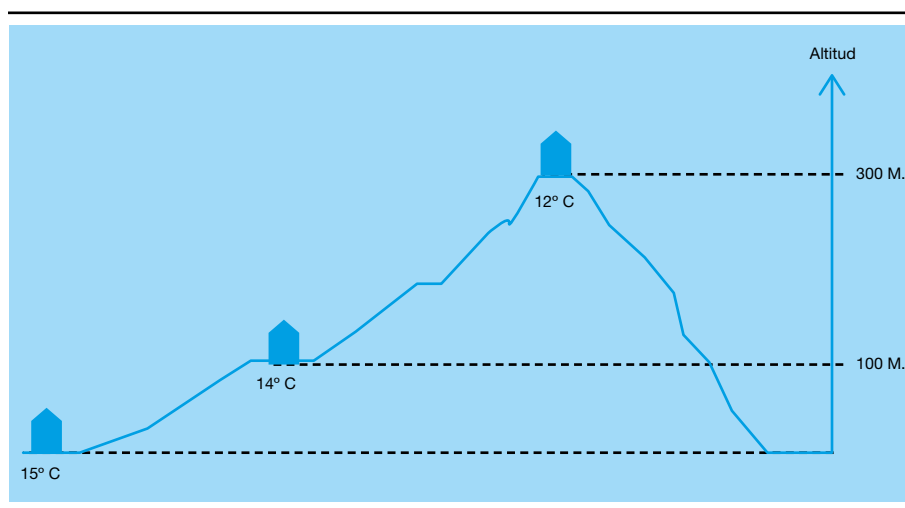
2.2. Entorn proper

Més enllà de les condicions climàtiques de cada zona, l'emplaçament exacte on es disposa cada edifici pot condicionar una sèrie de variables microclimàtiques. Aquestes característiques difícilment es troben recollides en taules o documents normatius. Per tant, l'anàlisi del lloc és necessària per tenir-les en compte a l'hora de projectar l'edifici.

Altitud

La temperatura atmosfèrica disminueix entre 0,5 °C i 1 °C cada 100 m. Aquest fet es recull a la normativa actual i canvia en molts casos els climes de referència.

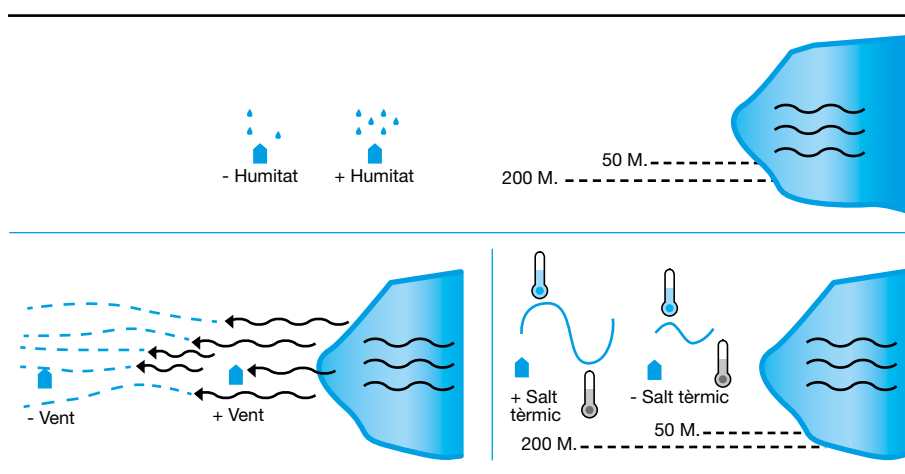
Gràfic 2.1. Relació entre l'altitud i la temperatura exterior.
Font: ICAEN.



Presència propera d'una massa d'aigua

El mar i els llacs actuen de regulador tèrmic, eleven el nivell d'humitat i creen règims especials de vents anomenats *brises marines* i *brises terrestres*.

Figura 2.2. Les masses d'aigua com a reguladors tèrmics.
Font: ICAEN.



Orografia

Els llocs més elevats són més ventilats, reben més radiació solar i tenen menys humitat que les valls i les depressions.

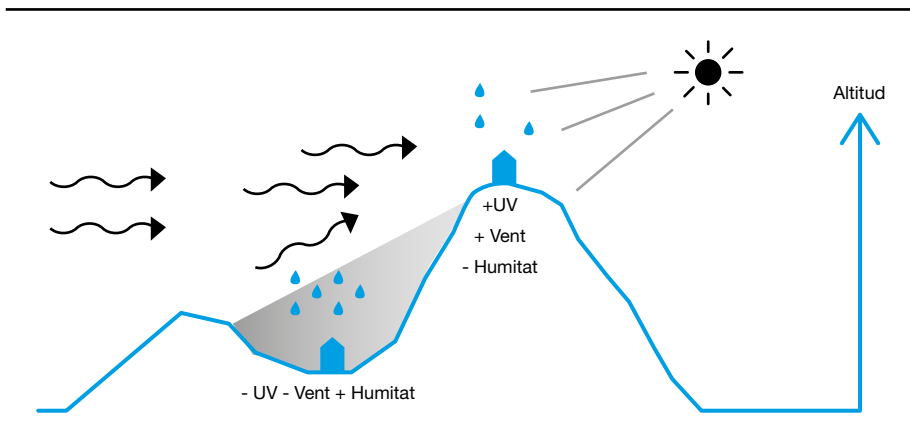


Figura 2.3. Diferència de clima entre la vall i els llocs més elevats.

Proximitat de vegetació

La vegetació impedeix parcialment el pas de la radiació solar, augmenta el nivell d'humitat de l'ambient i també pot protegir del vent incident sobre les nostres edificacions.

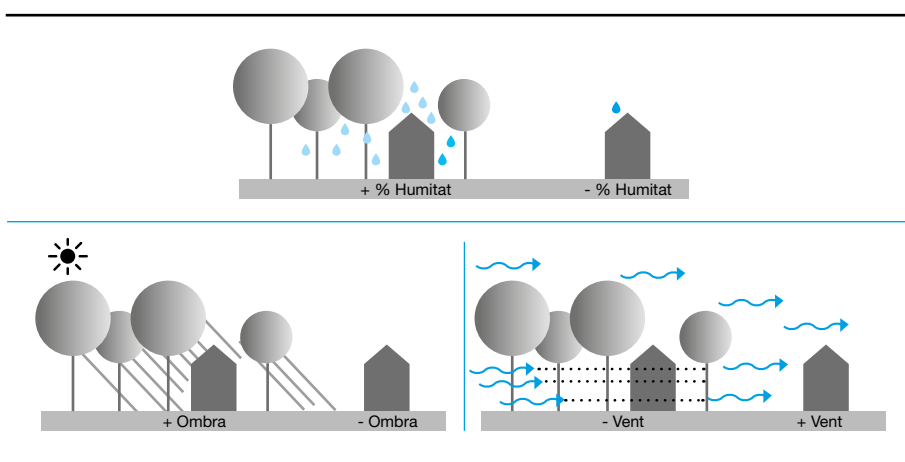


Figura 2.4. Influència de la vegetació en la temperatura i humitat exterior a l'edificació.

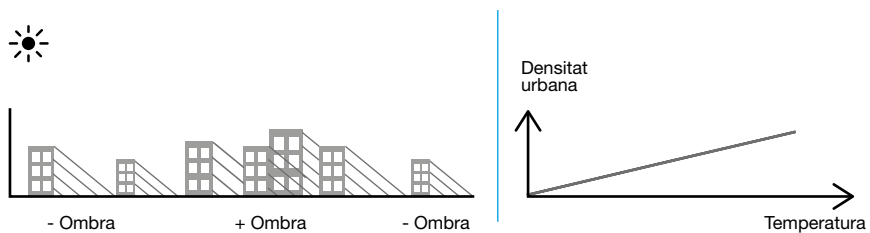
Microclimes urbans

La relació entre el nostre edifici i el seu entorn construït incideix en els aspectes següents:

- La radiació solar incident sobre el nostre edifici (varia segons l'ombra que fan els edificis de l'entorn).
- L'encanalament de corrents de vent (en relació amb l'àrea no edificada de la trama urbana).

- L'efecte d'illa de calor: increment de temperatures en relació amb la centralitat de l'edifici en la trama urbana, causat per l'efecte d'acumulació tèrmica pel caràcter «mineral» de la trama construïda. Els materials constructius dels edificis (formigó, maó, pedra...) i de l'entorn urbà (paviment de formigó, asfalt...) capten la radiació solar i desprenen calor i, per tant, escalfen l'ambient. Aquest escalfament és molt menor quan hi ha vegetació.

Figura 2.5. Influència de la densitat de la trama urbana en les ombres sobre els edificis i la temperatura ambiental.



2.3. Disponibilitat de recursos

En el disseny d'un edifici de consum d'energia gairebé zero (nZEB) la localització del futur edifici també pot estar condicionada per la disponibilitat de recursos energètics dels quals l'edifici podrà disposar. Habitualment, les infraestructures i les xarxes estan establertes abans del projecte de l'edifici, però cal conèixer la capacitat i el tipus de subministrament, així com l'existència de fonts energètiques properes que garanteixin que el baix consum energètic que tingui l'edifici es pot satisfer de manera eficient i continuada.

En aquest sentit, les fonts energètiques poden provenir de recursos renovables o no renovables i cal conèixer el cicle de l'energia perquè les decisions en aquest aspecte minimitzin les emissions de CO₂.

D'aquesta manera, i segons la caracterització de l'edifici nZEB, és necessari que part de les fonts renovables siguin produïdes al mateix edifici o al seu entorn. En aquest quadern s'analitzen les diferents tecnologies que han d'estar correctament planificades i integrades a l'edificació de manera que actuïn com un conjunt unitari.

2.4. Requeriments d'ús en funció del programa

Per al correcte plantejament, execució i gestió d'un nZEB, els requeriments d'ús i el tipus d'activitats que es fan a cada edifici són elements claus que també condicionen el grau de demanda i consum energètic.

En aquest sentit, cal establir dues variables principals:

1. Condicions de confort necessàries per a cada tipus d'edifici.
2. Nivell d'ocupació i activitat que ha d'allotjar l'edifici.

2.4.1. Condicions de confort necessàries per a cada tipus d'edifici

Es pot definir el confort com l'estat de benestar físic, mental i social. La definició engloba molts aspectes de percepció, tant paràmetres que fan referència a les condicions ambientals com paràmetres propis de cada individu; és a dir, inclou paràmetres tant ambientals com personals.

No obstant això, aquest quadern està enfocat als paràmetres que afecten la demanda d'energia dels edificis (condicionants ambientals). Es poden desglossar en requeriments de confort tèrmic, de confort lumínic i de qualitat de l'aire interior.

2.4.1.1. Condicions de confort tèrmic

Existeixen diverses metodologies per mesurar el confort tèrmic tenint en compte aquests paràmetres ambientals i d'activitat (àbac psicomètric, índex Fanger, gràfica d'Olgay...). Aquestes anàlisis són aconsellables a l'hora d'iniciar un projecte per tal d'avaluar les condicions de confort necessàries a cada edifici i les possibles estratègies passives a establir per minimitzar el consum energètic.

Podem determinar les condicions de confort segons l'índex de confort tèrmic PMV (*predicted mean vote*), el qual té en compte:

- Temperatura seca de l'aire ($^{\circ}\text{C}$).
- Temperatura radiant mitjana ($^{\circ}\text{C}$).
- Humitat relativa (%).
- Velocitat de l'aire (m/s).
- Metabolisme (W/m^2).
- Grau de vestimenta (clo).

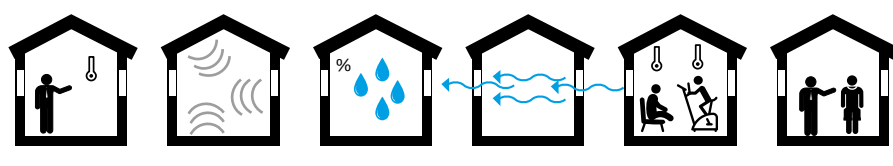


Figura 2.6. Paràmetres que influeixen en la sensació de confort segons l'índex PMV (Predicted Mean Vote).

La normativa actual, el Reglament d'instal·lacions tèrmiques als edificis (Reial decret 178/2021, de 23 de març, pel qual es modifica el Reial decret 1027/2007, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis; IT 1.1.4.1. Exigència de qualitat tèrmica de l'ambient i valors per al dimensionat), estableix unes condicions de confort estàndard que els diferents edificis a projectar han de satisfer correctament.

2.4.1.2. Condicions de confort lumíniques

Per altra banda, el confort lumínic també és un factor que influeix en el consum energètic dels edificis. Segons els diferents graus d'il·luminació que cal satisfer i la capacitat que l'edifici tingui d'aprofitar al màxim la llum natural, podem minimitzar les demandes energètiques (la il·luminació artificial suposa un consum elèctric a la

vegada que actua com a font de calor interna que pot afectar els requeriments de climatització). Cal tenir en compte la potència instal·lada i el temps d'ús.

2.4.1.3. Requeriments de qualitat de l'aire interior

La qualitat de l'aire interior influeix en el benestar i la salubritat dels espais. La concentració de partícules contaminants a causa d'una manca de renovació d'aire pot arribar a produir situacions de desconfort. En aquest sentit, cal una correcta substitució de l'aire viciat de l'interior per aire net de l'exterior. Aquest procés en edificis residencials requereix una renovació controlada, que podria ser mecànica sempre que les condicions exteriors ho exigeixin. En el cas dels edificis no residencials sempre ha de ser mecànica. El moviment d'aquest aire suposa una despesa energètica que, en els edificis amb grans necessitats de renovació, pot ser significativa.

2.4.2. Nivell d'ocupació i activitat que ha d'allotjar l'edifici

L'ocupació i el tipus d'activitat de l'edifici determinen en gran mesura les demandes energètiques d'aquest. Per tant, una anàlisi detallada de l'ús de l'edifici és necessària a l'hora de preveure les futures demandes energètiques. A tall d'exemple, podem observar les situacions següents:

- Edificis que tenen ocupacions molt intenses (tant de persones com d'aparells emissors de calor, com ara ordinadors) incrementen molt les càrregues tèrmiques i, per tant, influeixen en les necessitats de calor (menor demanda) i fred (major demanda). És el cas, per exemple, d'un edifici d'oficines.
- Edificis que tenen un règim d'ús no continuat durant diferents èpoques de l'any requereixen les condicions de confort només per als períodes d'utilització. És el cas, per exemple, d'una escola.
- Edificis que tenen una ocupació continuada dia i nit tenen requisits de confort específics de dia i de nit. És el cas, per exemple, d'un edifici hotel·ler.

Per altra banda, el tipus d'activitat que es fa dins de l'edifici o en espais específics al seu interior determina l'emissió de calor i la humitat relativa a l'ambient i influeix, per tant, en les condicions tèrmiques. A tall d'exemple, podem observar els aspectes següents:

- Dins d'un habitatge podem tenir zones amb més càrrega interna de calor i humitat (cuines i lavabos) que d'altres.
- Dins d'una mateixa escola els alumnes que fan activitats físiques desprenen més calor que els alumnes asseguts a les aules.

Descripció dels requeriments tèrmics de cada tipologia d'edifici estudiat en aquest quadern

En la taula següent es descriuen els paràmetres que es tenen en compte segons la tipologia dels edificis estudiats.

Tipologia d'edifici	Nivell d'ocupació i tipus d'activitat					
	Règim d'ús diari	Règim d'ús setmanal	Règim d'ús anual	Nivell d'ocupació	Càrregues internes	Requisits d'il·luminació
Edifici unifamiliar aïllat	24 hores/dia	7 dies/setmana	12 mesos/any	Baix	Baixes	Baixos
Edifici unifamiliar entre mitgeres	24 hores/dia	7 dies/setmana	12 mesos/any	Baix	Baixes	Baixos
Edifici plurifamiliar	24 hores/dia	7 dies/setmana	12 mesos/any	Baix	Baixes	Baixos
Edifici d'oficines A	8 hores/dia	5 dies/setmana	12 mesos/any	Alt*	Altes*	Alts**
Edifici d'oficines B	8 hores/dia	5 dies/setmana	12 mesos/any	Alt*	Altes*	Alts**
Edifici Hoteler	24 hores/dia	7 dies/setmana	12 mesos/any	Mitjà	Baixes	Zona pública: Alts Habitacions: Baixos
Escola	8 hores/dia	5 dies/setmana	10 mesos/any	Alt	Baixes	Alts**

* Aquests valors són orientatius i depenen de cada edifici en concret.

** A mesura que els sistemes d'il·luminació cada cop siguin més eficients tindran menys pèrdues de calor i la càrrega interna serà més baixa.

Font: Elaboració pròpia d'acord amb els criteris establerts per CTE DB HE 2013 i "Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos".

Taula 2.3. Nivell d'ocupació i tipus d'activitat de la tipologia dels edificis estudiats.



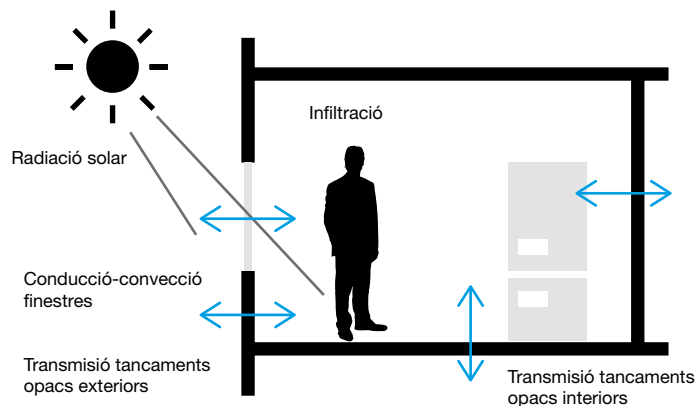
3. Descripció de les mesures passives i de les estratègies per a la disminució de la demanda energètica

Una de les principals funcions dels nostres edificis és controlar tèrmicament un ambient, modificant les condicions externes (determinades pel clima) en relació amb les condicions necessàries a l'interior de l'edifici per garantir el benestar dels ocupants.

La concepció dels edificis i les seves traces arquitectòniques són les primeres decisions i les més rendibles a l'hora de projectar un edifici de consum gairebé zero (nZEB). Aquests primers components que no impliquen forçosament maquinària ni cap despesa energètica afegida s'anomenen convencionalment *estratègies passives*.

Per aconseguir un edifici de consum d'energia gairebé zero, es requereix un correcte disseny bioclimàtic passiu i optimitzat a fi de reduir al màxim la demanda d'energia per a calefacció, refrigeració, aigua calenta i il·luminació.

Figura 3.1. Intercanvi energètic entre l'interior i l'exterior a través dels tancaments de l'edifici.



Els factors principals que determinen la demanda energètica d'un edifici són l'orientació, la radiació solar, la temperatura exterior, les infiltracions, la ventilació i càrregues internes, la humitat relativa exterior i la velocitat del vent, la compacitat, la transmitància tèrmica dels tancaments opacs i dels buits, la massa dels tancaments, el percentatge de buits en façana, els elements d'ombra i els ponts tèrmics.

Per tant, la demanda d'energia de l'edifici necessària per obtenir les condicions de confort desitjades depèn de les característiques geomètriques i tèrmiques de l'edifici, com també del seu ús i càrregues internes.

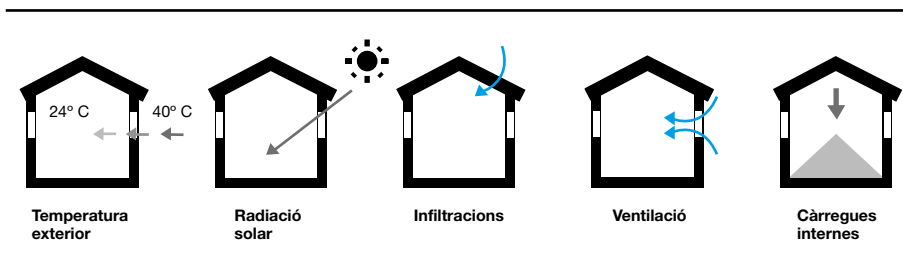


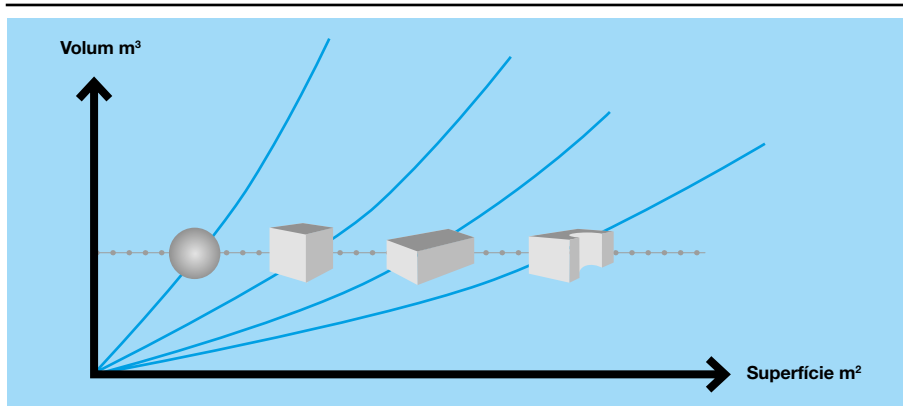
Figura 3.2. Intercanvis energètics a través dels tancaments de l'edifici i de les càrregues internes (enllumenat, equips i persones).

3.1. Factor de forma i geometria

La compacitat, o el factor de forma de l'edifici, pot influir de manera significativa sobre els intercanvis tèrmics entre l'interior i l'exterior. Aquests factors poden ser claus pel que fa a la demanda energètica de l'edifici i, per tant, cal tenir-los en compte a l'hora de dissenyar un edifici de consum gairebé zero (nZEB).

L'intercanvi tèrmic entre l'interior i l'exterior d'un edifici es fa a través de la superfície dels seus tancaments. Per a diferents temperatures (interior i exterior), com més gran sigui la superfície (S) que envolta el volum de l'edifici (V) més elevat és el seu intercanvi tèrmic. Aquesta relació geomètrica combinada amb les diferents condicions climàtiques exteriors i les diferents activitats que es realitzen a l'interior pot variar la demanda energètica durant l'any.

En els casos en què les condicions exteriors no coincideixen amb les condicions de confort, el fet de minimitzar la superfície de pell de l'edifici permet disminuir les demandes energètiques de calefacció i de refrigeració (climes extrems). En canvi, en els casos en què les condicions de confort exterior siguin òptimes o fins i tot puguin minimitzar les demandes energètiques interiors, l'increment de superfície de pell respecte del volum a contenir disminueix la demanda energètica (climes suaus).



Gràfic 3.1. Gràfica de relació entre diferents geometries amb volums iguals continguts per diferents superfícies.

Cal dir que el factor de forma té especial incidència en la transferència de calor per conducció a través de l'envolupant opaca de l'edifici (tal com veurem en l'apartat 3.3.1). No obstant això, altres paràmetres, no directament lligats a la geometria de l'edifici (radiació solar, ventilació, infiltracions...), també són de força importància en la demanda energètica.

Per altra banda, el factor de forma també pot influir en les necessitats d'il·luminació artificial interior. Cal tenir en compte que, més enllà de paràmetres de percepció i de salubritat, en els casos que disminuïm excessivament la superfície de façana respecte del volum que aquesta conté podem reduir les possibilitats de llum natural i, per tant, requerirem més demanda energètica per a la il·luminació.

3.2. Orientació

Per a la consecució dels estàndards nZEB, l'elecció d'una orientació encertada és un factor clau a l'hora de disminuir les demandes energètiques de l'edifici. L'orientació influeix en els aspectes següents:

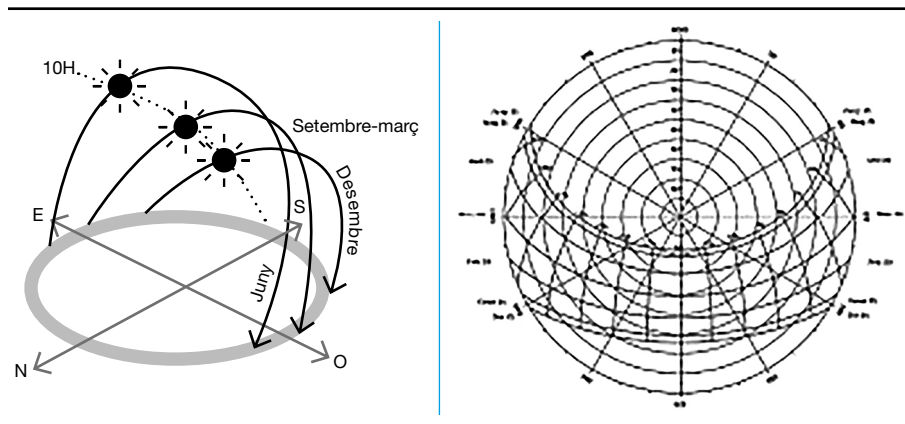
- **La captació de radiació solar de l'edifici:** segons com orientem els buits i les façanes, tindrem una captació solar major o menor i ens influirà en la demanda de calefacció i refrigeració de l'edifici.
- **La capacitat de ventilació natural** que tingui l'edificació en relació amb la direcció dels vents dominants.

Captació de radiació solar

Els diferents plans que delimiten un edifici amb l'exterior estan exposats en diferent mesura i de forma cíclica a la incidència de la radiació solar. Aquesta es pot presentar com a radiació directa, radiació indirecta i radiació provinent de les reflexions del terra o d'altres superfícies properes.

La radiació solar influeix de manera significativa, en major mesura a través d'obertures i plans transparents, en el guany solar dins de l'edificació que s'ha de gestionar en relació amb les demandes internes i altres factors ambientals, com ara la humitat. Aquest fet, per tant, és clau a l'hora de disposar els forats a les façanes, escollir-ne la mida i triar les solucions tècniques més adients (vegeu l'apartat 3.3.2).

Figura 3.3. (Esquerra) figura del recorregut solar a la latitud 41°N (centre geogràfic de Catalunya). (Dreta) figura de la projecció solar polar per a la latitud 41°N. A través d'aquesta carta podem veure la posició exacta del sol, per a qualsevol dia i hora de l'any respecte a l'horitzó i l'eix Nord-Sud. Font: Elaboració pròpia.



A continuació es presenten les taules 3.1, 3.2 i 3.3 de la radiació incident en un punt situat a la latitud 40° N en relació amb els diferents plans i èpoques de l'any per a dies amb cel clar.

Valors en W/m^2 de la suma dels diferents components de la radiació solar per a un punt situat a 40° de latitud nord en diferents dies de l'any per a cel clar. L'ombrejat destaca les hores del dia amb més radiació per a cada orientació.

Solstici d'estiu - 21 de juny	Component		Hora																
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
	Pla vertical	N	95	275	320	325	420	485	535	555	535	485	420	325	320	275	95		
NE		185	565	730	770	745	645	535	555	535	485	420	315	215	120	10			
E		175	590	840	950	975	895	750	555	535	485	420	315	215	120	10			
SE		65	340	580	760	880	905	860	740	555	485	420	315	215	120	10			
S		10	120	215	315	515	670	775	815	775	670	515	315	215	120	10			
SO		10	120	215	315	420	485	555	740	860	905	880	760	580	340	65			
O		10	120	215	315	420	485	535	555	750	895	975	950	840	590	175			
NO		10	120	215	315	420	485	535	555	535	645	745	770	730	565	185			
Pla horitzontal		30	235	450	650	830	970	1065	1100	1065	970	830	650	450	235	30			

Taula 3.1. Valors en W/m² dels diferents components de la radiació solar per a un punt situat a 40° de latitud nord el 21 de juny.

Equinoccis tardor i primavera 21 de setembre i 21 de març	Component		Hora																
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
	Pla vertical	N		0	90	190	300	355	410	425	410	355	300	190	90	0			
NE			0	330	635	440	355	410	425	410	355	300	190	90	0				
E			0	505	950	845	765	630	425	410	355	300	190	90	0				
SE			0	435	740	930	970	940	815	630	390	300	190	90	0				
S			0	160	400	650	815	940	975	940	815	650	400	160	0				
SO			0	90	190	300	390	630	815	940	970	930	740	435	0				
O			0	90	190	300	355	410	425	630	765	845	760	505	0				
NO			0	90	190	300	355	410	425	410	355	440	445	330	0				
Pla horitzontal			0	175	380	575	715	815	840	815	715	575	380	175	0				

Taula 3.2. Valors en W/m² dels diferents components de la radiació solar per a un punt situat a 40° de latitud nord el 21 de setembre i 21 de març.

Solstici d'hivern - 21 de desembre	Component		Hora																
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
	Pla vertical	N				35	115	165	215	225	215	165	115	33					
NE					85	115	165	215	225	215	165	115	33						
E					220	435	455	380	225	215	165	115	33						
SE					265	595	730	760	675	525	325	140	33						
S					175	470	675	820	860	820	675	470	173						
SO					35	140	325	525	675	760	730	595	263						
O					35	115	165	215	225	380	455	435	218						
NO					35	115	165	215	225	215	165	115	63						
Pla horitzontal					110	220	345	435	455	435	345	220	70						

Taula 3.3. Valors en W/m² dels diferents components de la radiació solar per a un punt situat a 40° de latitud nord el 21 de desembre.

D'aquestes taules podem destacar les situacions rellevants següents des d'un punt de vista energètic i arquitectònic.

- I. **Plans horitzontals:** durant els períodes d'estiu tenim uns guanys tèrmics molt importants. Per contra, en els períodes d'hivern aquests guanys són molt baixos. Aquest fet indica que, en l'àmbit energètic, cal minimitzar les obertures horitzontals, en el pla de coberta, no protegides per elements d'ombra.
- II. **Façana sud:** durant els períodes d'estiu tenim uns guanys tèrmics mitjans-alts. Aquests guanys, però, són més grans durant el període d'hivern, just quan en l'àmbit energètic ens són d'utilitat. Aquest fet indica que hem de crear proteccions solars que protegeixin a l'estiu, però que no actuïn com a barreres a l'hivern (per exemple, proteccions mòbils o proteccions horitzontals).

- III. **Façanes est i oest:** s'observa que les dues façanes reben la mateixa incidència solar. La radiació solar en aquestes orientacions té uns valors elevats a l'estiu (superiors als valors rebuts a la façana sud) i uns valors mitjans-baixos a l'hivern. També observem que la incidència a la façana oest coincideix amb les hores amb temperatures més altes. Això ens indica la importància de controlar la incidència solar durant l'estiu.
- IV. **Façana nord:** la radiació solar incident sobre aquesta façana, tant en períodes d'estiu com d'hivern, sempre és baixa. I, per tant, aquesta façana tant a l'hivern com a l'estiu és «més freda» que les altres façanes.

Per tant, és fonamental controlar l'orientació dels nostres edificis i disposar i dissenyar les obertures i els seus elements d'ombra amb especial atenció perquè la incidència solar sigui beneficiosa i no perjudicial en el balanç anual de la demanda energètica dels edificis.

Captació de ventilació natural

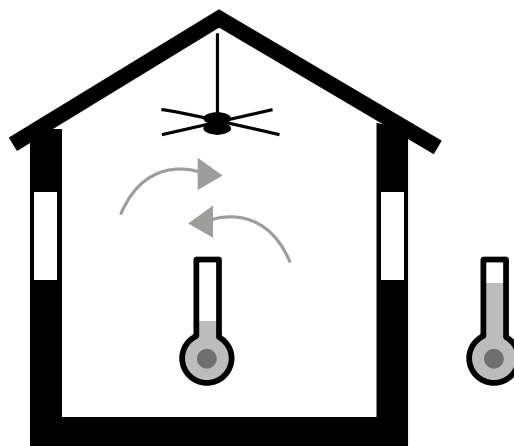
Per tal de millorar les condicions de confort en nZEB i sempre que les condicions exteriors ho permetin, es recomana potenciar la ventilació d'aire natural.

En l'àmbit de l'energia cal diferenciar la ventilació natural de la renovació controlada d'aire. Com s'ha descrit en l'apartat 2.4, la renovació d'aire és sempre necessària. Aquesta renovació, en els casos en què les condicions higròtermiques exteriors no siguin les mateixes que les requerides a l'interior, pot significar un increment considerable en la demanda energètica per a climatització. Com veurem en l'apartat 4 (Estratègies en les mesures actives per a la disminució del consum energètic), la disposició de recuperadors de calor pot ser una estratègia molt bona per minimitzar la demanda energètica produïda per aquesta renovació.

El vent és el moviment d'aire derivat de l'existència de masses d'aquest a diferent temperatura i/o radiació. Aquest vent influeix en el balanç energètic de l'edifici de dues formes diferenciades:

1. Determinació de la sensació de confort.
2. Intercanvi d'energia a través de l'envolupant.

Figura 3.4. Ventilació natural. Millora de la sensació de confort gràcies al moviment de l'aire.



1. Determinació de la sensació de confort

Tal com s'ha descrit en el punt 2.4.1.1, Condicions de confort tèrmic, la velocitat de l'aire incideix sobre la sensació de confort tèrmic de l'individu. Aquest efecte està relacionat amb el moviment de l'aire que està en contacte amb el nostre cos. Aquest moviment afavoreix les possibilitats de sudoració i l'intercanvi de temperatures entre el nostre cos i l'aire, fet que pot disminuir o augmentar les demandes de climatització a l'interior dels nostres edificis.

La taula següent indica l'escala Beaufort d'intensitat del vent i els seus efectes a l'interior d'un edifici.

2. Intercanvi d'energia a través de l'envolupant

La demanda energètica de l'edificació pot canviar substancialment per efecte de la ventilació a través de les obertures. En aquest sentit, i amb independència dels sistemes constructius que s'utilitzin, la disposició de les obertures i el seu ús pot influir en aquest intercanvi. Per exemplificar-ho, s'incorporen dos casos habituals als edificis que expliquen aquest efecte tèrmic.

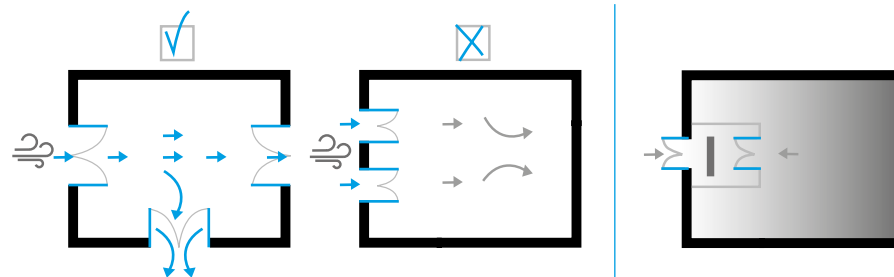
- S'observa que l'orientació i la disposició d'obertures en façanes oposades (amb incidències solar divergents) pot generar una ventilació creuada o potenciar quan ens interressi aquest efecte (per exemple, en habitatges, oficines...).
- També s'observa que la disposició de cancells d'entrada (doble porta) pot disminuir l'intercanvi de temperatures entre l'interior i l'exterior especialment en edificis d'elevat trànsit (per exemple, en oficines, escoles, locals comercials...).

Finalment, en l'àmbit energètic, cal diferenciar clarament entre ventilació, renovació d'aire i infiltracions. En els primers dos processos l'entrada d'aire és un mecanisme controlat que es pot accionar en relació amb les necessitats interiors i les condicions exteriors. Per altra banda, les infiltracions que es poden donar a través de l'envolupant sempre són no desitjades en la mesura que no es poden controlar i es produeixen amb independència dels requeriments d'ús interiors.

Moviment de l'aire a l'interior dels edificis						
Velocitat m/s	Impacte en les persones i als espais interiors	Efecte de refredament segons la temperatura de l'aire en °C				
		15	20	25	25	30
		Pell Seca			Pell Humida	
< 0,1	Sense impacte. Pot produir sensació de tancament	0	0	0	0	0
0,25	L'oscil·lació del fum indica moviment de l'aire. Refredament perceptible amb baixes temperatures	2	1,3	0,8	0,5	0,7
0,5	Les espelmes necessiten protecció. Refredament a temperatures confortables, fred amb temperatures baixes	4	2,7	1,7	1	1,2
1	Moviment de papers, únicament confortable amb temperatures càlides. Només recomanable per a confort nocturn	6,7	4,5	0,8	1,7	2,2
1,5	Excessiu per a treball d'escriptori, límit per a activitat sedentària	8,5	5,7	3,5	2	3,3
2	Acceptable únicament en condicions càlides-humides en absència d'alleujament alternatiu (refrigeració)	10	6,7	4	2,3	4,2

Taula 3.4. Moviment de l'aire a l'interior dels edificis, i efecte de refredament segons la temperatura de l'aire en °C.

Figura 3.5. (Esquerra) la situació d'obertures en façanes oposades afavoreix la circulació de l'aire, ajudant a dissipar l'excés de calor a l'estiu. (Dreta) la disposició de doble porta a l'accés fa disminuir l'intercanvi d'energia entre l'interior i l'exterior.



3.3. Envoltant

Per al disseny i construcció d'un nZEB, l'cert en l'elecció i l'execució de l'envoltant tèrmica és un factor molt important.

S'entén per envoltant tèrmica d'un edifici el sistema format pels tancaments que separen els recintes habitables de l'ambient exterior (aire, terreny o un altre edifici) i les particions interiors que separen els recintes habitables dels no habitables.

A través de l'envoltant d'un edifici es produeixen els guanys i les pèrdues energètiques següents:

- Transmissió a través dels elements opacs (zona habitable – zona exterior).
- Transmissió a través dels elements opacs interiors (zona habitable – zona no habitable).
- Conducció-convecció a través de les finestres (zona habitable – zona exterior).
- Radiació solar a través de les obertures (zona habitable – zona exterior).
- Infiltracions no controlades d'aire (zona habitable – zona exterior) degudes a la permeabilitat a l'aire de l'envoltant o la no hermeticitat dels tancaments.

En l'àmbit de l'energia, podem classificar l'envoltant en quatre grans grups en relació amb el tipus de barrera que actua entre l'exterior i l'interior. Aquests grups, que es descriuen en els apartats següents, són:

1. Millora dels tancaments opacs
2. Optimització de les obertures
3. Gestió dels elements d'ombra
4. Reducció dels ponts tèrmics

3.3.1. Tancaments opacs

Els tancaments opacs són tots aquells elements que separen dos ambients tèrmicament diferenciats i que no permeten el pas de la llum: murs, parets, sostres, etc. Es divideixen principalment en façanes i cobertes.

Pel que fa a aquesta part de l'envoltant, una de les propietats físiques més determinants en l'àmbit de l'energia és la conductivitat tèrmica (λ , W/mK). Aquesta determina, juntament amb el gruix del material, la quantitat de calor que traspasa el tancament per conducció. Classifiquem el conjunt de materials de construcció com a aïllants o no aïllants, amb independència d'altres característiques físiques que també contribueixen a reduir les demandes de climatització a l'interior dels edificis, com ara la calor específica dels materials i la densitat, les quals determinen la inèrcia tèrmica.

A continuació, s'incorpora una taula resum dels principals materials aïllants i se n'especifica la densitat i els valors mitjans de conductivitat tèrmica.

Aïllaments		
Material o producte	Densitat (kg/m ³)	Conductivitat tèrmica $\lambda_{90/90}$ a 10 °C (W/mK)
Poliestirè expandit (EPS)*	10-50	0,046-0,031
Poliestirè extruït (XPS)*		
A partir de diòxid de carboni (CO ₂)	25-50	0,042-0,034
A partir d'hidrofluorcarburs (HFC)	25-50	0,039-0,025
Llanes minerals (de vidre o de roca) (MW)*	25-180	0,044-0,032
Espuma rígida de poliuretà (PUR) o poliisocianurat (PIR)*		
Projeccions amb hidrofluorcarburs (HFC)	30-60	0,025
Projeccions amb diòxid de carboni (CO ₂) de cel·la tancada	40-60	0,035-0,032
Planxa amb hidrofluorcarburs (HFC) o hidrocarbur (pentà) i revestiment permeable als gasos	30-60	0,030-0,027
Planxa amb hidrofluorcarburs (HFC) o hidrocarbur (pentà) i revestiment impermeable als gasos	30-60	0,025-0,024
Injeccions a tancaments amb diòxid de carboni (CO ₂)	15-20	0,040
Llana d'ovella	20	0,04
Cotó	30	0,04
Fibra de cel·lulosa	45-60	0,04
Fibra de fusta	140-260	0,046-0,039
Suro expandit	100-150	0,049-0,065
Argila expandida	325-750	0,148-0,095
Plafons de perlita expandida	140-240	0,062
Plafons de vidre cel·lular	100-150	0,050

* Materials amb dades certificades per AENOR.

FAÇANES

Entenem per façana el parament vertical que envolta l'edifici i separa l'interior de l'exterior. En termes energètics, la façana, juntament amb la coberta, és un dels elements més importants a l'hora de conservar la temperatura per assolir el confort a l'interior de l'edifici. Les façanes han anat evolucionant amb el temps per aconseguir el màxim confort i seguretat a l'interior.

Les façanes més utilitzades antigament eren les façanes d'inèrcia, façanes completament massisses, sense cambra d'aire ni aïllament, que poden arribar a tenir un gruix gran, determinat fonamentalment per motius constructius o d'estabilitat. Aquest tipus de façanes ajuden a regular els salts tèrmics de temperatura entre el dia i la nit, ja que tenen la capacitat d'acumular calor en la massa interior pròpia de l'edifici i d'alliberar-la amb un cert retard, quan la temperatura és més baixa.

Podem diferenciar entre diferents tipologies de façanes:

Façana abrigada (no-ventilada)	Façana lleugera	
	Façana pesada	Aïllament en el parament exterior** Aïllament en el parament interior
Façana ventilada	Façana lleugera	
	Façana pesada	

** Les façanes actuals solen constar d'un parament interior i d'un exterior.

Taula 3.5.
Font: Elaboració pròpia d'acord amb els criteris establerts pel CTE DB HE 2013 i "Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos". Modificada segons l'aportació d'informació per part dels fabricants d'aïllaments.

Taula 3.6. Tipus de façana.

Característiques tèrmiques de les façanes

A continuació es mostra una taula comparativa entre les transmitàncies màximes obligatòries que ens marca el CTE 2013 (W/m^2K) i les transmitàncies que podrien ser recomanables, en murs i en contacte amb el terreny, per assolir els edificis nZEB.

Taula 3.7. Taula comparativa entre les transmitàncies màximes obligatòries que ens marca el CTE 2013 (W/m^2K) i les transmitàncies recomanables.

	U (W/m^2K)	CTE 2013*	CTE 2013**	CTE 2019 ***	CTE 2019****
Clima	B	1	0,38	0,56	0,38
	C	0,75	0,29	0,49	0,29
	D	0,60	0,27	0,41	0,27
	E	0,55	0,25	0,37	0,23

* Taula 2.3, Codi tècnic de l'edificació, document bàsic d'estalvi d'energia 1 (CTE DB-HE-1) de 2013, actualitzat el 2017, Transmissió tèrmica màxima de murs i elements en contacte amb el terreny.

** CTE-2013, actualitzat el 2017, apèndix E, Valors orientatius dels paràmetres característics de murs de façana i tancaments en contacte amb el terreny per a usos residencials.

*** Taula 3.1.1.a del CTE DB-HE-1 de 2019. Valor límit (U_{lim}) de la transmissió tèrmica (U) de murs i elements en contacte amb el terreny.

**** CTE-2019, annex E, Valors orientatius dels paràmetres característics de murs de façana i tancaments en contacte amb el terreny per a usos residencials.

Façana abrigada (no ventilada)

És una façana multicapa (de diverses capes de material) sense cambra d'aire al seu interior. La seva composició pot variar en funció dels materials escollits (els quals és recomanable que siguin sempre de baix impacte mediambiental) i la climatologia de l'entorn de l'edifici.

Podem distingir diferents tipus de façanes no ventilades: façana lleugera i façana pesada, que tenen més o menys inèrcia tèrmica en funció d'on es col·loqui l'aïllament.

Façanes lleugeres

Les façanes lleugeres són façanes compostes per una gran capa d'aïllament tèrmic i un revestiment. Es tracta de façanes sense cap funció estructural que requereixen un element auxiliar (com guies) per al seu suport.

Aquesta tipologia de façana aïlla molt bé els edificis, però no disposa d'inèrcia tèrmica en el tancament.

Característiques:

- Eficàcia en les condicions aïllants de l'envolupant. Lleugeresa del sistema.
- Façana sense inèrcia tèrmica. No gestiona les puntes tèrmiques interiors.
- Poca durabilitat davant d'agents externs agressius (humitat, vent, temperatura...).
- Molt recomanable per a edificis d'ús no permanent.
- Fàcilment reciclable i transformable.

Façanes pesades

La façana pesada és una façana tradicional multicapa composta per materials amb inèrcia alta i un aïllament.

Les façanes pesades tenen un comportament tèrmic molt bo i, en funció de l'ordre de les seves capes, el seu comportament global pot variar.

Amb aïllament per l'exterior

Una façana amb aïllament a l'exterior està composta, de fora a dins, per revestiment exterior, capa exterior, aïllament tèrmic i revestiment interior. Aquesta tipologia, en què l'aïllament tèrmic pot tenir continuïtat a tota l'envolupant vertical de l'edifici, ajuda a eliminar els ponts tèrmics i a reduir les humitats a l'interior.

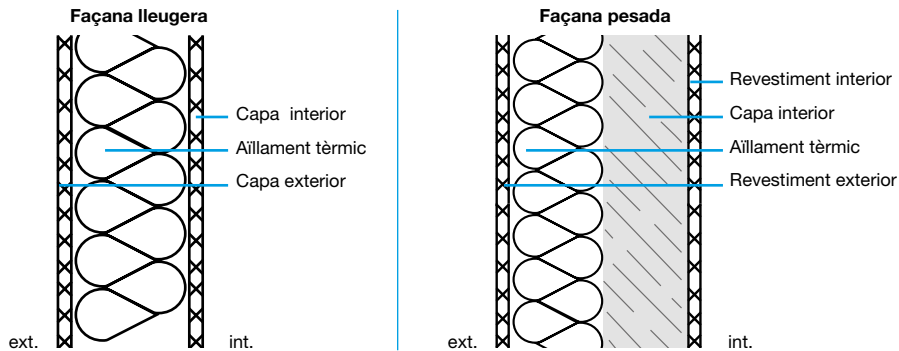


Figura 3.6. Façana lleugera i façana pesada.

Característiques:

- Implicació de la inèrcia en la gestió de les puntes tèrmiques internes.
 - Envolupant contínua que minimitza l'existència de ponts tèrmics.
 - Capacitat portant de la capa interior que permet integrar l'estructura.
 - Minimització del risc higrotèrmic (condensacions intersticials) de l'interior del tancament.
 - Més control de la humitat relativa interna amb l'absorció de la capa interior.
- Especialment aconsellable per a edificis amb ocupacions altes setmanals com, per exemple, escoles o residències permanents.

Amb aïllament per l'interior

Una façana amb aïllament a l'interior és aquella composta, de fora a dins, per revestiment exterior, capa exterior, aïllament tèrmic i revestiment interior.

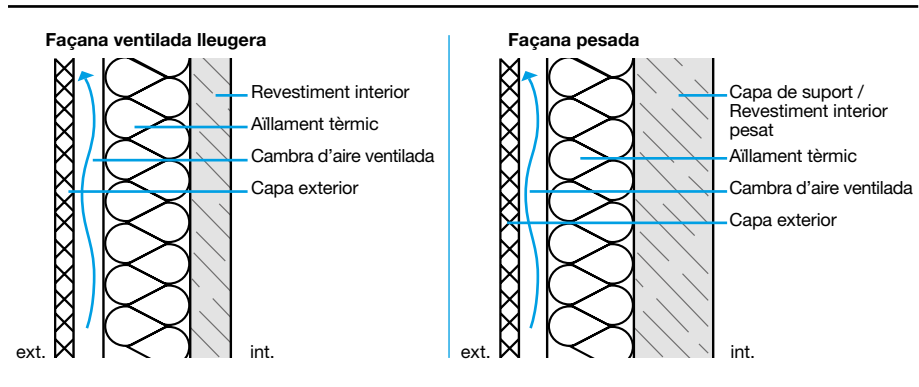
Característiques:

- Ràpid assoliment de la temperatura de confort, des de la posada en marxa dels equips, gràcies a la inèrcia tèrmica del conjunt de la façana.
- Sense capacitat de gestionar les puntes tèrmiques interiors.
- Alt emmagatzematge tèrmic a la capa exterior que pot arribar a afectar el confort interior, tot i l'aïllament intermedi.
- Dificultat d'obtenir una continuïtat de l'aïllament tèrmic a causa de l'estructura situada a la capa exterior.
- Alta durabilitat del conjunt del tancament davant d'agents externs.
- Recomanable quan és difícil actuar per l'exterior.
- Costos més reduïts en relació amb l'aïllament per l'exterior en cas de rehabilitació.
- Recomanable en edificis amb locals d'ocupació molt esporàdica.

Façana ventilada

La façana ventilada és un tipus de tancament exterior multicapa proveït d'una cambra d'aire ventilada vertical contínua en què es crea, entre altres, l'efecte xemeneia (apartat 3.4).

Figura 3.7. Façana ventilada lleugera i façana pesada.



Façana ventilada lleugera

Característiques:

- Es pot industrialitzar fàcilment. És compatible amb sistemes estructurals de poc cantell (gruix).
- La cambra d'aire ventilada evita que el sobreescalfament per radiació arribi a l'interior.
- Pot actuar com a envolupant contínua, fins i tot al llarg de la coberta, cosa que permet activar la cambra d'aire com un flux continu.
- Especialment recomanable en zones d'accentuada radiació solar i en edificis amb usos esporàdics en els quals no és necessari escalfar o refredar tot el tancament.
- Pot ser una bona solució per resoldre l'envolupant en sistemes estructurals complexos i evitar qualsevol pont tèrmic.
- És important gestionar el flux d'aire de la cambra per evitar problemes en cas d'incendi per inducció de l'aire vers l'interior. Els materials aïllants requereixen una classificació específica respecte del foc per evitar la propagació d'incendis. Es recomana la utilització de materials aïllants incombustibles.
- A l'hivern, atesa la ventilació de la cambra d'aire, es considera que el revestiment exterior i la cambra d'aire no contribueixen a l'aïllament tèrmic.
- Protecció enfront de l'acció combinada de vent i pluja.

Façana ventilada pesada

Característiques:

- Es pot industrialitzar fàcilment. És compatible amb sistemes estructurals de poc cantell.
- La cambra d'aire ventilada evita que el sobreescalfament per radiació arribi a l'interior.
- Pot actuar com a envolupant contínua fins i tot al llarg de la coberta, cosa que permet activar la cambra d'aire com un flux continu.
- Especialment recomanable en usos continuats i en zones de salt tèrmic elevat i de radiació solar alta. Es pot utilitzar l'elevada inèrcia tèrmica de la capa

interior per gestionar els guanys interns i crear una capa que doni ombra, i evitar els guanys solars per radiació.

- Pot ser una bona solució per resoldre l'envolupant en sistemes estructurals complexos.
- És important gestionar el flux d'aire de la cambra per evitar problemes en cas d'incendi per inducció de l'aire vers l'interior. Els materials aïllants requereixen una classificació específica respecte del foc per evitar la propagació d'incendis. Es recomana la utilització de materials aïllants incombustibles.
- Implicació de la inèrcia tèrmica en la gestió de les puntes tèrmiques interiors.
 - Envolupant contínua que minimitza l'existència de ponts tèrmics.
 - Capacitat portant de la capa interior que permet integrar l'estructura.
 - Minimització del risc higròtèrmic (condensacions intersticials) de l'interior del tancament.
 - Més control de la humitat relativa interna a partir de la gestió i absorció de la capa envolupant.
- Especialment recomanable en climes càlids i amb forta radiació solar.
- A l'hivern, atesa la ventilació de la cambra d'aire, es considera que el revestiment exterior i la cambra d'aire no contribueixen a l'aïllament tèrmic.

Innovacions en façanes

Actualment, hi ha un procés de recerca de nous materials que poden hibridar sistemes descrits en un futur pròxim. Se citen, a tall d'exemple, alguns dels materials en fase d'aplicació experimental:

- Sistemes de canvi de fase que donen propietats minerals amb molt poc material i inèrcia.
- Airejants col·locats dins d'altres materials opacs que permeten donar propietats aïllants amb una única capa.
- Nous plafons de tancament amb buit interior, Vacuum Insulated Products (VIP) o aerogels, que donen noves possibilitats tèrmiques o constructives en l'àmbit energètic.

COBERTES

Entenem per coberta l'element opac horitzontal o inclinat fins a 60° respecte de l'horitzontal que cobreix la part superior de l'edifici i separa l'interior de l'exterior.

En termes d'energia, la coberta (així com la façana) és un dels elements més importants, ja que té la funció de protegir l'edifici d'elements externs com la pluja o el vent i de conservar la temperatura per assolir el confort a l'interior de l'edifici. És el pla més exposat a la radiació solar en període d'estiu i cal tenir-ho en compte per minimitzar les demandes de refrigeració a l'interior dels edificis.

Característiques tèrmiques:

A continuació, en la taula 3.7, es mostra la comparativa entre les transmissibilitats tèrmiques màximes que estableix el Codi tècnic de l'edificació (CTE 2013) i les transmissibilitats que es pretén aconseguir amb els edificis nZEB.

Hi ha diversos tipus de cobertes, i cadascun d'aquests tipus és més adient en una zona climàtica que en una altra.

Tipologies de coberta:

- No ventilada (calenta).
- Ventilada (freda).

- Enjardinada/aigua.
- «Fresca».

Taula 3.8.
Transmitància tèrmica
màxima de cobertes i
terres en contacte amb
l'aire.

	U (W/m²K)	CTE 2013*	CTE 2013**	CTE 2019***	CTE 2019****
Clima	B	0,65	0,33	0,44	0,33
	C	0,50	0,23	0,40	0,23
	D	0,40	0,22	0,35	0,22
	E	0,35	0,19	0,33	0,19

* Taula 2.3, Codi tècnic de l'edificació, document bàsic d'estalvi d'energia 1 (CTE DB-HE-1) de 2013, actualització del 2017, Transmitància tèrmica màxima de cobertes i terres en contacte amb l'aire.

** CTE-2013, actualització del 2017, apèndix E, Valors orientatius dels paràmetres característics de cobertes.

*** Taula 3.1.1.a del CTE DB-HE-1 de 2019. Valor límit (U_{lim}) de la transmitància tèrmica (U) de cobertes en contacte amb l'aire exterior (U_e).

**** CTE-2019, annex E, Valors orientatius dels paràmetres característics de cobertes en contacte amb l'aire exterior (U_e).

Coberta no ventilada

Coberta que no disposa d'una cambra d'aire ventilada. Podem diferenciar tres tipologies de cobertes no ventilades:

- Lleugera.
- Amb aïllament a la capa exterior.
- Amb aïllament a la capa interior.

Coberta lleugera

Aquesta coberta, igual que la façana lleugera, està composta per un plafó sandvitx: un acabat exterior lleuger, un aïllament tèrmic (XPS, EPS, MW, PUR, suro...) i un acabat interior.

Característiques:

- És una solució adient per a intervencions industrialitzades reciclables o en zones de poca radiació directa.
- És una solució constructiva adient per a cobertes en què calgui evitar un augment del seu gruix i pes.
- Donada la forta radiació solar incident en període d'estiu, tot i disposar d'un aïllament continu, és probable que, després d'exposicions prolongades, la temperatura superficial a la cara interior sigui elevada i aquesta es converteixi en una làmina radiant que dissipi calor a l'interior de l'espai habitable. S'ha d'avaluar el gruix mínim necessari de l'aïllament per evitar la dissipació de la calor cap a l'interior.

Amb aïllament a la capa exterior

Aquesta tipologia de coberta, en funció dels materials utilitzats, disposa d'una alta inèrcia tèrmica que ajuda a acumular la calor i transmetre-la a l'interior de l'edifici a la nit.

Figura 3.8. Diferents
tipus de cobertes
lleugeres.

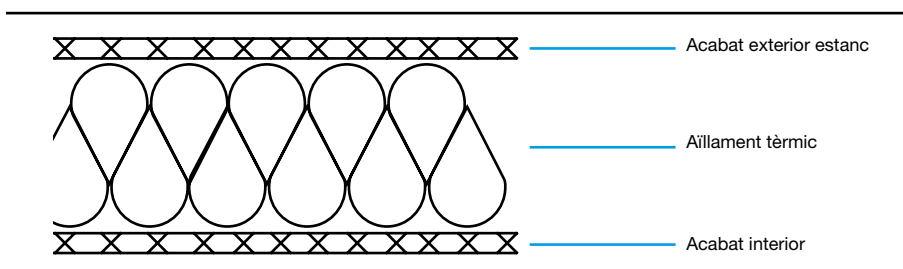
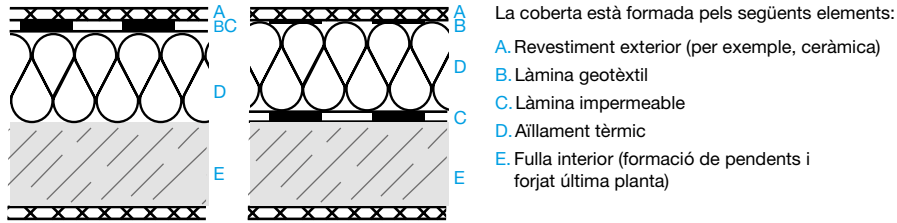


Figura 3.9. Coberta aïllada per l'exterior.



La posició de l'aïllament respecte de la làmina impermeable pot variar, de manera que l'aïllament pot estar més a l'exterior o més a l'interior que la làmina impermeable.

Característiques:

- Implicació de la inèrcia en la gestió de les puntes tèrmiques internes.
 - Facilitat per aconseguir una envolupant contínua que minimitza l'existència de ponts tèrmics.
 - Capacitat portant de la capa interior que permet integrar l'estructura. Minimització del risc higrotèrmic (condensacions intersticials) de l'interior del tancament.
 - Més control de la humitat relativa interna a partir de la gestió i absorció de la capa envolupant.
- Especialment aconsellable per a edificis amb ocupacions intenses setmanals com, per exemple, escoles o residències permanents.

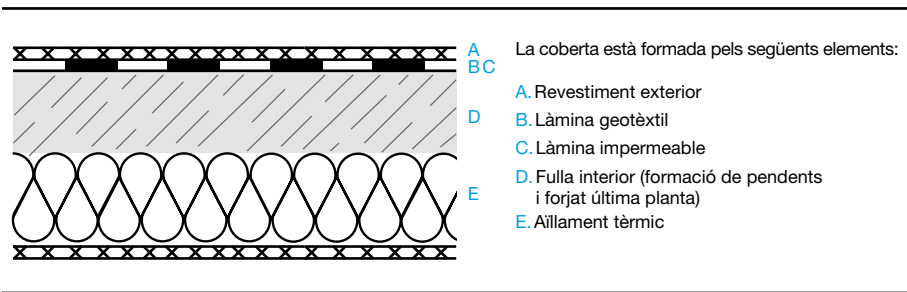
Amb aïllament a la capa interior

Aquesta tipologia de coberta, en funció dels materials utilitzats, disposa d'una inèrcia tèrmica intermèdia que ajuda a acumular la calor i la transmet cap a l'exterior de l'edifici a la nit.

Característiques:

- La ubicació de l'aïllament en la composició de la coberta ajuda a obtenir una temperatura immediata de confort interior.
- Sense capacitat de gestionar les puntes tèrmiques interiors.
- Alt emmagatzematge tèrmic a la capa exterior que pot arribar a afectar el confort interior si no hi ha un suficient gruix d'aïllament.
- Estructura a l'exterior, en funció de la tipologia de façana escollida, amb dificultats d'obtenir una continuïtat de l'aïllament.
- Alta durabilitat enfront d'agents externs.
- Recomanable quan sigui difícil actuar per l'exterior.
- Recomanable en edificis amb locals d'ocupació esporàdica.
- La barrera de vapor a la cara freda del tancament pot crear un risc de condensacions intersticials. Necessitat de col·locar barreres de vapor eficients a la cara interna del tancament.

Figura 3.10. Coberta lleugera amb aïllament a la capa interior.



Coberta ventilada

Antigament, a Catalunya, força edificis residencials es construïen amb les cobertes catalanes tradicionals, en les quals hi havia una cambra d'aire que, gràcies a la ventilació i a la radiació solar, permetia assecar les possibles filtracions d'aigua i evitar que aquestes filtracions afectessin l'interior de l'edifici.

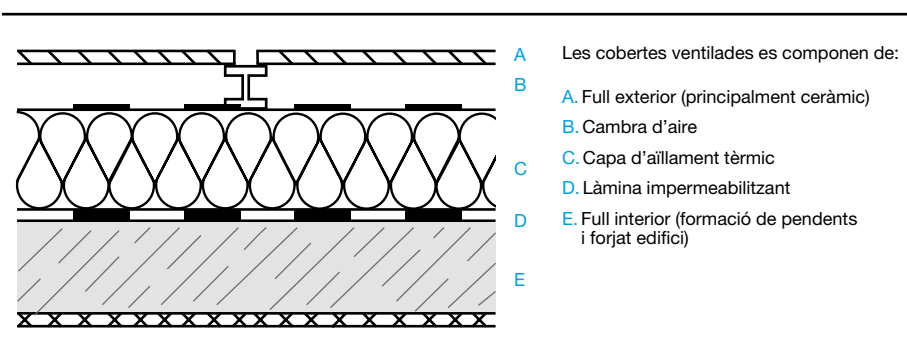
Avui en dia la coberta ventilada consisteix en una coberta catalana que incorpora un aïllament tèrmic.

A la cambra d'aire de les cobertes ventilades es creen corrents d'aire que disminueixen les altes temperatures provocades per la radiació solar i evaporen les possibles filtracions d'aigua de la capa exterior sobre la barrera impermeable.

Característiques:

- La cambra d'aire evita que el sobreescalfament arribi a l'interior.
- Pot generar una envolupant contínua fins i tot al llarg de la coberta, fet que permet activar la cambra d'aire com un flux continu.
- Pot ser una bona solució per resoldre envolupants en sistemes estructurals complexos.
- Molt bona protecció solar, que evita el sobreescalfament per radiació solar.
- Implicació de la inèrcia tèrmica en la gestió de les puntes tèrmiques interiors.
 - Envolupant contínua que minimitza l'existència de ponts tèrmics.
 - Capacitat portant de la capa interior que permet integrar l'estructura.
- Especialment recomanable en climes càlids i amb forta radiació solar.
- A l'hivern, atesa la ventilació de la cambra d'aire, es considera que el revestiment exterior i la cambra d'aire no contribueixen a l'aïllament tèrmic.

Figura 3.11. Coberta ventilada.



Coberta enjardinada/aigua

La coberta enjardinada, coneguda també com a vegetal o verda, és una coberta no ventilada en què la capa exterior és un substrat vegetal.

Les cobertes enjardinades poden ser de dues tipologies, que funcionen bé tèrmicament i poden ajudar a protegir l'edifici de l'exterior i reduir la demanda energètica global:

- Coberta enjardinada.
- Coberta enjardinada amb aljub d'aigua. Aquestes cobertes disposen d'una gran inèrcia tèrmica que ajuda a regular el salt tèrmic entre les condicions exteriors de l'edifici i les interiors. Entenem una coberta amb aljub d'aigua com el sistema que integra, constructivament, un dipòsit ple d'aigua de pluja per sota d'un substrat de terra vegetal i l'humidifica per capil·laritat. Les cobertes amb aljub, tal com es veu en els esquemes següents, poden disposar de la capa d'aïllament per sobre o per sota de la capa corresponent d'aigua.

Característiques:

- La superfície verda final i la seva evapotranspiració contribueixen a abaixar la difracció i la temperatura de l'exterior.
- La inclusió d'una làmina d'aigua com a sistema envolupant permet augmentar la inèrcia tèrmica de l'ordre de vint vegades respecte a sistemes sense aigua.
- El dipòsit d'aigua pluvial a la coberta permet el rec i altres aprofitaments d'aigua no potable sense cap altra despesa d'energia.
- Requereixen més manteniment que altres tipus de cobertes.
- A banda de l'aspecte tècnic, les cobertes verdes incorporen un avantatge estètic.

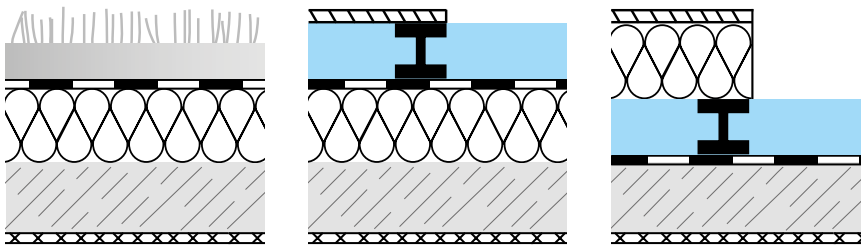


Figura 3.12. Coberta enjardinada i amb aljub d'aigua.

Coberta fresca

Les cobertes fresques, també conegudes com a cobertes d'alta reflectància, es caracteritzen per mantenir-se a temperatures inferiors a les cobertes convencionals en estar revestides amb materials i/o productes d'alta reflexió de la radiació solar. Aquests revestiments han de permetre reflectir una gran part de la radiació solar incident i disposar d'una alta emitància tèrmica de cara a radiar posteriorment l'energia absorbida a l'espai.

Aquesta tecnologia no només pot tenir una gran aplicabilitat en zones climàticament càlides, sinó també en zones climàtiques temperades, atès que pot reduir el consum d'energia destinada a la refrigeració dels locals inferiors, fins i tot en una proporció superior a la penalització de calefacció.

La implementació de cobertes fresques és una bona opció tant en edificis de nova construcció com en la rehabilitació energètica d'edificis, atès que és viable reconvertir

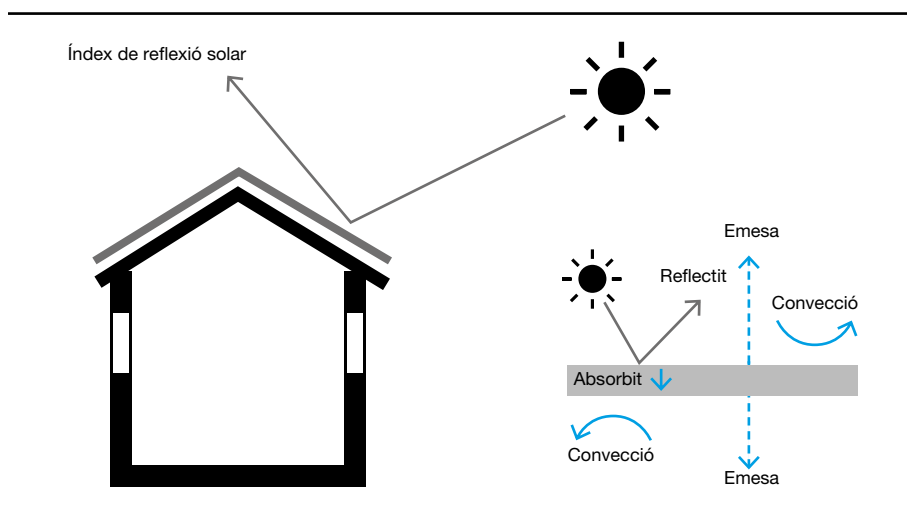
una coberta ja existent en una coberta fresca simplement aplicant-hi per l'exterior un revestiment amb alta reflectància i emissivitat. El manteniment de cobertes es fa periòdicament per garantir la impermeabilitat a l'aigua de pluja i per assegurar la durabilitat de la reflectància del material.

Així doncs, aquesta estratègia ofereix els avantatges següents:

- Reduir el consum energètic dels sistemes de climatització dels locals inferiors. Millorar l'eficiència dels sistemes de refredament.
- Reduir el valor del pic de consum d'electricitat a l'estiu per aquesta causa.
- Mitigar els efectes de «l'illa de calor» a escala urbana.
- Perllongar la durabilitat dels materials de revestiment de la coberta, ja que es redueix l'estrès tèrmic a què es veuen sotmesos.

Un aspecte a tenir en compte és que el material d'alta reflectància disminueix els guanys tèrmics a l'hivern. Per evitar-ho, és imprescindible incorporar-hi una capa d'aïllament tèrmic.

Figura 3.13. Coberta fresca, amb elevat índex de reflexió solar.



3.3.2. Obertures

A l'envolupant d'un edifici nZEB, els tipus i les característiques de les obertures (forats o buits) tenen un rol essencial. Aquestes han de garantir un alt nivell d'aïllament tèrmic, assegurar l'estanquitat al pas de l'aire, mantenir un elevat nivell d'il·luminació i gestionar correctament els guanys solars provinents de l'exterior.

A partir d'aquests requeriments, cal establir dues classificacions principals:

- Requeriments d'il·luminació natural.
- Requeriments de gestió tèrmica a l'interior de l'edifici.

Requeriments d'il·luminació natural

Per tal de minimitzar la demanda energètica dels edificis, l'ús i l'aprofitament de la llum natural és una prioritat davant de qualsevol sistema d'il·luminació artificial. Aquest aprofitament està condicionat fonamentalment per la relació entre la superfície i la posició de l'obertura, així com per l'espai interior que cal il·luminar.

En aquest sentit, les obertures es poden classificar en:

- Forats sobre façanes:
 - Finestres.
 - Mur cortina.
- Forats sobre cobertes:
 - Claraboies (elements situats en un pla sensiblement horitzontal).
 - Lluernes (elements situats en un pla sensiblement vertical).

En tots els casos aquests elements han de garantir uns valors d'il·luminació interior (mesurats en luxs) determinats per l'ús que es realitzi a cada espai. A la vegada, han de gestionar possibles enlluernaments i altres efectes que puguin distorsionar l'activitat a l'interior de l'edifici. Per exemple, es consideren acceptables les relacions entre el pla de treball i els voltants immediats en la regla de distribució confort visual 1-3-10 (UNE-EN 12.462-1: 2003). Aquesta regla fa referència a la proporció de llum que cal tenir a les tres parts fonamentals d'un espai, de manera que el plànol de treball tingui la proporció 1; l'ambient, la proporció 3; i el plànol de façana, la proporció 10. És a dir, si tenim 500 luxs en el plànol de treball, en l'ambient no hauria d'haver-hi més de 1.500 luxs, i en el plànol de finestra, 5.000 luxs.

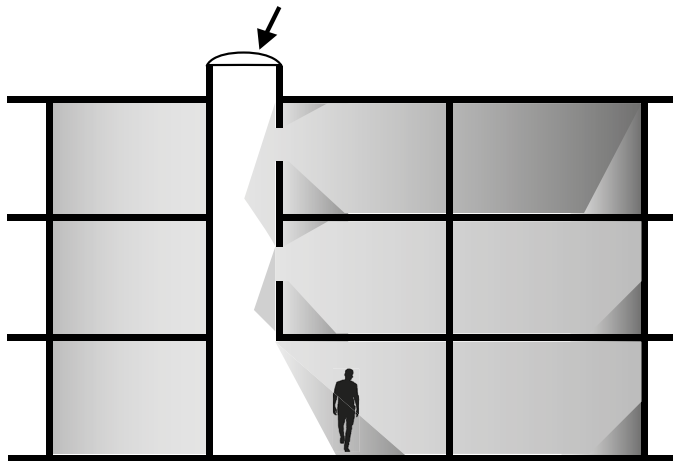


Figura 3.14.
Funcionament d'un
conducció solar.
Font: La fachada
dinàmica 3.0.
El primer control
energètic del edifici.
Somfy Espanya S.A.

En els casos en què existeixin espais en què no es pugui disposar d'una obertura, una solució eficient per disminuir la necessitat d'il·luminació artificial és la col·locació de conductes solars.

Els conductes solars són elements basats en la reflexió de la llum per portar-la cap a l'interior de l'edifici. Aquests elements disposen d'un captador solar (que cal situar a la teulada o a l'exterior) i d'un conducte transmissor adaptable fins al difusor interior (que cal instal·lar a la dependència o les dependències que es volen il·luminar).

Requeriments de gestió tèrmica a l'interior dels edificis

Per a una acurada descripció dels forats en funció del seu comportament tèrmic, s'estableix una doble classificació segons la posició del forat i segons els elements o materials que el componen.

- La posició del forat, per una banda, determina la seva relació amb la radiació solar incident i, per una altra banda, presenta petites variacions pel que fa al flux de transferència de calor si es disposa sobre un pla vertical (façana) o sobre un pla horitzontal (coberta).
- Els tipus d'elements que componen el tancament del forat determinen la transferència de calor que es produeixi a través seu. Els paràmetres es defineixen segons les propietats tèrmiques del material i el disseny específic de cada element.

A continuació es mostra una taula comparativa entre les transmitàncies tèrmiques límit que estableix el CTE 2013 i les transmitàncies que es pretén aconseguir en els edificis nZEB.

Taula 3.9. Resum transmitàncies obligatòries i recomanables per a les obertures.

	U (W/m²K)	CTE 2013*	CTE 2013**	CTE 2019***	CTE 2019****
Clima	B	4,2	1,8 – 2,3	2,3	2,0
	C	3,1	1,6 – 2,0	2,1	2,0
	D	2,7	1,6 – 1,8	1,8	1,6
	E	2,5	1,6 – 1,7	1,8	1,5

* Taula 2.3, Codi tècnic de l'edificació, document bàsic d'estalvi d'energia 1 (CTE DB-HE-1) de 2013, revisat el 2017, Transmissió tèrmica màxima d'obertures.

** CTE-2013, revisat el 2017, apèndix E, Valors orientatius dels paràmetres característics d'obertures amb captació solar mitjana per a usos residencials.

*** Taula 3.1.1.a del CTE DB-HE-1 de 2019. Valor límit (U_{lim}) de la transmissió tèrmica (U) de forats (conjunt de marc, vidre i, si escau, calaix de persiana) (U_n).

**** CTE-2019, annex E, Valors orientatius dels paràmetres característics de forats (conjunt de marc, vidre i, si escau, calaix de persiana) (U_n).

TIPOLOGIES SEGONS LA POSICIÓ DE L'OBERTURA

En relació amb el comportament tèrmic, la posició de les obertures determina fonamentalment la radiació solar que incideix en els espais interiors. Una correcta elecció de la tipologia d'obertures segons la posició permet minimitzar les demandes energètiques de climatització de l'interior dels edificis.

A continuació es classifiquen i es descriuen els diferents tipus d'obertura segons la seva posició.

- Finestres: obertures situades al pla de façana; reben una radiació solar incident molt diversa segons l'orientació de la façana en la qual se situïn (vegeu l'apartat 3.2), a la vegada que actua un flux tèrmic horitzontal a través de l'element.
- Murs cortina: façanes lleugeres amb acabat de vidre externes a l'edifici. Consten d'elements estructurals verticals i horitzontals connectats entre si i fixats a l'estructura de l'edifici.
- Lluernes: obertures situades al pla de coberta en un pla sensiblement vertical. El comportament tèrmic és equivalent al de les finestres pel que fa a la radiació solar incident i la transmissió de calor.
- Claraboies: obertures situades al pla de coberta en un pla sensiblement horitzontal. Des del punt de vista tèrmic, tenen una radiació solar incident important durant el període d'estiu (vegeu l'apartat 3.2), a la vegada que un flux tèrmic vertical actua a través de l'element.

Tant en el cas de les lluernes com en el de les claraboies cal tenir en compte que l'aire calent tendeix a situar-se a la part superior dels espais, fet que pot provocar que el salt tèrmic interior-exterior que pateixin aquests elements sigui més pronunciat en períodes freds que en el cas de les finestres. Aquest salt tèrmic pot afavorir l'aparició de condensacions a la superfície interior de l'obertura.

TIPOLOGIES SEGONS EL MATERIAL

Les obertures es poden classificar segons les característiques dels elements que les componen, amb independència de la seva posició dins de l'envolupant de l'edifici. Aquesta classificació es pot establir a partir del material de la fulla, del material del marc i de la tipologia d'obertura.

Materials de la fulla

Es considera que la fulla és la part de l'obertura subjecta pel marc i que ocupa la major part de l'obertura. La fulla pot ser de diversos materials i estar accionada de diferent forma segons la tipologia del marc que la subjecti.

A continuació es descriuen les propietats dels materials més habituals.

1) Vidres plans





Existeixen diferents tipologies de vidres plans: simples, dobles o triples. Els vidres simples tenen una transmitància tèrmica (U) de 5,8 W/m²K i no compleixen les exigències del CTE 2013. Per incrementar l'aïllament tèrmic dels vidres simples, es poden formar vidres dobles separats per una cambra d'aire estanca. En relació amb el gruix de la cambra obtindrem diversos valors de transmitància tèrmica. Un vidre triple, format per tres vidres i dues càmeres d'aire, redueix encara més la transmitància de la solució constructiva.

Per incrementar encara més l'aïllament tèrmic dels vidres amb cambra d'aire existeixen dues tecnologies:

- Els vidres de baixa emissivitat (de transmitància inferior). El vidre baix emissiu és un vidre doble al qual s'ha aplicat una capa de material metàl·lic que permet que bona part de la radiació solar d'ona curta travessi el material i reflecteixi la major part de la radiació de calor d'ona llarga, amb la qual cosa s'evita el sobreescalfament de l'espai interior.
- La disposició d'argó a l'interior de la cambra. Gràcies a les seves propietats físiques, l'argó redueix considerablement la transmitància del vidre.

A continuació es mostra un quadre resum de les característiques tèrmiques de vidres de diferents composicions.

Taula 3.10.
Característiques
tèrmiques de
vidres de diferents
composicions.
Font: Guia sobre
materials aïllants i
eficiència energètica,
FENERCOM 2012.

Tipologia	Vidre	Dimensió (mm)	Tipus de gas	Transmitància (U=W/m ² K)
Simple 	Sense tractament (e*=0,89)	6	-	5,7
Vidre Doble 	Sense tractament (e*=0,89)	4 / 6 / 4	Aire	3,3
	Baix emissiu (e*= 0,10)	4 / 6 / 4	Aire	2,6
	Baix emissiu (e*= 0,01)	4 / 6 / 4	Aire	2,4
Vidre Doble 	Sense tractament (e*=0,89)	4 / 16 / 4	Aire	2,7
	Baix emissiu (e*= 0,10)	4 / 16 / 4	Aire	1,5
	Baix emissiu (e*= 0,01)	4 / 16 / 4	Argó al 90%	1,0
Vidre Triple 	Baix emissiu (e= 0,01)	4 / 16 / 4 / 16 / 4	Argó al 90%	0,6

Independentment de la tipologia dels vidres (simple, doble o triple), es pot modificar el seu factor solar. Els vidres poden ser absorbents, reflectants o transparents, de manera que el valor del factor solar determina la quantitat d'energia que traspasa els plans vidrats per radiació. El factor solar és molt important per controlar les demandes de refrigeració dels edificis.

Recomanacions:

Per aconseguir unes transmitàncies que ajudin a construir edificis de baixa demanda energètica en la climatologia catalana es recomana utilitzar vidres dobles de baixa emissivitat, modificar el factor solar en funció de l'orientació i les condicions d'asolellament per a cada època de l'any, i utilitzar els elements adients de protecció solar.

2) Policarbonat cel·lular

La característica principal del policarbonat cel·lular és la seva gran lleugeresa. Una façana de vidre pesaria més de quinze vegades més que una façana amb un policarbonat cel·lular. Ara bé, aquest material no és d'ús habitual a les finestres, sinó que és més indicat per a façanes i claraboies.

La segona característica bàsica del policarbonat cel·lular és la seva translucidesa, és un material amb diversos graus de transparència que permet filtrar la llum i difondre-la de manera uniforme a l'interior de les estances il·luminades.

Pel que fa a l'energia, l'estructura de cel·les tancades que conforma el policarbonat cel·lular dota aquest material d'uns valors molt baixos de conductivitat tèrmica i permet així la formació d'envolupants que deixen passar la llum i que, simultàniament, són molt aïllants tèrmicament. Les plaques se subministren amb gruixos des de 4 mm fins a 50 mm i, amb estructures rectangulars, poden arribar a obtenir una transmitància (U) de 0,99 W/m²K.

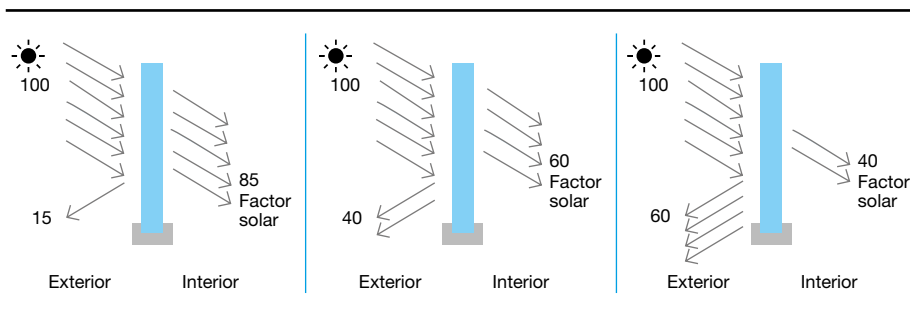


Figura 3.15. Influència del factor solar del vidre.

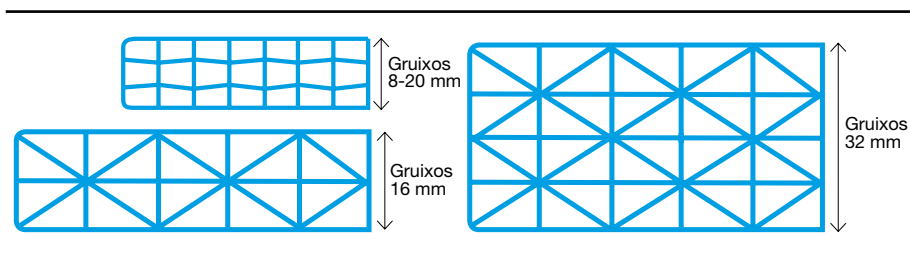


Figura 3.16. Policarbonat cel·lular.

3) Materials plàstics compactes

En el mercat existeixen diversos materials polímers amb prestacions de transparència o translucidesa que es poden disposar en la fulla d'una obertura (policarbonat compacte, metacrilat compacte...). Aquests materials, igual que el policarbonat cel·lular, no són habituals a les finestres; tenen un ús més indicat per a façanes i claraboies. Pel que fa a les implicacions en el camp de l'energia, aquests materials acostumen a tenir una conductivitat elevada (assimilable a la del vidre). Per això, es recomana la disposició de diverses capes de manera que es pugui crear una cambra d'aire que minimitzi la transmitància del sistema en conjunt.

4) Materials opacs

Tot i que no es tracta de les obertures més comunes, l'envolupant pot presentar obertures opaques, com ara portes d'accés, especejaments concrets de fusteries... En aquests casos, cal tenir en compte que no tindrem guanys solars a través d'aquesta obertura i que podem obtenir valors de transmitància tèrmica baixos a través de la selecció de materials de baixa conductivitat tèrmica (plafó sandvitx, fusta de baixa densitat...).

5) Innovacions referents als materials de la fulla

Tots aquests elements es poden presentar de forma simple o combinada per aconseguir prestacions tèrmiques i lumíniques altes.

La presència al mercat de productes aïllants translúcids (amb cel·les de cel·lulosa, minipartícules de fibra de vidre...) permet reforçar les condicions d'aïllament d'aquests paraments, sense anul·lar el pas de la llum. Es pot veure més informació al respecte als llocs web següents: <http://www.wacotech.de/> i <http://www.isoflex.se/moniflex>.

Les tècniques actuals de corbament i de tractament del vidre permeten dissenyar solucions especials que inclouen nanopartícules a la seva massa per potenciar-ne les prestacions tèrmiques i lumíniques.

Actualment, hi ha una tecnologia molt madura per integrar captadors solars (tant tèrmics com fotovoltaics) als elements transparents de les obertures (finestres, lluernes, murs cortina). Aquesta possibilitat amplia les capacitats de l'envolupant de l'edifici per gestionar i produir energia renovable.

Recomanacions:

La incorporació d'elements opacs practicables i de baixa transmitància tèrmica davant dels elements transparents pot reduir significativament la transmitància d'aquests últims durant els períodes de temps que ens interressi (per exemple, les nits d'hivern o els dies d'estiu). Aquests elements es poden disposar a l'exterior (porticons, persianes...) o a l'interior (porticons interiors, cortines gruixudes, cortines de baixa emissivitat...).

Figura 3.17. Porticó situat per l'exterior de fusta i cortina de tela gruixuda situada a l'interior.



Materials de la fusteria

Tot i la poca superfície que ocupen aquests elements en relació amb la totalitat de l'envolupant, la fusteria és un factor determinant en aquesta tipologia de tancaments. Les altes prestacions tèrmiques dels vidres han d'anar acompanyades de bones prestacions de les fusteries per tal de minimitzar pèrdues d'energia per transmissió i per infiltració.

Les fusteries poden ser de diferents materials, cadascun dels quals aporta uns avantatges i té uns inconvenients. A continuació, s'exposen els tres materials més comuns amb algunes de les seves característiques.

- **Fusta:** és un material natural i funciona bé com a aïllant tant tèrmic com acústic, però necessita manteniment.
- **Alumini:** dona una bona resposta davant del sol, la humitat, la pluja... A causa de la seva elevada conductivitat, cal incorporar elements de trencament del pont tèrmic per assolir els valors de transmitància tèrmica recomanats per a edificis nZEB. Tot i que l'alumini és un gran consumidor d'energia en la seva producció, avui dia aquest material té gran capacitat de ser processat i reciclat, fet que disminueix molt la seva energia embeguda (energia utilitzada durant el procés d'extracció de les matèries primeres, fabricació i transport dels materials).
- **PVC:** té una transmitància tèrmica baixa. És un material no conductor que, degudament perfilat, proporciona un nivell d'aïllament elevat. A més, és molt resistent i s'utilitza també en l'àmbit industrial i domèstic.



Figura 3.18. Seccions de finestres de fusta, alumini i PVC.

Transmitància tèrmica dels perfils	
Material del perfil	Transmitància tèrmica (W/m²K)
Fusta dura (densitat (ρ) = 700 kg/m³ i 6 cm de gruix)	2,2
Fusta tova (ρ = 500 kg/m³ i 6 cm de gruix)	2
Metàl·lic	5,7
Metàl·lic amb trencament de pont tèrmic (4 mm < d < 12 mm)	4
Metàl·lic amb trencament de pont tèrmic (> 12 mm)	3,2
PVC (perfil buit / 2 cambres)	2,2
PVC (perfil buit / 5 cambres)	0,9

Taula 3.11. Font: Elaboració pròpia a partir de la base de “dades de les solucions constructives del HULC” i de la “Guia tècnica de ventanas para la certificación energética de edificios (ASEFAVE)”.

- **Innovacions referents als materials de la fusteria:** actualment, el sector de les fusteries exteriors té en catàleg noves fusteries híbrides que combinen selectivament les prestacions més favorables de cadascun d'aquests materials i obtenen sistemes de molt alt rendiment. Existeixen, per exemple, les fusteries mixtes alumini-fusta.

Tipologia d'obertura

La possibilitat que un forat a l'envolupant d'un edifici sigui practicable o no i el tipus d'obertura que presenti (batent, corredissa, oscil·lobatent, oscil·loparal·lela...) són determinants a l'hora de definir l'estanquitat del forat i les infiltracions d'aire que es produeixin a través d'aquest. L'estanquitat depèn, doncs, de la tipologia del marc de la fusteria i cal garantir-ne uns valors mínims.

A continuació, es mostra una taula que determina el nivell d'estanquitat que les fusteries han d'assolir, en funció de la zona climàtica, per complir amb la normativa actual CTE 2019.

Permeabilitat (m³/h·m²)	Zona climàtica			
	B	C	D	E
CTE 2013	< 50	< 27	< 27	< 27
CTE 2019	< 27	< 9	< 9	< 9

Taula 3.12. Nivell d'estanquitat que les fusteries han d'assolir per complir amb la normativa actual CTE 2019.

* Valors de permeabilitat a 100 Pa i referits a la superfície total.

Simultàniament, les exigències actuals sobre renovació d'aire i qualitat de l'aire interior (CTE DB-HS-3) comporten que, en moltes ocasions, el marc de la fusteria esdevingui un punt d'aplicació de mecanismes i tecnologies descentralitzades per a la renovació d'aire. La possible distribució de reixetes, inductors, filtres, mecanismes

adiabàtics de dessecació, etcètera es presenta com un futur camp d'aplicació i compatibilitat en els sistemes de marcs per a les envoltants del futur, i esdevé un repte per garantir la ventilació i minimitzar les pèrdues energètiques.

3.3.3. Proteccions solars

Per a la construcció d'edificis nZEB és necessari incorporar mecanismes per garantir el control de la radiació solar en qualsevol època de l'any, però que minimitzin la interferència en el pas de la llum natural cap a l'interior de l'edifici.

Els sistemes de control i de protecció solar són tots aquells sistemes capaços de controlar i aprofitar de manera òptima l'entrada de la radiació solar i de la llum natural. A l'estiu es bloqueja la radiació solar per reduir el consum d'energia necessària per a la refrigeració i a l'hivern s'aprofita l'energia gratuïta del sol per estalviar en calefacció. El control solar és un factor essencial per al confort tèrmic i lumínic de l'edifici o habitatge.

Tal com s'ha enumerat en l'apartat 3.2, hi ha tres tipus de radiació solar:

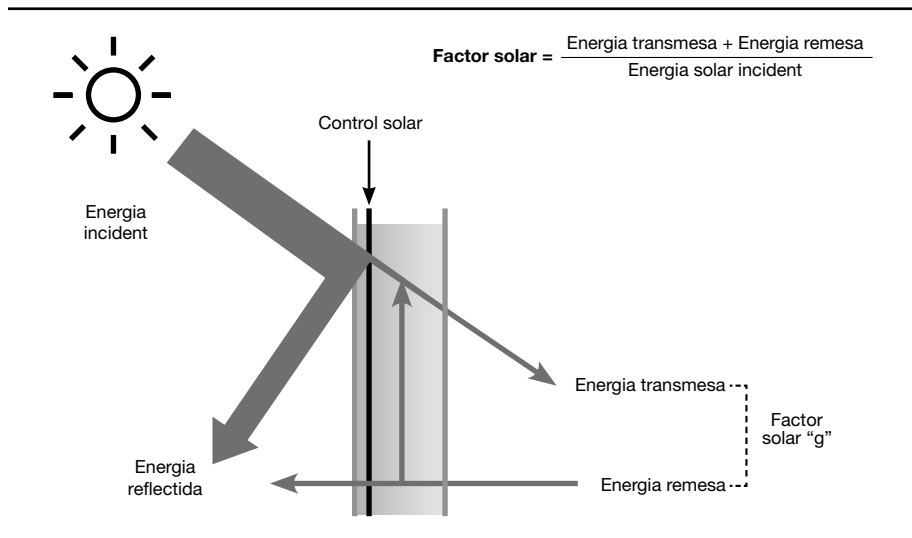
- directa,
- difusa o indirecta,
- reflectida.

La radiació solar directa o incident: incideix directament sobre la superfície. Depèn de l'orientació de les diverses superfícies exteriors, de la latitud i de la trajectòria del Sol.

La radiació solar difusa: prové de la radiació solar reflectida per les partícules contingudes a l'atmosfera. La quantitat de radiació solar difusa és més gran amb núvols (sobretot en climes humits) i més petita amb cels clars. La difusió sobre una superfície horitzontal sota un cel sense núvols està al voltant del 10% de la radiació directa.

La radiació solar reflectida: prové de la radiació directa i difusa reflectida per la superfície terrestre i depèn principalment dels tipus de superfície. La reflectància de la sorra varia del 10 al 40%, depenent de l'època de l'any i de la latitud.

Figura 3.19.
Comportament de la llum en trobar-se amb un vidre. Font: Somfy.



La radiació solar té una incidència notable en la transmissió lumínica (quantitat de llum natural que passa a través del vidre). Sovint el vidre requereix un control amb protecció solar externa o interna per poder garantir un factor solar i una transmissió lumínica òptims.

Les finestres poden controlar la radiació solar amb proteccions solars per optimitzar la quantitat de llum natural i captar l'energia gratuïta del sol a l'hivern. Els raigs del sol passen a través de les zones amb vidre directament cap a les sales interiors i s'acumulen en forma de calor a les parts sòlides de l'edifici. La protecció solar exterior té la funció de controlar l'excés de radiació solar, evitar l'enlluernament de les zones de treball i optimitzar la llum natural.

Una premissa bàsica és que, si no s'escalfa l'interior de l'edifici, no és necessari refredar-lo. Refredar una sala és tres vegades més costós que escalfar-la. Per tant, controlar la radiació solar és fonamental per estalviar energia i per evitar la radiació solar quan el factor solar és baix.

Els elements d'ombra són aquells objectes que interposem entre l'envolupant i l'exterior per modificar selectivament les condicions exteriors vers l'interior, especialment en relació amb paràmetres de radiació solar, però també en relació amb el vent, la humitat, les vistes i altres.

Els elements d'ombra, per tant, són tots aquells sistemes capaços de controlar i optimitzar l'entrada de la radiació solar i la il·luminació natural als edificis. Les solucions han de ser integrals i s'ha de complementar els elements d'ombra amb el vidre i la fusteria. El control i la protecció solar estan integrats a la façana amb l'arquitectura de l'edifici i s'adapten a la climatologia i a l'entorn urbanístic de la zona. També s'haurien d'integrar amb la resta de sistemes d'il·luminació, climatització, etcètera per aconseguir un sistema integral de gestió a l'edifici.

Assumint que els elements d'ombra poden ser molt diversos pel que fa als seus sistemes i materials, es presenta una classificació segons la morfologia de la protecció solar:

- Lames i gelosies,
- Membranes,
- Proteccions vegetals.

Lames i gelosies: sistemes mixtos o mecanismes mòbils disposats davant de l'obertura per redirigir o neutralitzar la radiació solar incident, amb la qual cosa es potencia o mitiga l'efecte de sobreescalfament a l'interior.

En les proteccions solars exteriors el color té una importància fonamental per a l'estalvi energètic i per al control tèrmic i lumínic de l'edifici. En el cas de protecció solar mitjançant lama d'alumini, els colors preferibles són els clars i metàl·lics per millorar la reflexió de la radiació solar i evitar l'entrada de la calor dins de l'edifici.

Cal estudiar detalladament la inclinació del raig de sol incident al llarg de tot l'any a fi de conèixer l'eficàcia del filtre davant de l'obertura.

A continuació, es descriuen les solucions més habituals i s'especifica la màscara solar que generen (ombra sobre el recorregut solar expressat en la seva projecció polar, com es pot veure en l'apartat 3.2) i les seves característiques principals.

Taula 3.13. Tipus i característiques de lames horitzontals.
 Font: Condicionament natural - Assignatura de Condicionament i Serveis II ETSAV, UPC 1997.

Lames horitzontals			
Vista	Secció	Màscara	Característiques
			Les proteccions horitzontals són el dispositiu més eficient per a orientacions a sud o la vora del sud. L'apantallament que produeixen és un segment circular.
			Les lames horitzontals paral·leles a la façana tenen l'avantatge de permetre la circulació de l'aire a la vora d'aquesta. Les lames horitzontals inclinades donen millors protecció que si estan plegades verticalment.
			Els tendals tindran les mateixes característiques que les proteccions massives, però poden ser enrotllables.
			Quan es requereix protecció solar per a angles baixos, les lames penjades d'un voladís massís són eficients.
			Una pantalla rectangular opaca o perforada i paral·lela al pla de façana, retalla els rajos de sol baixos.
			Les lames horitzontals mòbils, donen un apantallament variable en funció de la seva posició.

Taula 3.14. Tipus i característiques de lames verticals.
 Font: Condicionament natural - Assignatura de Condicionament i Serveis II ETSAV, UPC 1997.

Lames verticals			
Vista	Secció	Màscara	Característiques
			Les proteccions verticals funcionen bé a est i oest, per a orientacions properes. L'apantallament que produeixen és un sector circular.
			Les proteccions verticals obliqües donen apantallaments asimètrics. Separant-les de la façana s'evita la transmissió de calor.
			Les lames verticals mòbils poden ombrejar la tonalitat de la façana o bé obrir-se en diferents direccions segons la posició del sol.

Taula 3.15. Tipus i característiques de lames en gelosia.
 Font: Condicionament natural - Assignatura de Condicionament i Serveis II ETSAV, UPC 1997.

Lames en gelosia			
Vista	Secció	Màscara	Característiques
			Les proteccions tipus "en gelosia" són combinacions de les de tipus horitzontals i vertical, i el seu apantallament és també una superposició dels dos.
			Les proteccions tipus "en gelosia" amb elements verticals fixes oblics donen apantallaments asimètrics.
			Les proteccions tipus "en gelosia" amb elements horitzontals mòbils donen uns apantallaments flexibles. Degut al seu alt grau d'ombrejat les caixes d'ous són eficients als climes calorosos.

Les membranes: són superfícies contínues (de material natural o sintètic) que tensades sobre una subestructura portant i de forma contínua conformen un filtre enfront de la radiació solar.

Segons les prestacions del sistema podem disposar de tendals, que protegeixen de la radiació solar i la pluja sense tancar l'edifici, o d'envolupants que envolten un espai interior diferenciat a partir de la combinació complementària de diferents capes.

En el cas de les membranes, el color recomanable per a l'exterior és el color fosc, ja que el material tèxtil de color fosc absorbeix el 96% de la radiació solar mentre que el de color blanc bloqueja només el 79% de la radiació solar. En el cas del color blanc amb radiació solar directa, hi ha un efecte de pantalla que amplifica la lluminositat i afavoreix l'enlluernament a l'interior de la sala.

Les proteccions vegetals: són aquelles que utilitzen els elements naturals de l'entorn, com ara plantes o arbres, per controlar la radiació solar incident en la nostra façana.

Podem utilitzar elements vegetals de fulla perenne, que equivalen a una protecció fixa, o de fulla caduca, que equivalen a una protecció «mòbil» i donen ombreig durant l'estiu i deixen passar la llum i la calor a l'hivern. Fer passar un corrent d'aire a través d'un tram vegetal també pot permetre cert control tèrmic, gràcies a l'evaporació i la transpiració de la planta.

Els elements de protecció solar es poden classificar també segons el tipus de control. En aquest sentit, trobem tres tipus de proteccions: fixes, mòbils i orientables.

Els ràfecs, sortints i voladissos són proteccions solars fixes que funcionen bé a l'estiu. Però a l'hivern es necessita més llum natural interior i les proteccions solars fixes penalitzen l'entrada de llum natural. En canvi, el control automàtic permet controlar la radiació solar en cada moment i prioritzar l'entrada de llum natural amb un factor solar constant tot l'any (365 dies) d'entre 0,1 i 0,2. És a dir, les proteccions solar mòbils donen el factor solar més petit possible a cada moment de l'any.

Les proteccions solars mòbils poden tenir les següents configuracions: verticals, horitzontals i extensibles respecte de la façana.

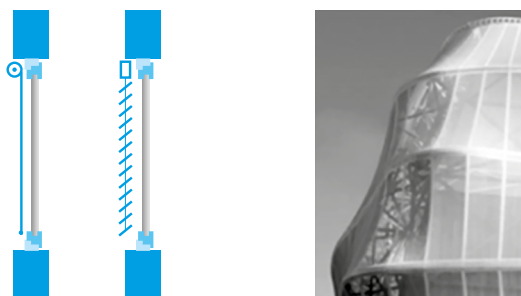


Figura 3.20. Tendal vertical, persiana exterior i membrana.

Figura 3.21.
Proteccions vegetals.

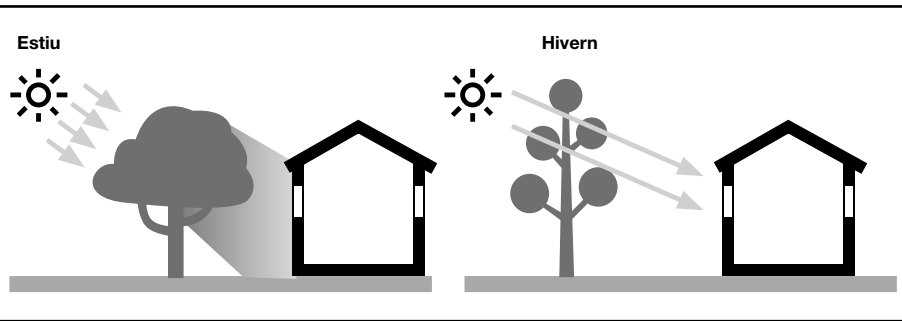
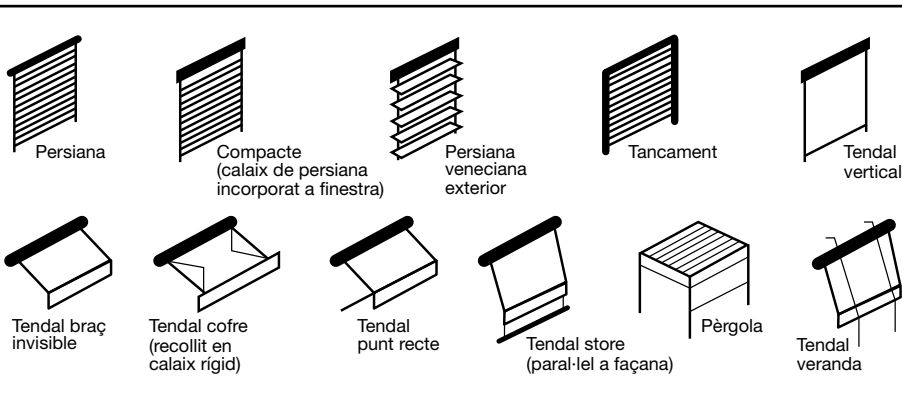


Figura 3.22. Diferents tipus de proteccions solars. Font: Somfy.



A més, els sistemes de control solar mòbils poden ser manuals o automàtics. Els sistemes automàtics permeten assolir nivells d'eficiència energètica superiors i, per tant, són més adients per complir les exigències d'un edifici nZEB. L'automatització dels sistemes de protecció solar permet optimitzar el factor solar per millorar el confort interior, el confort visual, l'estalvi d'energia i l'ús de la llum natural solar.

Les proteccions solars mòbils poden ser de materials i acabats diferents per donar resposta a cadascuna de les necessitats de les persones usuàries. El factor solar varia segons els tipus de material, la posició respecte de la façana i el color.

Les imatges següents expliquen dues estratègies diferents de control solar automàtic:

- Un sistema de protecció solar exterior, amb una solució efectiva que evita l'entrada de calor bloquejant la radiació solar abans que arribi al vidre o a la fusteria de la finestra.
- Un sistema de protecció solar interior, de menor eficiència energètica, que també limita l'absorció de calor i reflecteix els raigs solars.

Els sistemes mòbils automàtics posicionen les proteccions solars de manera òptima i s'adapten a les necessitats de les persones usuàries, ja que l'aportació solar amb control automàtic pot ser regulada a cada instant.

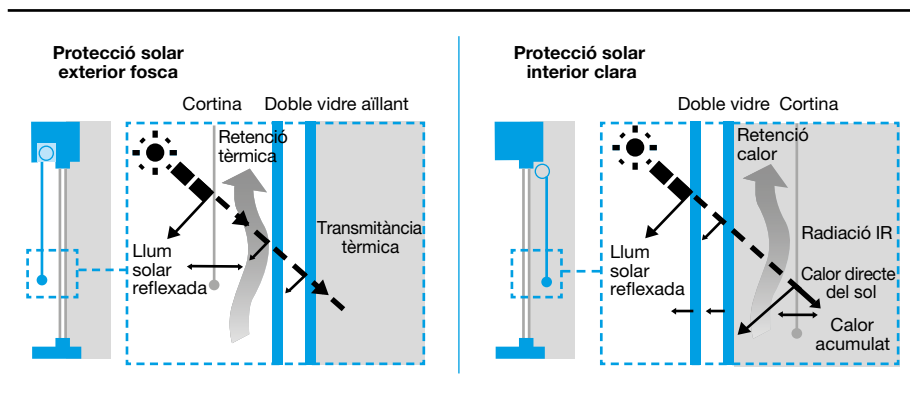


Figura 3.23. Dues estratègies diferents de control solar automàtic.

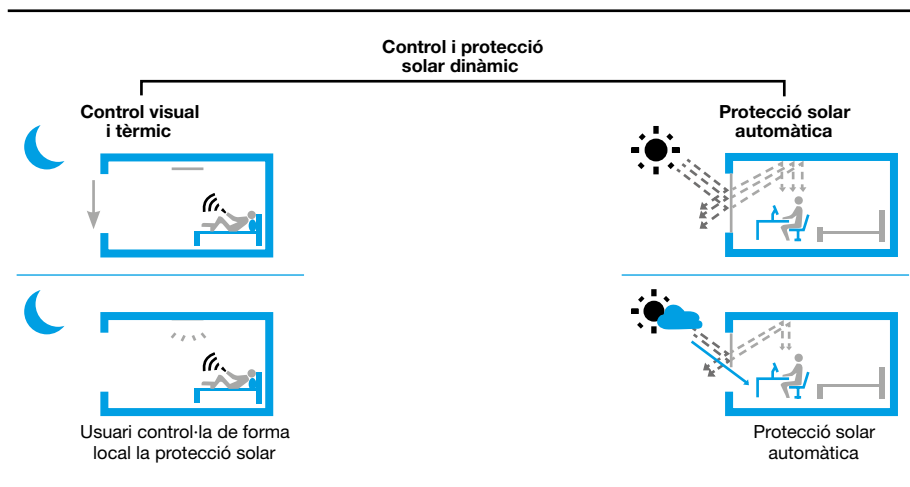


Figura 3.24. Sistema de control solar automàtic. Font: Somfy.

El control automàtic de les proteccions solars està format per tres elements:

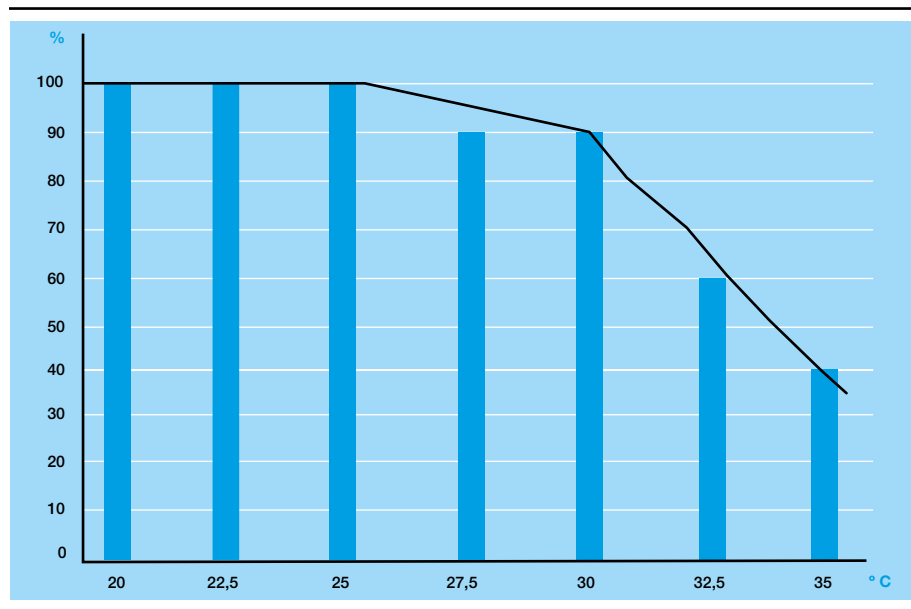
- **Motors:** equips elèctrics que proporcionen el moviment a les proteccions solars. Habitualment van inserits dins del tub o eix d'enrotllament de la persiana o cortina i, per tant, la seva instal·lació no implica cap alteració estètica del forat.
- **Sensors:** dispositiu que «llegeix» les condicions ambientals, com la intensitat de llum, la temperatura, etc., perquè les proteccions solars actuïn en conseqüència segons la programació prefixada. El seu ús és més eficient per a sistemes de protecció solar exteriors, però es poden aplicar també a les cortines interiors.
- **Comandament a distància:** permet gestionar una instal·lació des de la llunyania.

Beneficis dels sistemes de control per als edificis nZEB

Pel que fa a la productivitat, la Danish Technical University indica que comença a baixar a partir dels 25 °C i, passats els 32 °C, baixa fins a un 50%. Per tant, els edificis s'haurien de mantenir a una temperatura d'entre 21 i 26 °C, en què hi ha el confort tèrmic més gran, que coincideix amb el que estableix el Reglament d'instal·lacions tèrmiques als edificis (RITE) i amb la màxima productivitat de les persones.

També la llum natural és un factor que incrementa la productivitat i la sensació de benestar. Aconseguir un bon confort lumínic amb una lluminositat òptima és fonamental per poder treballar o descansar. Cada ús requereix diferent lluminositat en el pla o la taula de treball, 150 luxs és el mínim i 2.000 luxs és el màxim (per a determinats usos com en el cas d'un quiròfan). El valor òptim ha d'estar entre aquests dos valors, en funció de l'ús de l'edifici i de les necessitats de les persones usuàries. Cal considerar també que, depenent de l'hora del dia, poden variar les necessitats i, per tant, s'ha de poder ajustar la lluminositat a les necessitats, programades prèviament per les persones usuàries, sigui de manera automàtica o, com a mínim, manualment. De tota manera, encara que es disposi d'una programació de l'enllumenat, les persones usuàries han de poder ajustar els nivells lumínics a les seves necessitats, que poden variar durant les diferents hores del dia.

Gràfic 3.2. Relació entre la productivitat i la temperatura interior segons la Danish Technical University.



Els ulls de l'observador no perceben la llum que incideix sobre una superfície, sinó la llum que està reflectida en la seva direcció. Aquesta mesura és coneguda amb el nom de *luminància*. Una bona il·luminació no és suficient per assegurar el confort visual; cal, a més, mantenir un equilibri entre la luminància de l'objecte i de les diferents superfícies incloses dins del camp visual. En conseqüència s'hauria d'evitar:

- Luminàncies massa elevades, atès que produeixen enlluernament.
- Contrastos de luminància massa alts, ja que causen fatiga ocular per la readaptació constant dels ulls.
- Luminàncies massa baixes, ja que produeixen un ambient de treball monòton gens estimulant.

3.3.4. Reducció de ponts tèrmics

Per poder construir un edifici considerat de consum d'energia gairebé zero (nZEB), juntament amb la correcta elecció dels elements de l'envolupant, és clau eliminar o

minimitzar els possibles ponts tèrmics de l'edifici. Un pont tèrmic és una zona de l'envolupant tèrmica de l'edifici en la qual s'evidencia una variació de la uniformitat de la construcció, que comporta una minoració de la resistència tèrmica respecte a la resta del tancament. L'existència de ponts tèrmics implica un augment de la demanda de calefacció i el risc de formació de floridures per condensacions superficials.

Els tipus de ponts tèrmics són els següents:

- a) Ponts tèrmics integrats en els tancaments (pilars, contorn buits, caixes de persiana...).
- b) Ponts tèrmics formats per trobada de tancaments (forjat amb façana, façana i coberta, coberta i ampit, façanes amb terreny, llosa o mur enterrat).
- c) Cantonades o trobades de façanes (entrants o sortints).
- d) Trobades de volades amb façanes.
- e) Trobades d'envans interiors amb tancaments exteriors.

En el Codi tècnic de l'edificació 2019, els ponts tèrmics prenen especial importància, perquè intervenen en la definició del coeficient global de transmissió de calor (K). Aquest coeficient es calcula segons la superfície i transmitància de les parts massisses i les obertures, i les longituds i transmitàncies lineals dels ponts tèrmics de l'envolupant tèrmica en contacte amb l'exterior i en contacte amb el terreny. Cal identificar els ponts tèrmics importants atès que poden afectar significativament el funcionament tèrmic de l'edifici. Els ponts tèrmics s'han de localitzar observant els plànols de l'edifici, utilitzant les tipologies d'edifici proporcionades a escala nacional o mitjançant termografia infraroja d'acord amb la norma EN 13187. El creixement de fongs en superfícies internes pot indicar la presència de ponts tèrmics. La transmitància tèrmica dels ponts lineals i puntuals s'avalua en conseqüència, segons el càlcul de la norma EN ISO 6946:2021, utilitzant un programa d'ordinador adequat o taules de valors per defecte de la norma UNE-EN ISO 14683:2017, Ponts tèrmics en l'edificació. Transmitància tèrmica lineal. Mètodes simplificats i valors per defecte.

Així mateix, es pot consultar el document de suport al document bàsic DA DB-HE-3, Ponts tèrmics, del Codi tècnic de l'edificació. Aquest document conté un atlas de ponts tèrmics amb el detall constructiu de cada pont tèrmic i la seva transmitància lineal. S'indica la transmitància tèrmica lineal quan existeix el pont tèrmic i també quan està resolt, amb la continuïtat de l'aïllament tèrmic. La transmitància tèrmica lineal que cal considerar a Espanya és la interior (Ψ_i), perquè les mesures de l'edifici es prenen des de l'interior d'aquest.

Per exemple, s'indica la transmitància lineal dels brancals amb continuïtat entre l'aïllament de façana i la fusteria:

Continuïtat entre aïllament de façana i fusteria

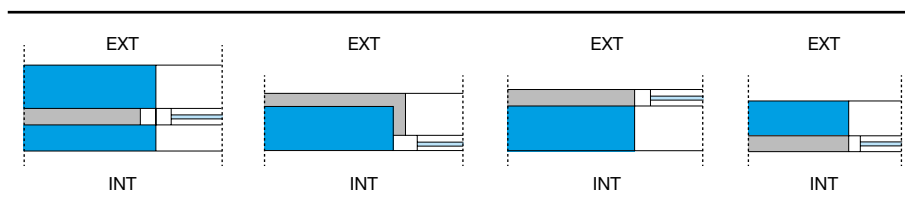


Figura 3.25. Detalls de seccions de mur en què l'aïllament arriba al pla de la fusteria.

Transmitància tèrmica lineal

Atès que es manté la continuïtat entre tots dos elements, l'efecte de pont tèrmic és molt baix i, per tant, més petit com més baixa és la transmitància tèrmica del mur i la fusteria del buit.

Taula 3.16. Transmitància tèrmica lineal del pont tèrmic entre façana i fusteria.

		Ψ_e [W/mK]					Ψ_f [W/mK]				
		U_{marco} [W/m²K]					U_{marco} [W/m²K]				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8	5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
U_{marco} [W/m²K]	0,73	0,31	0,12	0,08	0,05	0,04	0,38	0,17	0,12	0,07	0,05
	0,44	0,34	0,11	0,06	0,02	0,01	0,42	0,16	0,10	0,05	0,03
	0,31	0,14	0,05	0,03	0,01	0,01	0,22	0,11	0,07	0,04	0,03
	0,27	0,12	0,05	0,03	0,01	0,01	0,20	0,10	0,07	0,04	0,03
	0,24	0,12	0,05	0,03	0,01	0,01	0,20	0,10	0,07	0,04	0,03

En cas que el disseny arquitectònic no pari especial atenció a aquests elements, sovint es poden produir ponts tèrmics en la trobada dels forjats amb la façana, de la façana amb la coberta, dels pilars amb la façana, al contorn dels buits... És important remarcar que en edificis amb una envoltant fortament aïllada, en què es minimitzen els intercanvis de calor a través de la pell, la resolució correcta del pont tèrmic pren especial importància.

Avantatges de la reducció dels ponts tèrmics:

- És una mesura econòmicament poc costosa en relació amb la seva efectivitat real.
- Contribueix a la durabilitat dels materials, en evitar l'aparició de condensacions a l'interior dels edificis.

Les tècniques de control dels ponts tèrmics són essencials per garantir la qualitat de la construcció. L'objectiu és aconseguir sistemes constructius lliures de ponts tèrmics. En el cas de renovacions d'edificis hi ha unes taules amb valors per defecte de les transmitàncies dels ponts tèrmics segons la tipologia constructiva del tancament, el període normatiu de construcció i la col·locació de l'aïllament en cas que en tingui.

Taula 3.17. Valors per defecte de les transmitàncies dels ponts tèrmics. Font: IDAE, *Manual de fundamentos tècnics de calificació energètica de edificis existents CE3 X*, gener 2015.

	Abans de 1981	A partir de 1981 (NBE CT-79 i CTE)	A partir de 2008 (CTE)
Pilar integrat en façana	1,05		1,05
Pilar en cantonada	0,78		0,54
Contorn d'obertures	0,55		0,17
Caixa de persiana	1,49		0,39
Façana amb forjat	1,58		1,31
Façana amb coberta plana	0,49	1,04	0,82
Façana amb terra en contacte amb l'aire	0,37	0,97	0,66
Façana amb solera	0,14		0,14

3.3.5. Estanquitat i hermeticitat dels tancaments

Una de les funcions necessàries que han de complir les solucions constructives descrites anteriorment és evitar el pas incontrolat d'aire i les possibles infiltracions

d'aigua en cas de pluges acompanyades de vent. A més, una fuga d'aire humit de l'interior de l'edifici cap a l'exterior que travessi l'aïllament pot provocar condensacions que malmetin el material i produeixin l'aparició de floridures i microorganismes que generen problemes estructurals i de salubritat.

L'estanquitat és un element clau per aconseguir consums baixos per a climatització a qualsevol edifici i és tan important com disposar d'un bon aïllament tèrmic. Per aconseguir una bona estanquitat a l'aire, cal crear una envolupant ininterrompuda que sigui estanca al seu pas. Les dues propietats, estanquitat i hermeticitat, són importants per a l'envolupant d'un edifici i s'han d'assolir de manera independent. Per exemple, l'envolupant d'un avió és estanca a l'aire però no està gens aïllada; en canvi, un jersei de llana aconsegueix un bon aïllament tèrmic sempre que no hi hagi una exposició al vent, atès que no és estanc.

És important no confondre la permeabilitat a l'aire amb la difusió al vapor d'aigua. Els materials estancs han de ser hermètics però a la vegada transpirables, és a dir, evitar el pas d'aire però permetre el pas del vapor d'aigua de forma controlada.

La pell de l'edifici s'ha de poder dibuixar sense interrupcions. És «la regla del llapis», segons el principi per al disseny de l'estanquitat a l'aire. Així es troben tots els punts conflictius des de la fase de projecte. La identificació prèvia i el tractament d'aquests punts és decisiva per a una correcta execució de l'obra que garanteixi l'hermeticitat.

El Codi tècnic de l'edificació de 2013 limitava només la permeabilitat de les obertures. Aquest paràmetre es fa més restrictiu al CTE 2019 i alhora s'introdueix per primera vegada un valor límit de relació de canvi d'aire amb una pressió de 50 Pa. La verificació d'aquest paràmetre es pot fer mitjançant una opció simplificada i també mitjançant assaig realitzat segons el mètode B de la norma UNE-EN 13829: 2002, Determinació de l'estanquitat a l'aire en edificis. Mètode de pressurització per mitjà de ventilador.

La prova de la porta bufadora (*blower door test*) s'utilitza per dur a terme mesuraments d'estanquitat des de 1989. Consisteix a crear una diferència de pressió entre l'interior i l'exterior a través d'un ventilador col·locat a la porta principal. Com a exemple, per complir l'estàndard de casa passiva (*passivhaus*), el resultat ha de ser inferior a 0,6 renovacions d'aire per hora.

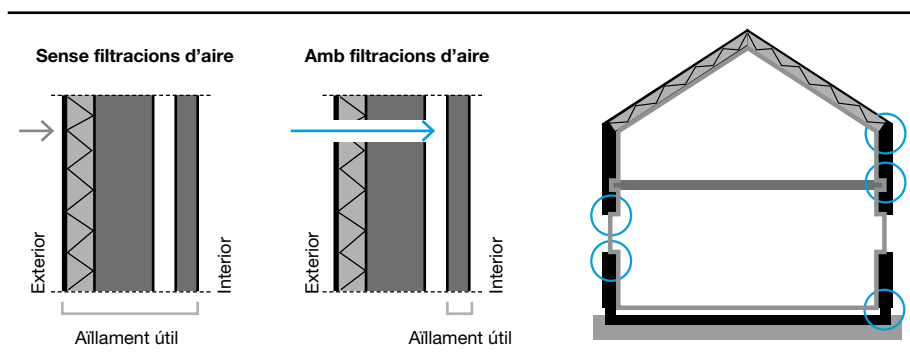


Figura 3.26. Infiltracions a l'edifici. Detall de façana i punts de l'envolupant tèrmica on es donen més infiltracions. Font: Agenda de la construcció sostenible.

3.4. Solucions bioclimàtiques

Malgrat que per a l'execució d'un edifici nZEB és necessari provar totes les solucions arquitectòniques per garantir la seva adequació òptima als requeriments específics de cada projecte, a continuació es presenten una sèrie de solucions arquitectòniques

que, segons les condicions climàtiques de Catalunya, acostumen a aportar un bon comportament energètic als edificis.

S'anomenen *mecanismes bioclimàtics* i es defineixen com aquelles solucions que, de forma passiva i juntament amb l'adequada combinació de disseny geomètric i d'elecció de materials, redueixen significativament la demanda energètica de l'edifici. Sovint aquests mecanismes requereixen una mínima gestió per a la correcta adaptació segons les condicions ambientals exteriors.

Es pot consultar el document específic desenvolupat des de l'Institut Català d'Energia sobre les característiques de les solucions bioclimàtiques i com es poden simular en els programes de certificació energètica.

Tot seguit es descriuen alguns d'aquests mecanismes, classificats segons l'edificació i el comportament energètic a l'edifici.

CALEFACCIÓ

Diversos mecanismes i estratègies bioclimàtiques per reduir el consum energètic per a calefacció aprofiten l'efecte d'hivernacle. Aplicat a l'arquitectura, l'efecte d'hivernacle és l'efecte produït per la radiació solar que, en travessar un vidre o un altre material translúcid, escalfa els elements interiors. Aquests emeten radiació infraroja, amb una longitud d'ona major que la solar, que els impedeix poder travessar els vidres de nou i produeix l'escalfament.

Tal com s'ha descrit en els apartats anteriors, la incidència solar és diferent segons l'època de l'any i, per aquesta raó, la disposició dels sistemes dins de l'envolupant dels edificis i el seu disseny han de complir requeriments específics per maximitzar els guanys solars en èpoques amb demanda de calefacció i minimitzar-los en períodes amb demanda de refrigeració.

A continuació es mostren tres mecanismes bioclimàtics que aprofiten aquest efecte d'hivernacle als edificis.

1) Mur Trombe

El mur Trombe, també conegut com a *mur Trombe-Michel*, és un element constructiu que permet regular el pas del flux de calor a través de la façana o el tancament de l'edifici.

Es tracta d'un mur situat en una façana sud i constituït de tres capes:

1. Capa interior amb elevada inèrcia tèrmica (molta massa), de color fosc en la seva cara exterior i amb obertures practicables a la part inferior i superior.
2. Capa intermèdia formada per una cambra d'aire.
3. Tancament de vidre transparent de baixa transmissió tèrmica i amb obertures practicables a la seva part inferior i superior.

El mur també ha d'incorporar una protecció solar òptima per garantir els guanys solars a l'hivern i evitar-los a l'estiu.

El mur treballa bàsicament absorbint la radiació solar per la cara exterior i transferint aquesta calor a través de la paret per conducció. Disposa d'orificis de ventilació a la paret per a una millor distribució de la calor per convecció a l'interior de l'habitació. El mur actua de forma diferent segons si és període d'estiu o d'hivern, o si és de dia o de nit, tal com il·lustren les figures següents.

Funcionament del mur Trombe a les diferents èpoques de l'any

A l'hivern, la part transparent del mur queda totalment tancada i hi incideix la radiació solar. Durant el dia, la calor acumulada a la cambra d'aire es desplaça cap a

l'interior dels espais i durant la nit s'utilitza la calor acumulada al parament opac, que esdevé una superfície radiant calenta cap a l'interior de l'espai a climatitzar.

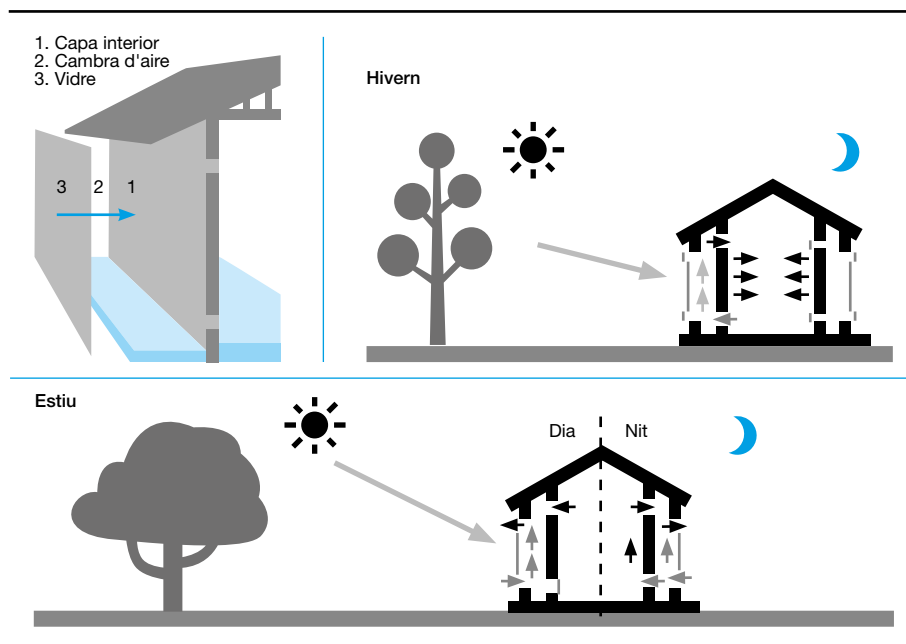


Figura 3.27. Mur Trombe-Michel. El mur actua de forma diferent segons si és període d'estiu o d'hivern.

En canvi, a l'estiu, el mur queda protegit de la radiació solar i ventilat, a la vegada que les obertures a la part opaca del mur serveixen per evacuar la calor interior dels espais durant el dia i afavorir la refrigeració natural, gratuïta (*free cooling*), durant la nit.

Un dels inconvenients de la col·locació de murs Trombe és que el seu correcte funcionament requereix un alt manteniment durant tota la seva vida útil.

2) Galeries

Són espais habitables annexos als edificis en què els tancaments verticals són fonamentalment de vidre i, per tant, capten molta energia solar.

Les galeries es caracteritzen perquè no solen tenir més de 2 m de profunditat, i la incidència dels raigs, un cop travessat el vidre, és principalment al mur de l'edifici. Tradicionalment s'han fet servir en blocs de pisos, conformant façanes senceres, encara que siguin independents entre elles. El funcionament tèrmic de les galeries es basa en l'efecte d'hivernacle.

En climes temperats i situades a les façanes sud, a l'hivern capten molta energia, que incideix sobretot al mur de separació amb l'edifici, cosa que fa que el comportament de les galeries s'assembli al dels murs Trombe, en funció de si es transporta la calor cap a l'interior de l'edifici amb sistemes de convecció (natural o amb ventiladors) o no.

En climes freds es fan servir també en qualsevol orientació, com a espais tampó o de protecció entre l'interior i l'exterior. Durant l'estiu poden captar molta radiació depenent de la seva orientació, per la qual cosa, tot i que la coberta de la galeria fa de ràfec i protegeix la façana de l'edifici, requereixen una perfecta ventilació i protecció solar mitjançant fusteries practicables i proteccions exteriors que detinguin el sol directe però que permetin la ventilació.

3) Optimització de la façana sud

El correcte disseny de la façana sud, amb una façana captadora de calor durant l'hivern, pot garantir uns guanys solars importants i és una solució senzilla i de baix cost d'inversió i de manteniment. Aquesta façana ha de garantir la protecció en tot moment quan els guanys tèrmics no siguin desitjats i alhora permetre una fàcil gestió i adequació tant de dia i de nit com a l'estiu i a l'hivern. A més, la utilització de l'estructura de l'edifici com a element acumulador de calor pot donar al conjunt un valor d'inèrcia interessant per gestionar els guanys tèrmics.

A continuació es mostren tres sistemes bioclimàtics que potencien la ventilació natural dins dels edificis. Cada una de les estratègies es pot utilitzar per separat o en conjunt, fent combinacions entre elles.

1. Efecte Venturi (torres de vent)

L'aire calent tendeix a pujar, per tant, col·locant «tirs de ventilació» (és a dir, obertures a les parts altes de la casa) s'aconsegueix que l'aire calent surti i que entri aire fresc a les parts baixes de la casa.

L'efecte Venturi es realitza mitjançant una ventilació creuada a la part superior de l'edifici. En pressionar el vent sobre els buits, es produeix una succió de l'aire interior per la diferència de pressions entre l'interior i l'exterior. Per tant, aquest efecte potencia la ventilació de l'interior de l'espai.

2. Efecte de xemeneia solar

Aquest sistema es fa servir a zones càlides i assolellades per augmentar de forma natural el tiratge tèrmic de xemeneies o conductes de ventilació.

Es procura que la part que sobresurt per damunt de la coberta s'escalfi amb el sol, amb un acabat de color fosc i recobrint exteriorment la tramada exterior de la xemeneia amb una caixa de vidre per fomentar l'efecte d'hivernacle. L'efecte d'hivernacle a la xemeneia activa el tiratge: en escalfar-se l'aire de dins de la xemeneia, aquest tendeix a pujar i, en conseqüència, s'extreu l'aire de dins l'edifici.

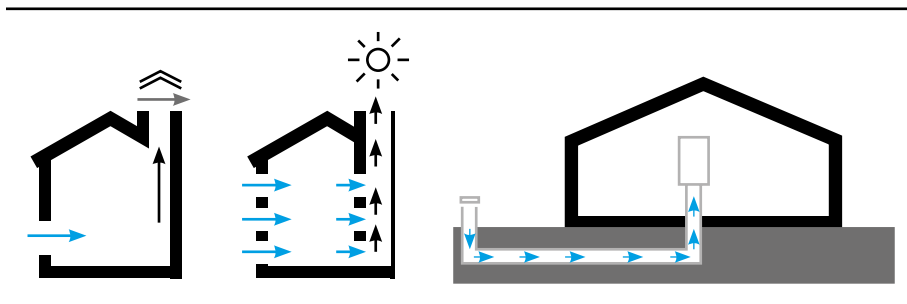
Com qualsevol altre sistema de ventilació passiva, cal dotar-lo de «barrets» de protecció que aprofitin l'efecte Venturi.

En el cas de les torres de vent, si l'aire de renovació que penetra a l'edifici es fa passar per llocs frescos, com ara soterranis o pous d'aigua, la seva efectivitat com a sistema de refrigeració augmenta.

3. Pous canadencs

Es tracta d'un sistema bioclimàtic que aprofita el fet que la temperatura del terreny a dos o tres metres sota terra es manté constant a 16 °C pràcticament durant tot l'any. La temperatura constant fa que tant en períodes d'estiu com en períodes d'hivern la temperatura d'intercanvi entre el terreny i l'interior de l'espai a climatitzar sigui més favorable que entre l'espai exterior i l'espai a climatitzar.

Figura 3.28. Efecte venturi. Efecte xemeneia. Pous canadencs.



El pou canadenc es materialitza mitjançant una sèrie de tubs, soterrats a la profunditat desitjada, que recorren una determinada quantitat de metres per sota terra i pels quals circula aire. Aquest sistema actua com a bescanviador de calor entre l'aire que circula (provinent de l'exterior) i el terreny que l'envolta, i introdueix a l'interior de l'espai habitable aire exterior a una temperatura més propera a la temperatura de confort.

REFRIGERACIÓ PER EVAPORACIÓ

La refrigeració per evaporació és un procés que es fonamenta en l'absorció de calor que requereix un fluid per passar de líquid a gas (calor latent). En climes càlids i secs, es poden dissenyar sistemes que afavoreixin l'evaporació de l'aigua i, per tant, una disminució de la temperatura de l'aire que l'envolta. A continuació es descriuen tres sistemes de refrigeració per evaporació.

1) Sistemes de refrigeració per evaporació per làmina d'aigua

Aquest tipus de refrigeració natural es pot aconseguir mitjançant una làmina d'aigua exterior prèvia a l'entrada d'aire a l'interior de l'edifici. Requereix una superfície prou gran per garantir l'evaporació de l'aigua.

2) Sistemes de refrigeració per evaporació a través de la vegetació

El contingut d'aigua de la vegetació i el seu efecte d'evapotranspiració propicia el refredament de l'aire que circula a través dels elements vegetals.

3) Sistemes de refrigeració per evaporació de partícules d'aigua

Aquest sistema disposa d'uns humidificadors (microaspersors o nebulitzadors) que donen humitat a l'aire sec que arriba a l'edifici, amb la finalitat d'assolir un millor confort.

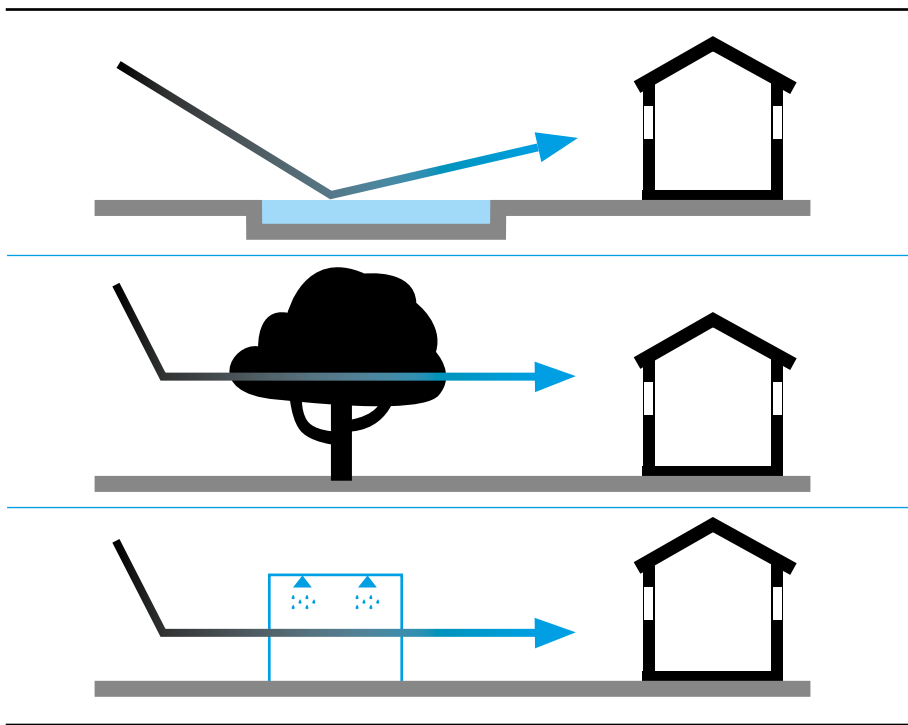


Figura 3.29. (Primera imatge) sistema de refrigeració per evaporació per làmina d'aigua. (Segona imatge) sistemes de refrigeració per evaporació a través de la vegetació. (Tercera imatge) sistemes de refrigeració per evaporació de partícules d'aigua.



4. Estratègies en les mesures actives per a la disminució del consum energètic mitjançant gestió energètica i equips d'alta eficiència

Posteriorment a l'elecció adequada de la geometria i de l'envolupant tèrmica de l'edifici per reduir les seves necessitats energètiques, cal definir els sistemes òptims que permetin cobrir aquesta demanda amb el mínim consum d'energia primària i el mínim d'emissions. En paral·lel, s'ha de dissenyar l'edifici i les seves instal·lacions per mirar de maximitzar l'ús d'energies renovables per cobrir el consum energètic de l'edifici.

El consum d'energia als edificis es defineix segons l'equació següent:

$$\text{Consum energètic} = \text{demanda d'energia} / \text{rendiment del sistema}$$

D'aquesta fórmula podem extreure que, per reduir el consum energètic, podem actuar segons tres estratègies:

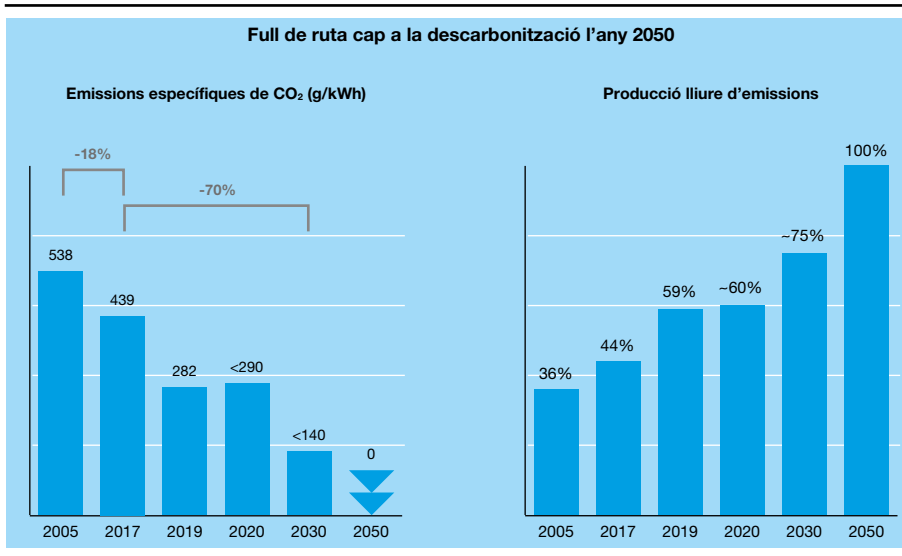
- Disminuir la demanda d'energia, amb mesures passives, arquitectòniques i de disseny.
- Augmentar el rendiment de les instal·lacions dels edificis amb sistemes optimitzats i d'alta eficiència energètica: il·luminació, calefacció, climatització (*free cooling*, sistemes de cabal variable o VRV...), ventilació, recuperadors de calor, sistemes eficients de generació d'aigua calenta sanitària, etc.
- Disminuir el consum energètic:
 - Mesurar i monitorar el consum energètic i els paràmetres interns, externs i ambientals per actuar específicament en la gestió dels equips responsables del consum energètic i la producció d'energia.
 - Millorar els hàbits de consum dels usuaris de l'edifici.

Un cop tinguem el menor consum energètic possible, cal fomentar les fonts d'energia renovable (fotovoltaica, solar tèrmica, geotèrmica, etc.), que, malgrat que no representen un estalvi energètic per a l'edifici, permeten reduir la seva petjada de carboni i les seves emissions de CO₂.

Per assolir l'objectiu dels edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB), s'està avançant cap a una electrificació més gran dels edificis, atès que l'energia elèctrica els propers anys podrà ser d'origen 100% renovable i, en canvi, els combustibles d'origen renovable, com la biomassa o el biogàs, no podran cobrir tota la demanda energètica del sector.

L'electrificació dels edificis ha de permetre la descarbonització del model energètic a Catalunya de cara al 2050 en línia amb els objectius establerts en la Llei 16/2017, de canvi climàtic. L'augment de la capacitat instal·lada de les energies renovables els propers anys farà possible que l'ús de l'electricitat sigui cada cop més sostenible i amb menys emissions associades als combustibles fòssils.

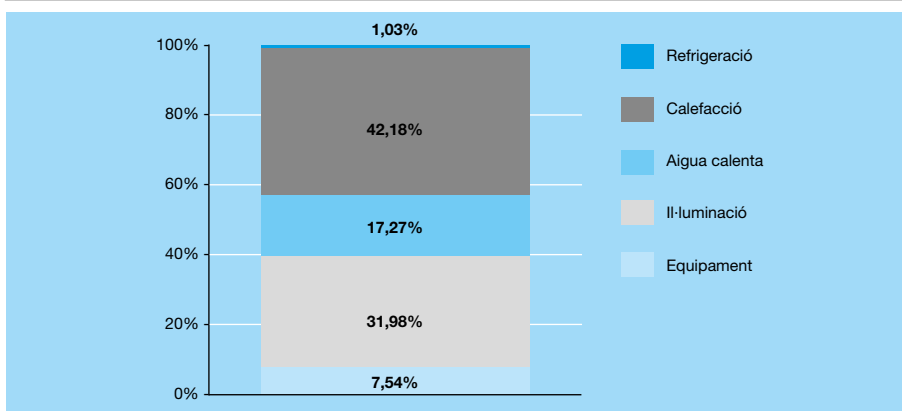
El full de ruta, amb visió de futur, de moltes companyies elèctriques segueix el gràfic següent.



Gràfic 4.1. Previsió de la reducció d'emissions fins a zero el 2050. Font: ENDESA.

El 2014, segons l'informe de l'Associació d'Empreses d'Energia Renovable (APPA), més del 40% de l'energia elèctrica a Espanya era renovable. En canvi, el 2018 la producció d'energia elèctrica amb fonts energètiques renovables a Catalunya va ser del 20,5%.

L'anàlisi del sector dels edificis indica que, aproximadament, entre un 60% (ús terciari) i un 80% (ús residencial) de l'energia es consumeix en la climatització i l'escalfament d'aigua calenta sanitària (ACS). La resta normalment es reparteix entre el consum elèctric de l'equipament i la il·luminació.



Gràfic 4.2. Distribució del consum d'energia final del sector residencial l'any 2018. Font: IDAE.

L'objectiu d'aquest capítol és definir l'estratègia que cal seguir, des del punt de vista de les mesures actives o de les instal·lacions, per arribar als edificis d'alta eficiència energètica o de consum d'energia gairebé zero.

Per conèixer una explicació detallada de cadascuna de les tecnologies actives o de les instal·lacions que es poden implantar als edificis, l'ICAEN disposa de diversos quaderns pràctics amb informació específica. Els quaderns pràctics de l'ICAEN en què es pot trobar informació detallada d'algunes instal·lacions habituals en edificis són els següents:

- [Quadern pràctic 2](#). *Estalvi i eficiència energètica en edificis públics*. S’hi pot trobar informació detallada relativa a les instal·lacions de climatització d’edificis en general.
- [Quadern pràctic 3](#). *Energia solar tèrmica*.
- [Quadern pràctic 4](#). *Energia solar fotovoltaica*.
- [Quadern pràctic 5](#). *Instal·lació de calderes de biomassa en edificis*.
- [Quadern pràctic 6](#). *L’energia a les instal·lacions esportives*.
- [Quadern pràctic 9](#). *Instal·lació d’infraestructura de recàrrega del vehicle elèctric*.
- [Quadern pràctic 10](#). *Rehabilitació energètica d’edificis*.

4.1. Instal·lació de climatització

La climatització és un procés mitjançant el qual es fa un tractament de les condicions ambientals interiors a cadascun dels diversos compartiments o estances d’un edifici. En aquest procés es tracten i controlen, de manera simultània, la temperatura, la humitat i la qualitat i la distribució de l’aire a fi de proporcionar el confort, el benestar i la higiene necessaris a les persones que utilitzen l’edifici.

La climatització als edificis de consum d’energia gairebé zero (nZEB) és una peça clau atesa la seva importància dins el consum d’energia global dels edificis convencionals. És imprescindible per donar confort als usuaris i, per tant, ha d’estar present en tots els edificis, des de cases unifamiliars fins a blocs d’habitatges i grans edificis terciaris.

El procés de la climatització inclou:

- Tractar l’aire per tal de mantenir les condicions de qualitat d’aire i de confort requerides, entre les quals es consideren els paràmetres següents:
 - a) Temperatura (escalfar o refredar).
 - b) Humitat relativa (mantenir un nivell adequat, humidificant o deshumidificant).
 - c) Velocitat (sortida pels difusors, distribució).
 - d) Qualitat de l’aire, puresa (aire lliure de pols, olores, bacteris, etc.) mitjançant els nivells correctes de ventilació i filtrat.

Taula 4.1. Condicions de qualitat d’aire i de confort. Font: taula elaborada a partir de dades pròpies (les dades normatives són segons el RD 1027/2007, RITE).

	Temperatura	Humitat relativa	Velocitat d’aire	Qualitat d’aire
Normatiu (de disseny)	Estiu 23-25°C	45-60%	Zona ocupada 0-1m/s	Segons ús i ocupació
	Hivern 21-23°C	40-50%		
Recomanat (d’utilització)	Estiu 25°C o més	50%	Zona ocupada 0,3-0,7m/s	Incrementar 1 grau el nivell de qualitat d’aire requerit
	Hivern 21° o menys	40%	(Més velocitat d’aire baixa la temperatura de sensació)	Ajustar sempre el nivell d’ocupació real

- Mantenir un nivell de soroll que no molesti els usuaris de l’edifici.
- Realitzar la regulació i control simultani dels principals paràmetres responsables del confort, d’acord amb les necessitats i ús de cada espai.

Cal entendre les instal·lacions de climatització com un conjunt de sistemes interrelacionats que funcionen per assolir les condicions de confort. Qualsevol variació en un dels sistemes pot arribar a afectar el conjunt. Per tant, l’objectiu ha de ser trobar l’eficiència global del conjunt i no tant de les parts que el componen.

És important entendre que una unitat de producció molt eficient pot empitjorar les seves ràtios de rendiment si no treballa dins d’unes condicions adequades o conjuntament amb sistemes de distribució o acumulació adequats.

La mitjana ponderada del rendiment dels diferents sistemes que componen la instal·lació donen com a resultat el seu rendiment global.

Donada la diversitat de sistemes que poden comprendre una instal·lació i les seves diferents tipologies, a continuació s'enumeren i s'interrelacionen, de cara a establir els conjunts que es poden considerar més eficients, com a esquema general.

Aquesta llista no es pot considerar tancada, sinó com una guia o recomanació per donar criteris tècnics que facin veure amb facilitat els dissenys més sostenibles. Els avenços tecnològics i l'aparició de nous materials fan que s'hagi d'actualitzar amb el pas del temps.

Sistemes de climatització tot aire

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> Centralització elimina conduccions elèctriques i d'aigua Permeten el <i>free cooling</i> Facilitat de recuperació d'energia Control de la humitat 	<ul style="list-style-type: none"> Necessitat d'espai per muntar conductes Difícil accés a les unitats terminals, que normalment estan en sostre fals Incompatibilitats amb les IT, IC (18.3 i 4.3.5) Dificultat de neteja dels conductes (aspectes de qualitat d'aire interior)

Taula 4.2. Valoració dels avantatges i inconvenients dels sistemes de climatització tot aire Font: [Quadern pràctic 2. Estalvi i eficiència energètica en edificis públics](#).

Sistemes de volum constant (VAC)	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> Sistema senzill d'aplicació fàcil Permet el <i>free cooling</i> Bona distribució d'aire Possible control independent de T i Φ 	<ul style="list-style-type: none"> Necessitat d'espai per ubicar conductes Elevat volum d'aire tractat a la UTA Necessita xarxa de conductes de retorn

Sistemes de volum constant i doble conducte (VAC)	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> Permet inversió tèrmica simultània Permet el <i>free cooling</i> Bona distribució d'aire Control individual per a cada zona La posada a punt és fàcil 	<ul style="list-style-type: none"> Necessitat d'espai per ubicar conductes i caixes de mescla Elevat cost d'inversió i d'operació Possible transport d'olors d'uns locals a altres Sorolls a les caixes Consum elevat

Sistemes de volum variable (VAV)	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> Sistema eficient a càrrega parcial Permet l'ús del <i>free cooling</i> Permet control individual per zones Les zones no ocupades es poden parar 	<ul style="list-style-type: none"> Molt espai ocupat pels conductes Complexitat del control No es pot controlar la humitat a cada local Cal un control addicional per garantir el nivell de ventilació

Paràmetres de disseny dels sistemes tot aire	
Volum d'aire constant (VAC)	Volum d'aire variable (VAV)
<ul style="list-style-type: none"> Velocitats de l'aire: inferiors a 9 m/s Temperatura d'impulsió: entre 6 i 8°C per sota de la del local Velocitats fins a 15 m/s si $\Delta T = 10-12K$ 	<ul style="list-style-type: none"> Velocitat aire en conductes: 10 a 15 m/s ΔT entre impulsió i temperatura local: 9 a 11 K Temperatura impulsió en calefacció: $T < 35^\circ C$ Cabal mínim d'impulsió: 20 a 30% del cabal nominal (càlcul de la UTA per un 80% de la potència. Els conductes es calculen pel 100%)

Sistemes d'inducció	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> Poc espai ocupat. Secció conductes d'aire primari pot ser menor Control individual a cada local No hi ha elements mòbils en l'inductor Adequat per a edificis amb particions sotmeses a canvis Funcionament silenciosos (han d'estar ben calculats) Bona distribució d'aire Consum inferior (no tenen ventilador) Baix cost de funcionament 	<ul style="list-style-type: none"> Elevada inversió inicial Instal·lació de disseny més complexa que amb aerotermos Les unitats no es poden anul·lar de manera individual

Taula 4.3. Valoració dels avantatges i inconvenients dels sistemes de climatització aire-aigua
 Font: [Quadern pràctic 2. Estalvi i eficiència energètica en edificis públics.](#)

Sistemes amb aerotermos		
Avantatges	Inconvenients	
<ul style="list-style-type: none"> • Requereixen poc espai • Control individual de la temperatura a cada local o zona • Permet donar calefacció i refrigeració al mateix temps (muntatge a quatre tubs) • Circulació de l'aire confinada al local • Bona distribució d'aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Cal preveure la ventilació • Cada aerotermos necessita drenatge dels condensats • Nivell de sorolls més elevat • Manteniment d'aerotermos: neteja de filtres... • Augment de l'humiditat relativa si es treballa amb càrrega parcial 	
Sistemes radiants		
Avantatges	Inconvenients	
<ul style="list-style-type: none"> • Requereixen poc espai • Permeten temperatures més altes a l'estiu i més baixes a l'hivern • Donen millor sensació de confort • Les temperatures d'impulsió d'aigua permeten millors rendiments de producció i, per tant, més estalvi energètic • Necessiten poc manteniment 	<ul style="list-style-type: none"> • Risc de condensació quan treballa en fred • Requereix un bon aïllament a la part superior del sostre • L'aire primari s'ha de subministrar per separat 	
Paràmetres de disseny dels sistemes aigua-aire		
Sistemes d'inductors	Sistema amb aerotermos	Sistemes radiants
<ul style="list-style-type: none"> • Refrigeració: Temperatura impulsio aigua: 7°C; $\Delta T = 5^\circ C$ Tenir en compte temperatura de rosada del local en refrigeració • Calefacció: Temperatura impulsio aigua: 80°C; $\Delta T = 10^\circ C$ Pressió aire primari: 200 Pa Velocitat aire primari: 15 a 20 m/s 	<ul style="list-style-type: none"> • Refrigeració: Temperatura impulsio aigua: 7°C; $\Delta T = 5^\circ C$ • Calefacció: Temperatura impulsio aigua: 50 a 80°C; $\Delta T = 5$ a $10^\circ C$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Refrigeració: Temperatura aigua freda: 15°C; $\Delta T = 3$ a $5^\circ C$ Temperatura mínima: 18°C Capacitat mitjana: 60 W/m² Tenir en compte temperatura de punt de rosada • Calefacció: Temperatura impulsio aigua: 35-45°C; $\Delta T = 5$ a $15^\circ C$ Temperatura màxima a la superfície terra: 26°C i a la superfície sostre: 30°C Capacitat màxima: 100 W/m²

Recomanacions:

Les recomanacions que cal tenir presents en el disseny de qualsevol sistema de climatització per a edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB) són les següents:

a) El 2009 es va aprovar la Directiva d'ecodisseny (2009/125/CE), que estableix els requisits de disseny ecològic aplicables als productes relacionats amb l'energia o ErP (*energy related products*). Aquesta directiva europea defineix els nivells mínims d'eficiència energètica per als productes que utilitzen energia directament (electrodomèstics, calderes, aire condicionat, lluminàries, etc.) i per als que estan relacionats d'una manera o altra amb el seu consum (aixetes, finestres, aïllaments, etc.), fabricats i comercialitzats als països membres de la UE. També limita les emissions màximes de NOx, el nivell de soroll i els nivells mínims d'aïllament dels acumuladors d'aigua calenta sanitària (ACS).

b) El 26 de setembre de 2015 va entrar en vigor el Reial decret 187/2011, que transposava la Directiva europea d'ecodisseny (ErP). Aquesta normativa no estableix obligacions directes per als fabricants. Els requisits d'ecodisseny aplicables a cada categoria de producte es fixen mitjançant l'adopció de reglaments. El compliment dels reglaments està vinculat a l'etiquetatge del producte, el qual és un requisit imprescindible per poder comercialitzar o posar en servei un producte en el mercat de la Unió Europea.

D'aquí deriven els reglaments següents:

- Reglament UE 814/2013, per a escalfadors d'aigua i dipòsits d'aigua calenta sanitària.

- Reglament UE 813/2013, per a aparells de calefacció i els calefactores combinats en productes amb potència nominal ≤ 400 kW.

Més endavant, el 9 de gener de 2017, va entrar en vigor el Reglament UE/2281/2016 de la Comissió, que aplica la Directiva CE 125/2009 del Parlament Europeu i de Consell, que estableix els requisits de disseny ecològic per als productes següents:

- Productes d'escalfament d'aire amb una potència nominal de calefacció de fins a 1 MW.
- Productes de refrigeració i refredadores de processos d'alta temperatura amb una potència nominal de refrigeració de fins a 2 MW.
- Ventilconvectors.

c) És fonamental que els sistemes de climatització estiguin dimensionats correctament per a l'ús de calor o fred que necessiti l'edifici (per la seva demanda). Els equips sobredimensionats no funcionen al seu punt òptim d'eficiència energètica i provoquen un augment innecessari del consum energètic.

La reducció normativa de la demanda apareguda amb l'actualització del Codi tècnic de l'edificació (CTE) de desembre del 2019 fa que la relació potència instal·lada/superfície pugui ajustar-se per trobar el punt òptim de rendiments dels equips de producció.

Buscar equips amb regulació de potències àmplies o sistemes modulars de producció en paral·lel pot ser una bona estratègia per mantenir sempre els millors rendiments de producció.

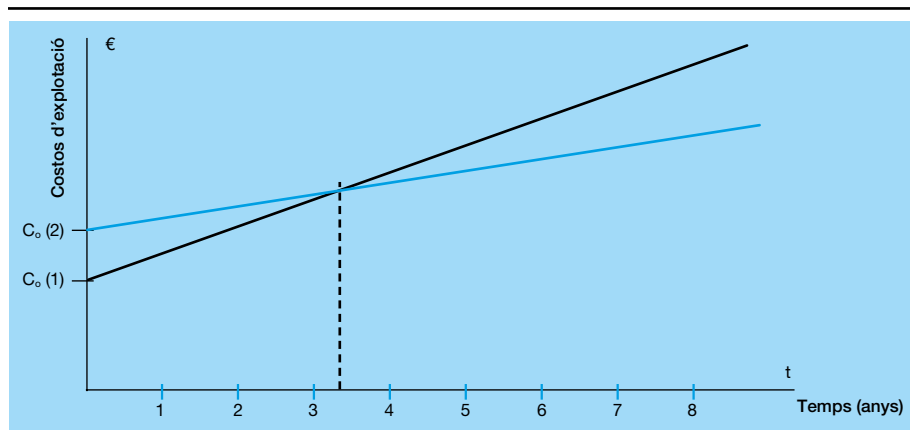
d) Per escollir el sistema de climatització idoni en qualsevol edifici és necessari avaluar una sèrie de factors entre els quals destaquen els següents:

- Cost de la instal·lació o valor de la inversió inicial (€).
- Cost energètic del funcionament de la instal·lació (€/consum d'electricitat, gas...).
- Cost del manteniment mínim (preventiu) que requereix la instal·lació (€/any).
- Cost de les reparacions a causa d'incidències imprevistes fora de garantia.
- Capacitat del sistema per donar confort de temperatura localment per zona o local.
- Necessitat de control de la humitat.
- Ventilació i tractament de l'aire (IAQ, *interior air quality*).
- Nivell sonor generat pel sistema de climatització i exigències acústiques de la instal·lació.
- Espais disponibles per passar-hi instal·lacions.

Els quatre primers factors representen el cost total de la instal·lació o cost d'inversió i d'explotació. Un sistema eficient que estalviï energia té costos energètics més baixos que altres sistemes convencionals, de manera que, malgrat que inicialment una instal·lació sembli cara, al cap dels anys pot resultar més econòmica.

A títol d'exemple, la figura següent representa els costos totals d'explotació de dues instal·lacions. La primera, més econòmica d'implantar que la segona, té uns costos operatius i energètics superiors. Al cap d'un temps, la segona instal·lació (2) resulta més econòmica que la primera (1).

Gràfic 4.3 Costos
totals d'exploació de
dues instal·lacions.
Font: Quadern
pràctic 2. Estalvi i
eficiència energètica en
edificis públics.



e) Sovint la solució tècnica implica combinar diferents tipus d'instal·lacions i de fonts energètiques, utilitzar les tecnologies òptimes segons l'entorn i aprofitar els avantatges en termes d'estalvi energètic i de confort.

f) En el cas d'edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB) cal vetllar especialment pel disseny de sistemes de producció de calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària (ACS) amb la màxima aportació de fonts renovables possible (solar fotovoltaica i tèrmica, aerotèrmia i geotèrmia i biomassa), i en cas que sigui necessari, complementar-lo amb instal·lacions de fonts energètiques tradicionals d'alta eficiència energètica, com per exemple calderes de condensació, refredadores de levitació magnètica, equips amb recuperació de calor o, en instal·lacions de certa envergadura, cogeneració d'alta eficiència.

També s'han de dissenyar els sistemes d'emmagatzematge d'energia que permetin gestionar els moments de màxima generació amb els moments de màxima demanda, que no necessàriament han de coincidir en el temps.

Les instal·lacions d'autoproducció o aprofitament i recuperació d'energia són imprescindibles en un edifici nZEB. Aquest tipus de sistemes suposen un estalvi energètic directe; per tant, milloren fonamentalment el nivell de consum i rendiment de l'edifici.

g) Si els edificis ho permeten, s'ha de dissenyar una zonificació o sectorització dels circuits de climatització. Aquesta és una estratègia eficaç en sistemes centralitzats per assegurar el confort de tots els usuaris sense malbaratar recursos energètics. El fet de disposar d'una bona zonificació i d'un bon control permet adaptar el funcionament de la climatització a la demanda de cada zona i moment, amb la qual cosa s'optimitza el seu consum.

Adicionalment, els sistemes de distribució a cabal variable permeten ajustar la despesa energètica a la demanda instantània de cada zona. Aquests tipus de sistemes poden permetre un estalvi energètic de fins al 18% respecte al sistema a cabal constant.

h) En general, les instal·lacions col·lectives de climatització proporcionen més estalvi energètic que les individuals. Així, si és possible, s'han d'incloure sistemes de producció centralitzada de refrigeració i calefacció o connectats a xarxes urbanes de distribució. Tot i això, s'ha d'avaluar bé la solució proposada en cada projecte i el sistema de gestió energètic associat a la instal·lació col·lectiva.

i) Cal aïllar tèrmicament de forma adequada els elements de la instal·lació (canonades, conductes, bescanviadors, valvuleria...), tant en el recorregut exterior com en l'interior.

j) L'elecció del millor sistema de distribució amb criteris econòmics i de confort depèn de quin ús es dona a l'edifici, quin tipus de calor o fred desitgem, quins són els acabats interiors, quin és el generador de calor i fred, etc. La solució amb terra/sostre radiant sol ser l'opció més rendible a mitjà i llarg termini, ja que, tot i suposar inversions inicials superiors, pot comportar estalvis anuals de fins al 20%.

k) Cal dissenyar les instal·lacions de l'edifici per a temperatures moderades, en cas de treballar amb aigua com a fluid caloportador, i s'ha de procurar treballar amb temperatures moderades, fet que augmenta notablement el rendiment de l'equip productor de fred i/o calor. S'estima que, per cada grau que augmentem la temperatura de treball de la planta refredadora en mode fred, estalviem un 4% d'energia aproximadament.

l) Cal treballar en funció de la temperatura exterior. Això obliga a un disseny especial de la instal·lació, ja que en funció de les temperatures exteriors l'equip frigorífic modera les temperatures de producció, augmenta el seu rendiment i redueix el consum. Aquest efecte encara és més destacat quan es treballa amb càrregues parcials.

4.2. Sistemes de producció

En una instal·lació de climatització els elements de producció funcionen com a cor del sistema: produeixen l'energia que posteriorment serà consumida, d'una manera o altra, als diferents espais o processos de l'edifici.

Els equips de producció són un dels elements que més consum tenen dins del sistema. Per tant, la seva eficiència és molt important dins del rendiment global de la instal·lació.

Una bona selecció, ajustada a les necessitats reals simultànies de l'edifici, permet optimitzar la potència instal·lada a l'edifici i, per tant, la seva despesa energètica en producció.

És habitual una selecció de l'equip d'acord amb la potència total resultat d'un estat de càrregues tèrmiques dels diferents espais. Aquesta pràctica acostuma a portar a un sobredimensionat dels equips de producció, que acaben treballant moltes hores lluny de la seva potència nominal (sobre la qual s'havia seleccionat l'equip, entre altres, d'acord amb un millor rendiment).

A banda de la selecció per potència simultània, també és molt important fer servir com a referència el rendiment estacional (SEER o SCOP) i no el nominal (EER o COP). Aquests rendiments es defineixen tal com segueix:

- EER (*energy efficiency ratio*): factor d'eficiència energètica en mode refrigeració; quocient entre la potència de refrigeració i la potència elèctrica absorbida en unes condicions específiques de temperatura amb la unitat a plena càrrega.
- SEER (*seasonal energy efficiency ratio*): factor d'eficiència energètica estacional; eficiència energètica estacional d'una unitat, calculada per a la demanda anual de refrigeració, determinada per la fórmula següent:

$$SEER = \frac{Q_{CE}}{SEER_{ON} + H_{TO} \times P_{TO} + H_{SB} \times P_{SB} + H_{CK} \times P_{CK} + H_{OFF} \times P_{OFF}}$$

En la qual:

Q_{CE} : necessitat energètica anual de refrigeració en kWh que s'obté de multiplicar la potència de disseny pel nombre d'hores equivalents de refrigeració, $H_{CE} = 350$ hores.

H_{TO} , H_{SB} , H_{CK} , H_{OFF} : nombre d'hores per als modes inactiu, espera, resistència de càrter i apagat.

P_{TO} , P_{SB} , P_{CK} , P_{OFF} : energia elèctrica absorbida durant els modes inactiu, espera, resistència de càrter i apagat.

El valor $SEER_{ON}$ es calcula amb els valors dels ERR, en què s'assigna a cadascuna de les quatre temperatures de referència una condició de càrrega parcial, segons la taula següent.

Taula 4.4. Taula amb les condicions operacionals per calcular el valor de $SEER_{ON}$.

	Càrrega parcial	Temperatura exterior °C	Temperatura interior del bulb sec (humit) °C
A	100	35	27(19)
B	74	30	27(19)
C	47	25	27(19)
D	21	20	27(19)

Per a l'obtenció de les mesures al laboratori, la norma que descriu el procediment d'assaig és la norma UNE-EN 14511-3:2014.

- COP (*coefficient of performance*): coeficient de rendiment en mode calefacció; quocient entre la potència de calefacció i la potència elèctrica absorbida en unes condicions específiques de temperatura amb la unitat a plena càrrega.
- SCOP (*seasonal coefficient of performance*): coeficient de rendiment estacional; eficiència estacional d'una unitat calculada per a la demanda de calefacció anual de referència:

$$SCOP = \frac{Q_{HE}}{Q_{HE} + H_{TO} \times P_{TO} + H_{SB} \times P_{SB} + H_{CK} \times P_{CK} + H_{OFF} \times P_{OFF}}$$

En què:

Q_{HE} és la necessitat energètica anual de calefacció en kWh, que s'obté de multiplicar la potència de disseny pel nombre d'hores equivalents de calefacció, H_{HE} .

El valor $SCOP_{ON}$ es calcula amb els valors dels COP, segons les condicions de la taula següent.

Taula 4.5. Taula amb les condicions operacionals per calcular el valor de $SCOP_{ON}$.

	Càrrega parcial	Càrrega parcial %	T. exterior °C bs(bh)	T. interior °C
A	$(-7-16)/(T_{designh} - 16)$	88	-7(-8)	20
B	$(+2-16)/(T_{designh} - 16)$	54	2(1)	20
C	$(+7-16)/(T_{designh} - 16)$	35	7(6)	20
D	$(+12-16)/(T_{designh} - 16)$	15	12(11)	20
E	$(TOL-16)/(T_{designh} - 16)$	-	TOL	20
F	$(T_{bivalent}-16)/(T_{designh} - 16)$	-	$T_{bivalent}$	20

La Directiva d'ecodisseny defineix els $SCOP_{net}$ com l'eficiència energètica estacional d'una unitat en mode actiu de calefacció sense calefactores elèctrics suplementaris. Per calcular el valor del $SCOP_{net}$, es fa servir el consum elèctric de la bomba de calor durant el mode actiu.

En funció de la normativa desenvolupada als reglaments delegats de l'etiquetatge energètic, d'acord amb la tipologia d'aparell de calefacció i d'aigua calenta, s'estableix l'etiquetatge energètic segons el rendiment obtingut.

Per exemple, per a bombes de calor per a ACS, l'annex II del Reglament delegat 811/2013 estableix la qualificació següent en funció del perfil de càrrega i el rendiment.

	S	M	L	XL	XXL
A+++	$\eta_{wh} \geq 90$	$\eta_{wh} \geq 163$	$\eta_{wh} \geq 188$	$\eta_{wh} \geq 200$	$\eta_{wh} \geq 213$
A++	$72 \leq \eta_{wh} \leq 90$	$130 \leq \eta_{wh} \leq 163$	$150 \leq \eta_{wh} \leq 188$	$160 \leq \eta_{wh} \leq 200$	$170 \leq \eta_{wh} \leq 213$
A+	$55 \leq \eta_{wh} \leq 72$	$100 \leq \eta_{wh} \leq 130$	$115 \leq \eta_{wh} \leq 150$	$123 \leq \eta_{wh} \leq 160$	$131 \leq \eta_{wh} \leq 170$
A	$38 \leq \eta_{wh} \leq 55$	$65 \leq \eta_{wh} \leq 100$	$75 \leq \eta_{wh} \leq 115$	$80 \leq \eta_{wh} \leq 123$	$85 \leq \eta_{wh} \leq 131$
B	$35 \leq \eta_{wh} \leq 38$	$39 \leq \eta_{wh} \leq 65$	$50 \leq \eta_{wh} \leq 75$	$55 \leq \eta_{wh} \leq 80$	$60 \leq \eta_{wh} \leq 85$
C	$32 \leq \eta_{wh} \leq 35$	$36 \leq \eta_{wh} \leq 39$	$37 \leq \eta_{wh} \leq 50$	$38 \leq \eta_{wh} \leq 55$	$40 \leq \eta_{wh} \leq 60$
D	$29 \leq \eta_{wh} \leq 32$	$33 \leq \eta_{wh} \leq 36$	$34 \leq \eta_{wh} \leq 37$	$35 \leq \eta_{wh} \leq 38$	$36 \leq \eta_{wh} \leq 40$
E	$26 \leq \eta_{wh} \leq 29$	$30 \leq \eta_{wh} \leq 33$	$30 \leq \eta_{wh} \leq 34$	$30 \leq \eta_{wh} \leq 35$	$32 \leq \eta_{wh} \leq 36$
F	$23 \leq \eta_{wh} \leq 26$	$27 \leq \eta_{wh} \leq 30$	$27 \leq \eta_{wh} \leq 30$	$27 \leq \eta_{wh} \leq 30$	$28 \leq \eta_{wh} \leq 32$
G	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 28$

Taula 4.6. Qualificació de les bombes de calor en funció del perfil de càrrega i el rendiment.

Rendiment estacional a calefacció	Calefacció η_s (%)	Bombes de calor de baixa temperatura η_s (%)
A+++	$\eta_s \geq 150$	$\eta_{wh} \geq 175$
A++	$125 \leq \eta_s \leq 150$	$150 \leq \eta_s \leq 175$
A+	$98 \leq \eta_s \leq 125$	$123 \leq \eta_s \leq 150$
A	$90 \leq \eta_s \leq 98$	$115 \leq \eta_s \leq 123$
B	$82 \leq \eta_s \leq 90$	$107 \leq \eta_s \leq 115$
C	$75 \leq \eta_s \leq 82$	$100 \leq \eta_s \leq 107$
D	$36 \leq \eta_s \leq 75$	$61 \leq \eta_s \leq 100$
E	$34 \leq \eta_s \leq 36$	$59 \leq \eta_s \leq 61$
F	$30 \leq \eta_s \leq 34$	$55 \leq \eta_s \leq 59$
G	$\eta_s < 30$	$\eta_s < 55$

Taula 4.7. Qualificació per a calefacció i bombes de calor de baixa temperatura.

Els factors principals que condicionen els valors de SEER i SCOP són els següents:

- Tipologia del sistema de producció. Tipus de sistema, característiques de compressors, cremadors...
- Sistema de control i regulació. Capacitat i velocitat d'adaptació a la demanda (variabilitat de càrrega), sensibilitat de lectures de consignes. Afecta el funcionament conjunt dels diferents components de l'equip.
- Característiques constructives de l'equip que permetin un millor bescanvi energètic.
- Limitació de consums fantasmes.

D'altra banda, el disseny de la instal·lació i la implantació de l'equip pot afectar el seu rendiment. En cada cas s'ha d'estudiar la solució més adient, considerant els punts següents:

- Temperatures de producció de l'equip d'acord amb els requeriments de la instal·lació. L'ajust de les temperatures de producció suposa un estalvi energètic important.
- Connexionat i disseny hidràulic que compleixin els requeriments establerts pel fabricant. Sovint es requereixen sistemes de protecció, seguretat o inèrcies necessaris per a l'òptim funcionament de l'equip.

- Implantació seguint les recomanacions dels fabricants. Cal assegurar les correctes condicions de ventilació i manteniment.

Taula 4.8. Valors orientatius de rendiment d'equips de climatització.

Tipus d'equip	Rang aproximat rendiments actuals de mercat
Condensació per aigua (aigua/aigua)	4 a 6
Condensació per aire (aire/aigua)	2,3 a 4
Expansió directe (aire/aire)	2,5 a 4,5
Solar	0,7 a 1,2
Caldera	0,85 a 1,1

Actualment, en molts casos, els rendiments per bombes de calor aire-aire (més ineficients en comparació amb les bombes aire-aigua o terra-aigua) tenen valors de SCOP superiors a 4,6; és a dir, per cada kWh elèctric consumit s'entreguen 4,6 kWh tèrmics. Aquest és el valor recomanable en un sistema de climatització: SCOP > 4,6 o SEER > 6,1. Les bombes de calor d'última generació són sistemes amb un índex d'eficiència energètica alt, malgrat que cal tenir sempre en compte el seu rendiment estacional.

Les bombes de calor s'utilitzen principalment per a climatització, però també es poden utilitzar per generar aigua calenta sanitària. Això permet que es puguin cobrir les demandes tèrmiques, tant de fred com de calor, d'un mateix local amb un sol equip i amb un rendiment elevat.

Al voltant d'un 75% de l'energia produïda per la bomba de calor es pot considerar gratuïta, i es consumeix un 25% del total en forma d'energia elèctrica. D'aquesta manera, sempre hi ha un mínim de consum elèctric per al funcionament correcte d'aquests equips.

La manera més eficient de reduir en gran part aquest percentatge d'energia consumida no renovable és dissenyar un sistema híbrid que combini la tecnologia de la bomba de calor d'alta eficiència amb la producció fotovoltaica.

La combinació d'aquests sistemes amb una instal·lació de climatització per terra radiant dimensionada correctament pot generar uns nivells alts de confort i reduir les emissions de CO₂ amb un cost de manteniment reduït.

Els principals punts a tenir en compte a l'hora del disseny d'un sistema híbrid de bomba de calor amb producció fotovoltaica són els següents.

- **Avantatges**

- Reducció dels costos de consum elèctric produïts per l'ús d'ACS i climatització.
- Alt rendiment de la instal·lació incrementat per l'ús d'energia fotovoltaica.
- Possibilitat d'aprofitar els excedents d'energia produïts per la instal·lació fotovoltaica per cobrir altres consums de l'edifici.
- Manteniment molt baix de la instal·lació.
- Minimitza les emissions de CO₂, ja que gran part de l'energia consumida per l'ACS i la climatització és d'origen renovable.

- **Inconvenients**

- Augment de la inversió inicial si no es disposa prèviament d'una instal·lació de bomba de calor.
- Es necessita espai per ubicar les plaques fotovoltaïques.

Podeu aprofundir sobre l'energia solar fotovoltaica en el punt 5.1 d'aquesta guia i en el [Quadern pràctic 4 de l'ICAEN, Energia solar fotovoltaica](#).

Els equips de producció són molt diversos i es poden classificar d'acord amb diferents conceptes (font d'energia, tecnologia de producció, fluid caloportador).

La tendència a la descarbonització del model energètic de cara al 2050 implica que cal impulsar les solucions amb fonts d'energia elèctrica d'origen renovable o combustibles renovables. En aquest sentit, es busca limitar les emissions de CO₂ a l'atmosfera, prioritzant els sistemes centralitzats de producció i utilitzant l'energia elèctrica com a energia amb més component renovable.

Taula 4.9. Classificació dels equips de producció.

Tipus d'equip	Font d'energia	Tipus de producció	Tecnologia de producció	Fluïd caloportador	Avantatges	Inconvenients
Condensació per aigua (aigua/aigua)	Elèctrica o combustió (menys usual)	Fred i/o calor	Compressió	Aigua	Millors rendiments, possibilitat de recuperació de calor, menor contingut de refrigerant, considerada sostenible, capacitat de regulació de condicions de producció, possibilitat de condensació en circuit obert (hidrotèrmia) o en circuit tancat (geotèrmia o estructura activa), mides d'unitat més petites i possibilitat d'ubicació sense contacte exterior.	Necessitat de fonts d'aigua de freàtic o torres de refredament, control legionel·losi en cas de torres de refredament, preu de perforacions en cas d'hidrotèrmia o geotèrmia
Condensació per aire (aire/aigua)	Elèctrica o combustió (menys usual)	Fred i/o calor	Compressió	Aigua	Rendiments de moltes unitats per sobre del requeriment mínim per considerar AEROTÈRMIA, menor contingut de gas refrigerant, possibilitat de regulació de condicions de producció	Major tamany d'equip, necessitat de relació amb l'exterior, alts nivells de ventilació i soroll
Expansió directe (aire/aire)	Elèctrica o combustió (menys usual)	Fred i/o calor	Compressió	Refrigerant	Menor necessitat d'espai d'implantació, facilitat d'instal·lació i regulació, variabilitat de la instal·lació a posteriori, menor requeriments de pasos de canonades, alts rendiments i fraccionament de potència.	Pitjor regulació de condicions de producció, sistemes sensiblement tancats pel que fa a refrigerants, marques i control, més volum de refrigerant a la instal·lació
Solar	Sol	Fred	Adsorció/absorció	Aigua	Major rendiment, menor emissions CO ₂ , menor contingut de refrigerant	Necessitat de calor a alta temperatura, més espai per implantació, complexitat de sistema, preu elevat
Caldera	Gasos o biomassa	Calor	Combustió	Aigua	Sistema més instantani per la possibilitat de treballar a alta temperatura, treball a més salt tèrmic permet moure menys cabal d'aigua, capacitat de modulació i coneixement de la tecnologia	Més emissions CO ₂ (en el cas de gasos, menor rendiment), requeriments d'espai d'implantació (especialment en cas de biomassa), necessitats de ventilació i sortida de fums, subministrament de font d'energia específica (especialment en cas de biomassa), capacitat de regulació (especialment en el cas de biomassa)

Els avenços tecnològics i normatius dels sistemes de producció d'energia fotovoltaica faran que l'electricitat esdevingui més sostenible. A més, les possibilitats que ofereix d'autoconsum o d'injecció a la xarxa elèctrica afavoreixen els esquemes de xarxes de producció distribuïda a disposició de qualsevol consumidor elèctric connectat a aquesta.

A. EQUIPS PER A LA PRODUCCIÓ DE FRED

En el camp de la climatització els principals sistemes de producció de fred actualment són els següents:

Taula 4.10. Equips de refrigeració.

Sistemes de producció de fred	Per mitjans químics → No habituals en climatització confort	
	Per mitjans físics	Sense canvi d'estat → Stirling, Màquines d'aire, Vortex
		Amb canvi d'estat → Compensió, Absorció, Adsorció
		Altres → Termoelectric (Peltier, termodinàmic)

1. Procediments químics. Basats en l'ús de determinades barreges i dissolucions que absorbeixen calor del medi que els envolta. Són processos que no asseguren la continuïtat en el temps i, per tant, normalment no són d'interès en l'àmbit de la climatització.

- Sistemes de refrigeració solars (absorció o adsorció).

2. Procediments físics. Provoquen canvis tèrmics amb la variació de paràmetres físics, com compressió o expansió d'un fluid. Aquest procés és la base de les unitats de producció de fred o calor mitjançant compressors.

- Sistemes de refrigeració per compressió.

Habitualment els sistemes per compressió, associats amb un cicle frigorífic, permeten la producció de fred o calor mitjançant la inversió del cicle. Alguns fins i tot permeten la producció de fred i calor de manera simultània fent servir diferents circuits frigorífics o mitjançant la recuperació de calor excedent de la producció de fred (equip de major eficiència energètica).

1. Sistemes de refrigeració solars (absorció o adsorció)

L'aplicació d'energia solar als sistemes de refrigeració d'edificis és una tecnologia emergent que té diversos avantatges. L'avantatge principal és que, en aquest cas, a diferència de la majoria d'aplicacions de sistemes solars tèrmics, la càrrega màxima de refrigeració generalment coincideix amb la radiació solar màxima disponible.

Altres avantatges són que els equips utilitzen fluids de treball que són totalment inofensius, com ara aigua i solucions salines, i que la tecnologia permet explotar les instal·lacions solars d'ACS i calefacció d'una manera eficient al llarg de l'any.

Les tecnologies actuals de sistemes d'aire condicionat basats en un procés de transformació de la calor solar es poden classificar en sistemes oberts i sistemes tancats.

a) Sistemes oberts

El refrigerant, que sempre és aigua, està en contacte amb l'atmosfera. Aquests sistemes actuen directament sobre l'aire en una unitat de tractament d'aire, el refreden i el deshumidifiquen d'acord amb les condicions de confort. Es basen en una

combinació de deshumidificació absorbent i refrigeració per evaporació; generalment, se'ls anomena *sistemes de refrigeració per dessecació i per evaporació* (RDE). L'energia solar tèrmica s'utilitza per regenerar l'equip emprat per deshumidificar l'aire.

La tecnologia més utilitzada en els processos de refrigeració per dessecació es basa en rodes dessecants que incorporen gel de sílice o clorur de liti com a material d'absorció. L'esquema següent presenta un exemple de procés basat en aquesta tecnologia.

En les aplicacions amb una humitat atmosfèrica alta, el cicle de refrigeració per dessecació no aconsegueix reduir suficientment la càrrega latent. En aquest cas, un serpenti de refrigeració connectat a un refrigerador convencional de compressió o tèrmic produeix el refredament necessari que no es pot aconseguir pel procés.

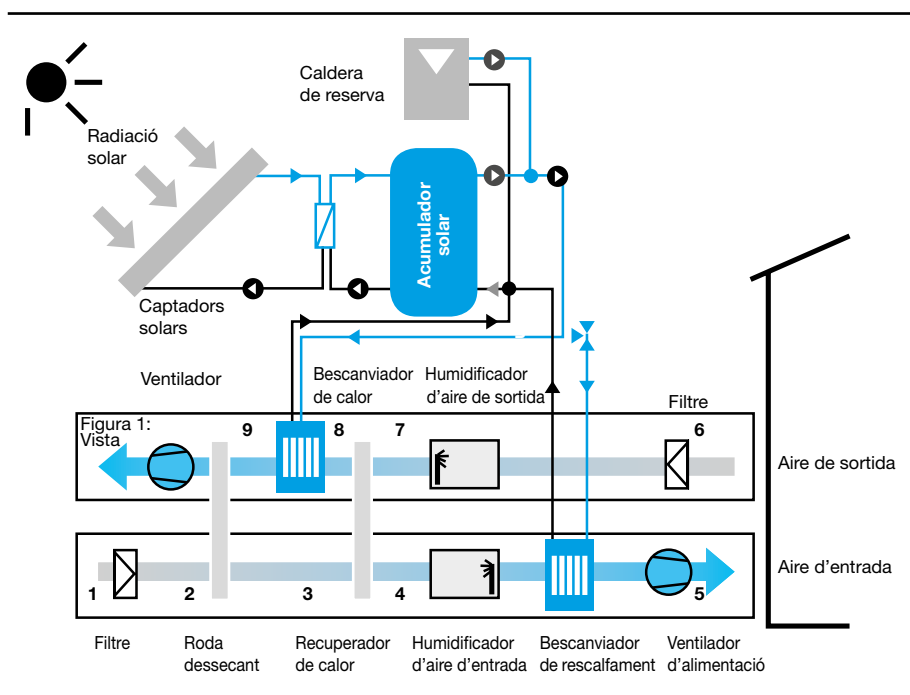


Figura 4.1. Sistema refrigeració per dessecació i per evaporació (RDE) amb captadors i caldera auxiliar. Font: Sistemes d'aire condicionat solar, projecte SHADA - ICAEN, 2005.

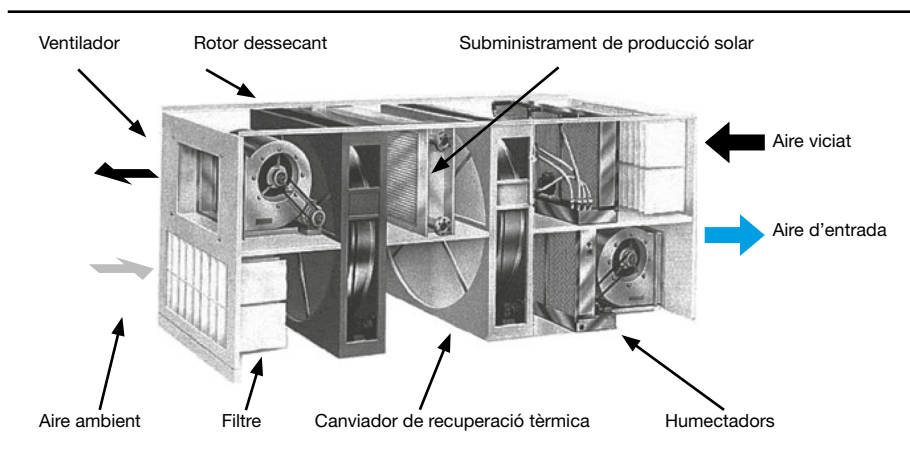


Figura 4.2. Unitat de tractament d'aire amb elements de RDE. Font: MUNTERS segons Sistemes d'aire condicionat solar, projecte SHADA - ICAEN, 2005.

Durant l'estació càlida es pot utilitzar el mateix sistema, augmentant la velocitat de rotació de la roda dessecant, que funciona com un canviador de recuperació tèrmica, i activant el serpentí de refrigeració connectat al sistema d'energia solar.

b) Sistemes tancats

Se subministra calor solar a un refrigerador alimentat tèrmicament que produeix aigua freda. Aquesta aigua es pot distribuir directament al sistema d'aire condicionat per mitjà d'aeroterms o sostres de refrigeració, o bé a un serpentí de refrigeració en una unitat de tractament d'aire. Actualment, hi ha dos tipus d'equips al mercat: refrigeradors d'absorció i refrigeradors d'adsorció.

Els refrigeradors alimentats tèrmicament, tant d'absorció com d'adsorció, funcionen sobre la base d'un procés que permet transferències tèrmiques d'una font de baixa temperatura a una font d'alta temperatura.

Aquest principi és similar al que s'aplica als refrigeradors per compressió de vapor que funcionen amb electricitat. La diferència rau en el fet que, en lloc de consumir electricitat, es consumeix calor. És a dir, el cicle d'absorció substitueix la compressió del líquid refrigerant per un procés d'absorció, el qual, en lloc d'aportar energia elèctrica per a la compressió, necessita una aportació d'energia tèrmica per tancar el cicle i regenerar els components del cicle.

La calor necessària per al funcionament del sistema pot procedir de captadors solars o d'altres fonts, com ara plantes de cogeneració, calefacció centralitzada urbana o calor residual. Per a la majoria d'aplicacions es poden usar instal·lacions solars tèrmiques com captadors, plans selectius o tubs de buit, ja que la temperatura màxima que requereix la màquina no supera els 90 °C. El tipus de captadors solars més adequat per a qualsevol aplicació específica de sistema d'aire condicionat solar depèn molt de la irradiació global disponible i dels altres usos de la calor produïda (calefacció, aigua calenta domèstica, altres processos tèrmics).

Les unitats de refrigeració pel principi d'absorció s'apliquen normalment per a grans instal·lacions amb elevades necessitats de fred, a causa de l'elevat cost d'inversió inicial.

Es diferencia entre cicles d'absorció d'efecte simple i cicles d'absorció d'efecte doble.

Els avantatges dels refrigeradors alimentats tèrmicament, en comparació amb els refrigeradors per compressió, són els següents:

- Costos de manteniment més baixos, perquè hi ha menys components mòbils.
- Costos d'explotació menors, perquè el consum d'electricitat és baix.
- Menys vibracions i menys soroll per l'absència d'un compressor mecànic.
- Rendiment més alt en condicions nominals que amb càrrega parcial.
- Substàncies utilitzades inofensives per al medi ambient (aigua, bromur de liti, amoníac, gel de sílice).
- L'eficiència d'un sistema de refrigeració solar depèn de la temperatura dels circuits del refrigerador alimentat tèrmicament:
 - Com més alta sigui la temperatura de la calor d'alimentació, més alt serà el rendiment del refrigerador, però més baixa serà l'eficiència del camp de captació.
 - Com més baixa sigui la temperatura de la calor expulsada, més alt serà el rendiment del refrigerador, però més grans seran les dimensions de la torre de refrigeració.
 - Com més alta sigui la temperatura del fred produït, més alt serà el rendiment del refrigerador.

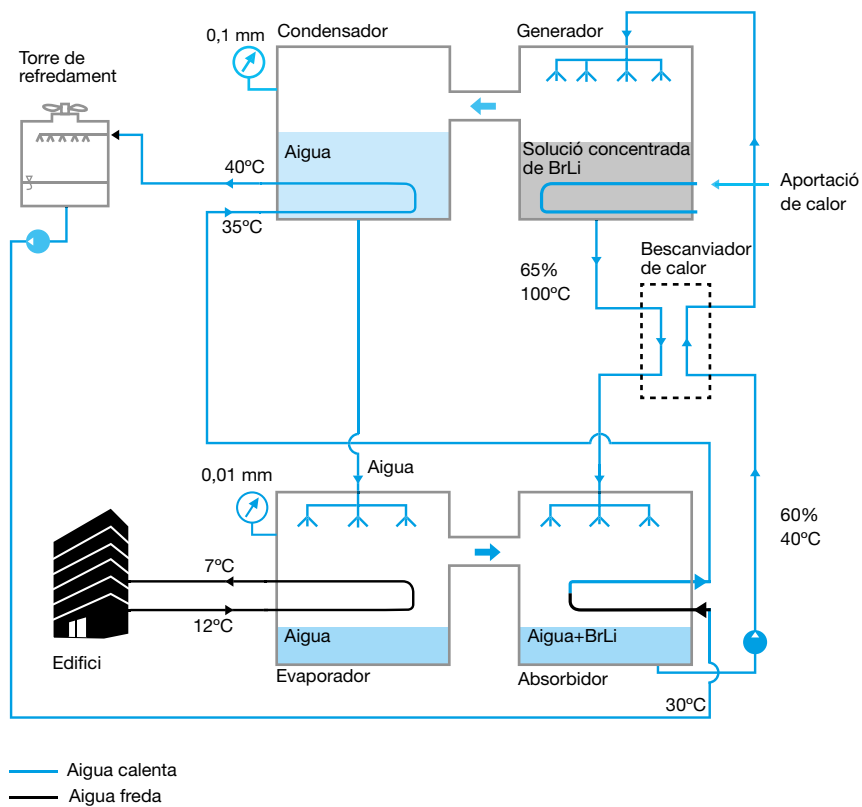


Figura 4.3. Cicle complet d'una màquina d'absorció d'efecte simple.

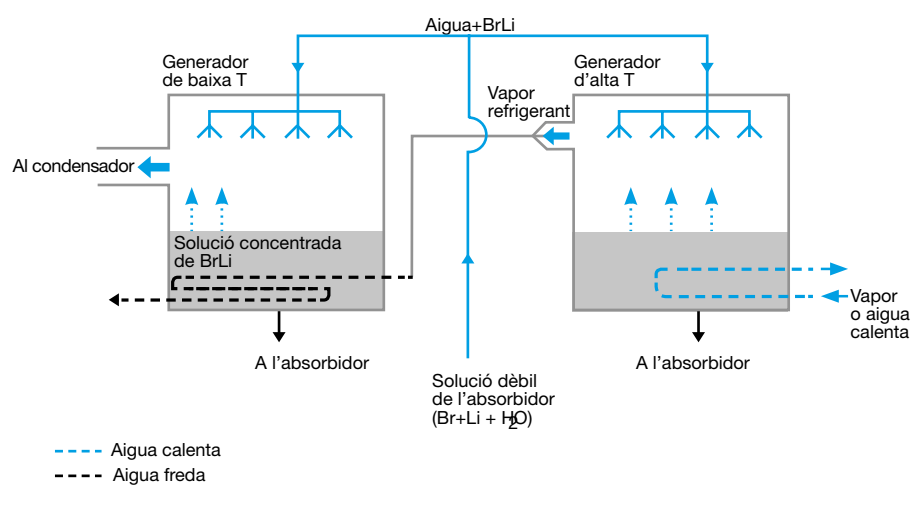
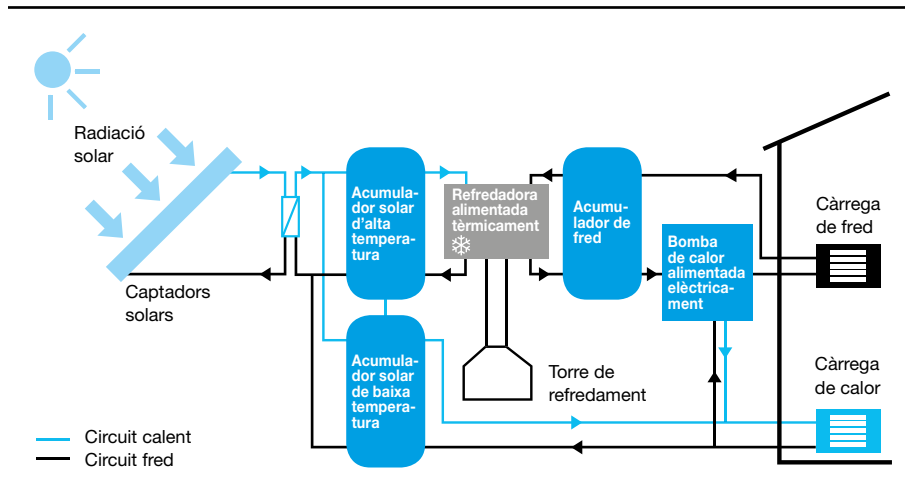


Figura 4.4. Generadors de la màquina d'absorció d'efecte doble.

En conseqüència, la refrigeració dels sistemes d'aeroterms que necessiten una producció d'aigua freda de 7 °C és menys eficient que la dels sistemes de sostres de refrigeració que funcionen a 15 °C.

El següent diagrama es basa en un refrigerador alimentat tèrmicament connectat a captadors solars. Com mostra la taula, els refrigeradors d'absorció es classifiquen segons les fases (efecte únic o efecte doble) i segons l'absorbent o l'adsorbent com a combinació de refrigerants: bromur de liti/aigua o aigua/amoniac. Els sistemes de bromur de liti/aigua són els més habituals per a sistemes d'aire condicionat i, en el cas de la tecnologia de captador solar, els refrigeradors d'absorció més comuns són els d'efecte únic, que funcionen amb aigua calenta.

Figura 4.5. Sistema basat en un refrigerador alimentat tèrmicament, amb captadors solars i bomba de calor auxiliar. Font: Sistemes d'aire condicionat solar, projecte SHADA - ICAEN, 2005.



Taula 4.11. Principals característiques dels refrigeradors alimentats tèrmicament actualment en el mercat.

Procés	Absorció		Adsorció
Fases	Efecte únic	Efecte doble	Efecte únic
Ab/adsorbent	Bromur de liti / aigua ¹		Gel de sílice
Refrigerant	Aigua / amoniac ¹		Aigua
Generador T	80°C-110°C	140°C-160°C	60°C -95°C
Flux	Aigua calenta o aigua reescalfada	Aigua reescalfada o vapor	Aigua calenta
COP	0,6-0,08	0,8-0,8	0,4-0,7
Capacitat del mercat	Mercat incipient < 35 kW Pocs fabricants de 35 kW a 100 kW Mercat ampli >100 kW	Pocs fabricants <100 kW Mercat ampli >100 kW	50-350 kW (May.) 70-1.220 kW (Nis.)
Fabricants	Yazaki, Broad, EAW, Carrier, Trane, York, LG Machinery, Sanyo-McQuay, Entropie, Thermax, Rotartica		Mayekawa, Nishiodo
Captador solar apropiat	Placa plana selectiva Tub de buit CPC fix	Parabòlica de seguiment	Placa plana selectiva Tub de buit CPC fix

¹ La combinació absorbent /refrigerant manté l'ordre indicat.

Aquests sistemes de refrigeració solar són interessants per als edificis de consum d'energia gairebé zero, però es troben en un mercat emergent i els preus dels combustibles fòssils i de l'electricitat, que no tenen en compte els costos ambientals ni els costos socials associats, fan que encara no siguin econòmicament competitiu respecte dels sistemes convencionals. Això és degut al fet que, malgrat la maduresa tècnica dels sistemes i el mercat creixent, el cost d'inversió dels diferents components de les unitats de refrigeració solar (captadors solars, rodes dessecants, refrigeradors d'adsorció, etc.) és més elevat que el dels components d'un sistema convencional.

2. Sistemes de refrigeració per compressió

Una de les maneres més difoses i utilitzades per produir fred, aplicada als sistemes de condicionament d'aire, es basa en el cicle de compressió del vapor, compost per un circuit on circula un líquid refrigerant (fluid caloportador). Aquest refrigerant actua com un «transportador» de calor, de manera que la calor que s'extreu d'un lloc es porta cap a un altre per dissipar-la.

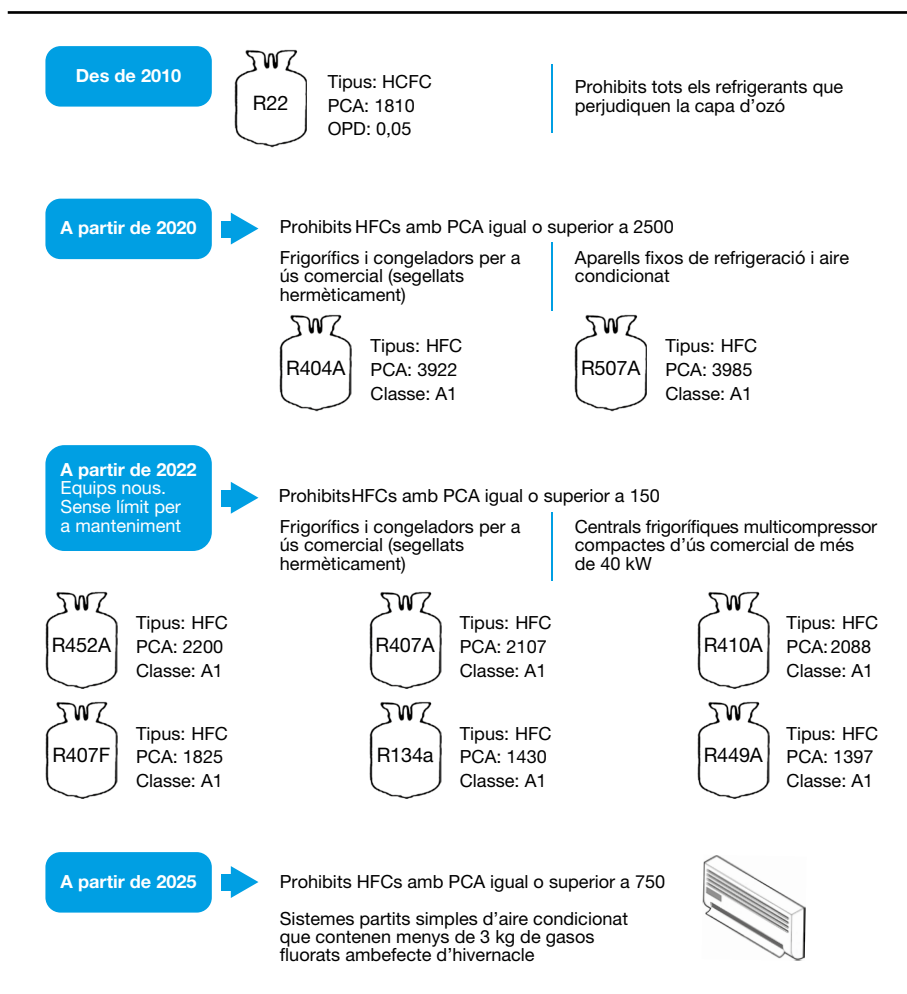
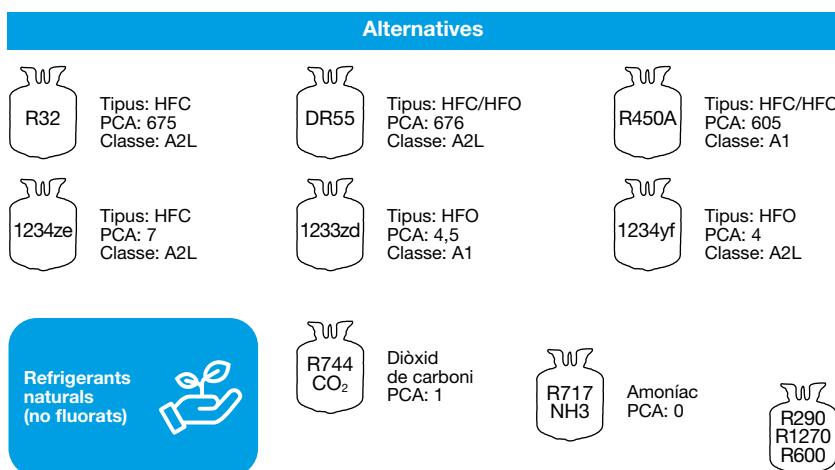
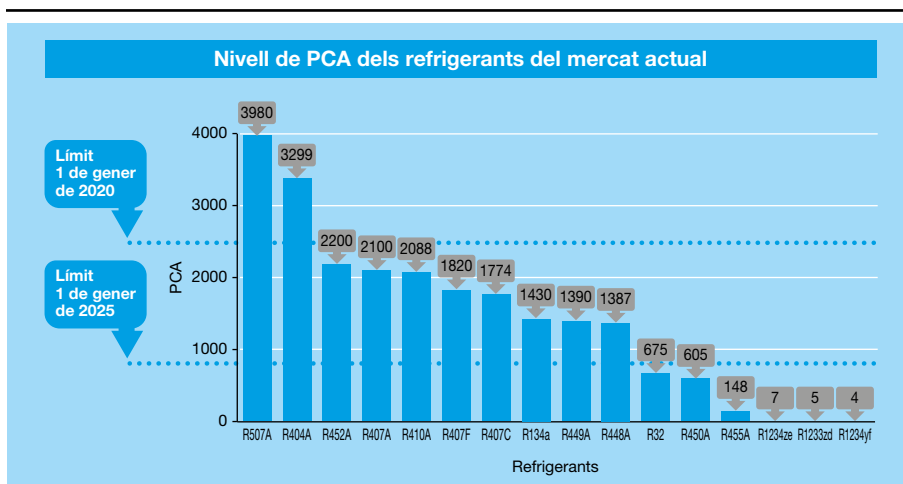


Figura 4.6. Evolució de la normativa europea de l'ús dels refrigerants per reduir-ne la part contaminant.

Amb l'aparició de la norma europea F-GAS, l'ús de refrigerants als sistemes de climatització s'ha vist condicionat. La classificació dels refrigerants d'acord amb el seu potencial d'escalfament atmosfèric (PCA, del castellà *potencial de calentamiento atmosférico*), així com la implantació de quotes de volum d'utilització, ha fet que apareguin noves alternatives als gasos ja coneguts i noves tecnologies més eficients i menys contaminants.

La normativa imposa una tendència cap a refrigerants cada cop menys contaminants (amb un PCA menor). A continuació, es descriu la cronologia de l'escenari actual pel que fa a l'ús del refrigerant en climatització.

Figura 4.7. Nivell de PCA dels refrigerants del mercat actual.
Font: www.caloryfrio.com.



*Classes de seguretat ASHRAE. A1 nul·la inflamabilitat. A2L baixa toxicitat, baixa inflamabilitat.

En un sistema per compressió, el circuit frigorífic i especialment el compressor és l'element que marca la diferència entre màquines.

La tipologia de compressors disponibles actualment al mercat fets servir en unitats de climatització són diversos. La seva evolució és constant per part dels fabricants, i cada cop aconsegueixen uns millors rendiments.

Els compressors més utilitzats actualment són els següents:

- Scroll: de mida compacta. Habitualment, en configuració tàndem de diversos compressors en paral·lel. Permeten la configuració de cascades de funcionament, combinant equips tot/res amb inversor. S'utilitzen en tota gamma de potències.
- Cargol: gran capacitat de regulació. Equips de mida més gran. S'utilitzen habitualment en unitats d'alta potència.

En el cas d'edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB) aquests sistemes han de ser d'alta eficiència energètica i garantir que l'energia elèctrica usada provingui

de fonts d'energia renovable, amb, per exemple, instal·lacions fotovoltaïques, aerogeneradors o plantes de producció d'energia elèctrica a partir de biomassa.

El desenvolupament dels sistemes fotovoltaïcs i l'augment del rendiment en producció fan que es converteixi en un sistema complementari molt adient als sistemes elèctrics de compressió. La màxima producció d'energia elèctrica (a l'estiu) també coincideix amb la màxima demanda de fred de la instal·lació.

Cal estudiar la possibilitat de recuperació de calor en les plantes frigorífiques. En produir fred per climatitzar un edifici, els equips de climatització estan expulsant a l'ambient una calor residual, i per tant gratuïta, que s'ha d'aprofitar en el cas que existeixi una demanda de calor de calefacció o d'ACS.

A banda dels equips de refrigeració (d'aire o d'aigua), també són equips de compressió les bombes de calor, que mitjançant un canvi de cicle permeten la producció no només de fred, sinó també de calor (en funcionament alternatiu, fred o calor, o simultani, equip polivalent).

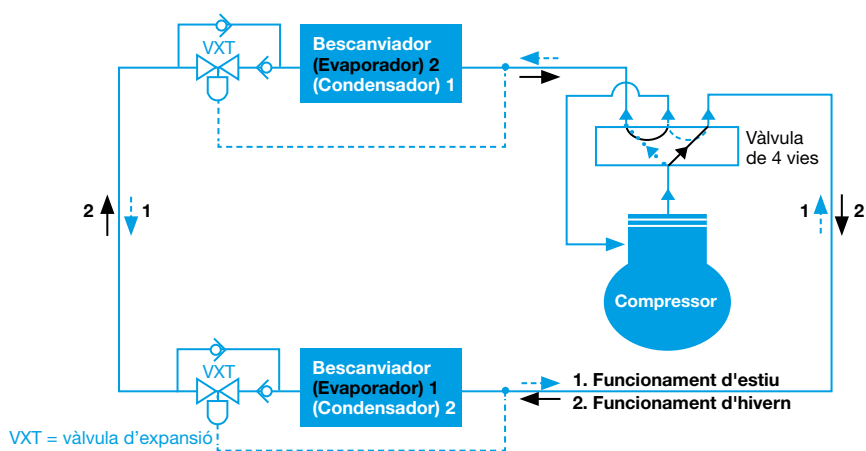


Figura 4.8.
Funcionament d'una
bomba de calor.

Equips de major rendiment i més avançats són les bombes de calor amb recuperació, en què es pot obtenir la major eficiència dins de la mateixa gamma tecnològica.

Les bombes de calor estan adquirint un gran protagonisme en els sistemes de climatització, ja que el seu cicle reversible permet tant refredar com escalfar amb un mateix equip, fet que simplifica les instal·lacions d'habitatges, edificis o espais tancats. Es parla d'aerotèrmia en els equips aire-aigua que permeten generar calor per a calefacció i/o ACS, i/o fred per a refrigeració.

Atesos els objectius d'estalvi energètic del sector de l'edificació segons la Directiva europea 2018/844/UE, relativa als edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB), i la nova inclusió en el Reial decret 732/2019, Codi tècnic de l'edificació (CTE 2019), de la bomba de calor com a sistema renovable de producció per a aigua calenta sanitària (ACS), el sistema esdevé una peça clau en les instal·lacions per dos motius:

- Aquests equips estan assolint uns valors d'eficiència energètica molt elevats. Sobretot a climes temperats de determinades zones de Catalunya.
- Les bombes de calor tenen un funcionament òptim sobretot amb emissors de baixa temperatura com el terra o el sostre radiant.

La seva font energètica pot ser renovable, en un percentatge alt o bé totalment, fet que cal destacar en el cas dels edificis de consum d'energia gairebé zero. Els fabricants continuen millorant les prestacions dels equips i és cada vegada més habitual trobar arranjaments de bombes de calor assistits per col·lectors solars o sistemes geotèrmics per assolir uns altíssims nivells d'eficiència energètica.

En zones de baixes temperatures, la unitat externa de les bombes de calor pot patir glaçades, fet que minva el seu rendiment i fins i tot impossibilita el seu funcionament. Actualment, existeixen bombes de calor preparades per a zones amb clima rigorós, amb la qual cosa es redueixen els efectes provocats per les glaçades.

En el cas de les bombes de calor, la normativa 2009/28/CE estableix quan es poden considerar renovables. En certa manera també hi està relacionada la legislació de la Comissió Europea sobre disseny ecològic (ErP) i sobre etiquetatge energètic (Directiva 2009/125/CE). Ambdues són d'obligat compliment des del 26 de setembre de 2015. La norma d'ecodisseny estableix requisits mínims d'eficiència energètica, d'emissions d'òxids de nitrogen (NOx) i de nivells de soroll per als equips de calefacció que es fabriquin o instal·lin a Europa.

Arribat aquest punt s'inicia el camí cap al 2050, amb un pla de descarbonització energètica basat en una major electrificació, producció elèctrica sostenible i una reducció encara més gran d'emissions de CO₂.

La Comissió Europea el març del 2013 va establir com s'ha de calcular la quantitat d'energia renovable procedent de les bombes de calor. El *seasonal performance factor* (SPF) és el rendiment estacional de l'equip i es calcula segons la norma UNE EN 14825:2012. Concretament, d'acord amb aquesta norma, només les bombes de calor amb un SPF superior a 2,5 es poden considerar renovables. Conseqüentment, les noves bombes de calor s'etiqueten expressant el seu rendiment estacional, segons la zona climàtica on s'instal·lin i la seva temperatura d'ús.

Aquesta diferència de termes és especialment rellevant en bombes de calor, ja que el seu rendiment varia sensiblement en funció de la diferència de temperatures entre l'evaporador i el condensador, és a dir, entre l'exterior i l'interior.

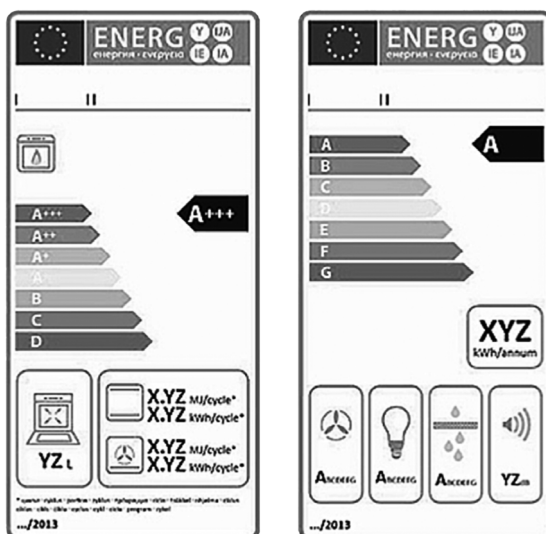
Com s'ha comentat anteriorment, és important comparar els rendiments dels sistemes en funció de la variable estacional, la qual té en compte la temperatura exterior de l'edifici i les hores d'ús del sistema. Així, un sistema pot ser òptim en una zona i per a un tipus d'edifici i, a la vegada, ser una mala solució en un altre lloc o tipus d'edifici.

L'agost de 2017, la Unió Europea va establir un nou reglament per a l'etiquetatge energètic d'equips i productes relacionats amb l'energia (Reglament (UE) 2017/1369). L'objectiu de la normativa és facilitar al consumidor la informació necessària sobre l'eficiència energètica del producte a través de l'etiqueta energètica per ajudar-lo a prendre decisions a l'hora d'adquirir un producte que li permeti reduir el consum i la factura energètica.

La nova etiqueta energètica, que s'ha d'anar implementant progressivament a partir de l'1 de març de 2021, manté la seva gamma de colors actual, del verd fosc al vermell, i des de la lletra A (la més eficient) fins a la lletra G (la menys eficient). Com a principal novetat, la nova etiqueta elimina les actuals classificacions A+, A++ i A+++ , cosa que obliga a fer un nou escalat de les actuals.

Els productes de calefacció i aigua calenta sanitària, amb excepció dels que utilitzen combustibles sòlids, com ara la biomassa, han d'incorporar una etiqueta amb informació sobre el consum d'energia i, quan correspongui, una altra amb informació complementària.

Figura 4.9. Etiquetes energètiques.



Per exemple, els equips de fins a una potència màxima de 70 kW han d'incorporar l'etiqueta energètica quan es posin a la venda i una etiqueta de sistema (facilitada per l'instal·lador) en què s'avalua l'eficiència conjunta de l'aparell amb tots els elements addicionals que complementin la seva instal·lació, com en el cas de disposar de sistemes solars tèrmics, o la incorporació de termòstats, acumuladors d'aigua, etc.

La nova reglamentació sobre l'etiqueta energètica també estableix que, en el cas d'aquells productes que requereixin programes o microprogrames informàtics per al seu funcionament òptim, s'han d'oferir actualitzacions d'aquests programaris als usuaris que els hagin adquirit.

Tipus de compressor	Regulació	Avantatges/inconvenients
Centrífug o turbocompressor	Inversor o per etapes	<ul style="list-style-type: none"> • El menys habitual en confort actualment • Sobretot en refredadores o bombes de calor a partir de 350 kW
Scroll o rotatiu	Inversor o tot/res	<ul style="list-style-type: none"> • Més habitual tant en equips refredadors/bombes de calor com VRV • Bona regulació (inversor o entrant per etapes) • Utilitzat habitualment en potències baixes • Es munten tandems de diversos compressors per assolir potències més elevades • Extracció i manipulació més senzilla. Fàcil substitució
Screw o cargol	Inversor	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensió més gran • Millor regulació • Utilitzat sovint en potències elevades. Muntant 1 o 2 per unitat
Levitació magnètica	Inversor o tot/res	<ul style="list-style-type: none"> • Variant de rotatiu sense fricció • Molt alt rendiment • No general soroll • Alt preu

Taula 4.12. Taula sobre diferents tipus de compressors.

Per regla general, les actualitzacions de programari estan dissenyades per millorar el rendiment del producte, però s'ha de controlar que aquestes actualitzacions no repercuteixin negativament en l'eficiència energètica i els altres paràmetres que indiqui l'etiqueta del producte. Si fos així, s'haurà d'informar d'aquests canvis i oferir a l'usuari l'opció d'acceptar o rebutjar l'actualització.

La normativa d'etiquetatge energètic és d'obligat compliment per a tots aquests tipus de productes que es comercialitzin i s'instal·lin en l'àmbit de la Unió Europea.

B. EQUIPS PER A LA PRODUCCIÓ DE CALOR

1. Calderes

Tot i que amb la tendència a la descarbonització les calderes de combustibles fòssils queden penalitzades degut a la font d'energia que fan servir, encara tenen una veta de mercat en determinats processos o fins i tot en sistemes que necessitin treballar a alta temperatura o sistemes de producció de calor centralitzats (edificis, xarxes de calor o *district heating*).

D'altra banda, l'existència de calderes de condensació fa que el rendiment d'aquests equips pugui arribar a ser competitiu, i en el cas de les calderes de biomassa que sigui amb una font renovable.

Les calderes de condensació tenen un rendiment elevat amb un aprofitament màxim del combustible, ja que el seu sistema constructiu permet captar la calor de condensació del vapor d'aigua contingut en els fums. Disposen de rangs de modulació grans, fet que facilita que es puguin adaptar en tot moment a qualsevol demanda de l'edifici, de manera que es redueix el consum d'energia. A més, tenen una vida útil d'aproximadament 25 anys, més elevada que les calderes convencionals.

Evidentment, són calderes més costoses que les calderes de baixa temperatura o les convencionals (prohibides segons la normativa vigent), però l'increment del cost de la inversió es recupera amb l'estalvi energètic aconseguit, el qual pot arribar a ser d'un 30% respecte de les calderes convencionals i d'un 15% respecte de les calderes de baixa temperatura.

Per altra banda, per tal de potenciar les fonts d'energies renovables als edificis de consum d'energia gairebé zero, hi ha un augment de l'ús de la biomassa com a combustible, aprofitant sobretot restes forestals (estella), restes de producció agrària (closca d'ametlla, pinyols d'oliva, etc.) o pèl·let especialment preparat per a aquest tipus de calderes.

Les calderes de biomassa poden satisfer les necessitats de calefacció, o de calefacció i aigua calenta sanitària (ACS) dels edificis. La seva fiabilitat és equiparable als sistemes habituals de gas o gasoil, malgrat que el programa de manteniment de les calderes de biomassa té un pes específic més important. Aquestes quasi no generen gasos amb efecte d'hivernacle, ja que el balanç de CO₂ es considera neutre. A més, ajuden a la diversificació energètica del país utilitzant una font renovable local i generen ocupació qualificada en llocs on tradicionalment hi ha un desplaçament de la població cap a zones més industrials.

Un altre avantatge de les calderes de biomassa és el preu del combustible, més baix en comparació amb els combustibles fòssils. Tot i això, cal tenir en compte que el cost inicial dels equips és superior a les instal·lacions de combustibles no renovables i que cal preveure unes tasques de manteniment periòdiques i constants relacionades amb les cendres que genera el combustible.

En funció de la potència, els requeriments d'implantació són especials en aquest tipus de calderes i s'han de tenir molt en compte, sobretot pel que fa a la seguretat (com passa també amb els combustibles fòssils) i a l'espai requerit d'instal·lació i d'emmagatzematge.

En l'apartat d'energies renovables, podeu trobar més informació sobre la biomassa. La producció d'energia tèrmica amb biomassa es pot fer mitjançant:

- Estufes de pèl·lets o de llenya per escalfar una única habitació o sala.

- Calderes de baixa potència per a habitatges unifamiliars o construccions de mida reduïda.
- Calderes dissenyades per a edificis d'habitatges, normalment com a calefacció centralitzada.

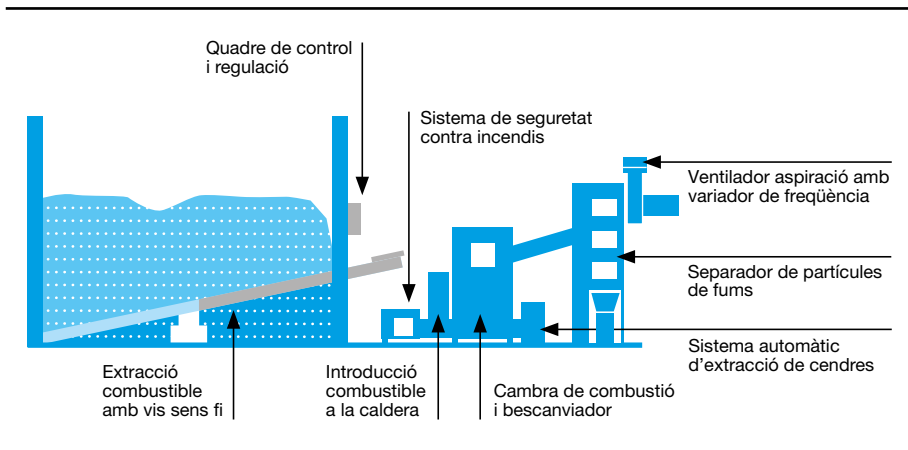


Figura 4.10. Configuració típica de la instal·lació d'una caldera de biomassa.

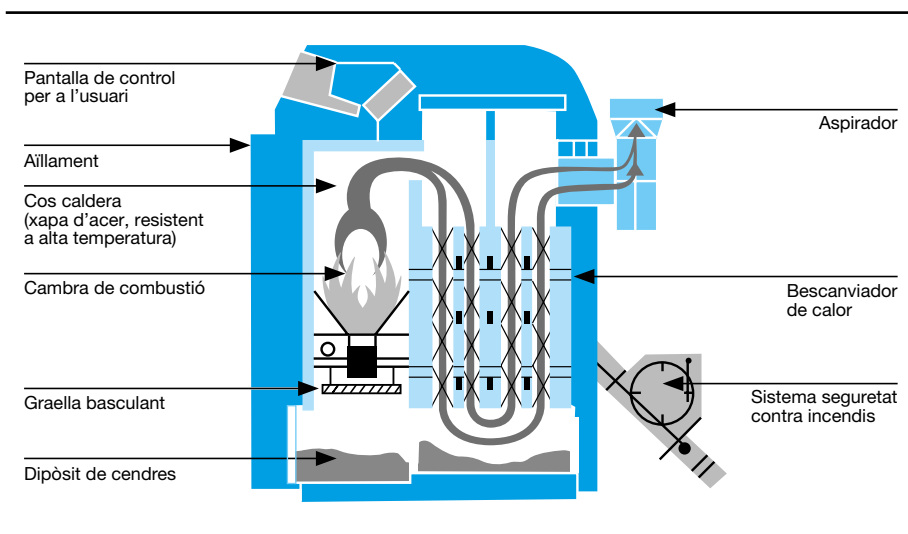


Figura 4.11. Secció d'una caldera de biomassa.

Tipus de calderes	Combustible	Rendiment	Avantatges/inconvenients
Atmosfèriques	Diferents gasos	0,8 a 0,9	<ul style="list-style-type: none"> • Fora de normativa per moltes aplicacions • Baix rendiment energètic • Alta petjada de carboni
Estanques	Diferents gasos	0,8 a 0,9	<ul style="list-style-type: none"> • Baix rendiment energètic • Alta petjada de carboni
Condensació	Diferents gasos	1 a 1,1	<ul style="list-style-type: none"> • Millor rendiment energètic • Alta petjada de carboni
Biomassa	Estella o pèl·let	0,85 a 0,92	<ul style="list-style-type: none"> • Requeriments específics tècnics i d'implantació que compliquen la seva instal·lació • Petjada de carboni neutra

Taula 4.13. Tipus de calderes, combustibles, rendiment, i valoració d'avantatges i inconvenients.

C. EQUIPS PER A LA PRODUCCIÓ D'AIGUA CALENTA SANITÀRIA

L'escalfament d'aigua calenta sanitària (ACS), tant en els edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB) com en els edificis rehabilitats o en els edificis existents, representa una part destacada del consum energètic dels edificis.

Taula 4.14. Diferents tipus de producció d'ACS.

Tipus de producció ACS	Rendiment	Avantatges/inconvenients
Elèctric / efecte Joule	1	<ul style="list-style-type: none">• Requereix acumulació• Alta petjada de carboni• Possibilitat de compensació elèctrica amb energies renovables (fotovoltaic)• Baix rendiment
Calderes o escalfadors	0,85 a 1,1	<ul style="list-style-type: none">• Alta petjada de carboni• Pot funcionar com a sistema instantani• Baix rendiment
Bombes de calor	>2,5	<ul style="list-style-type: none">• Alt rendiment• Possibilitat de compensació elèctrica amb energies renovables (fotovoltaic)• Considerat sistema renovable• Necessita acumulació, temps de resposta més lent

La primera opció per a edificis de consum d'energia gairebé zero ha de ser la producció d'ACS per mitjà d'un sistema d'energia renovable.

En el cas de la producció d'ACS, al CTE del 2019 s'exigeix una cobertura amb fonts d'energia renovables d'entre el 60% i el 70% segons la demanda energètica de l'edifici (per a demandes inferiors als 5.000 la cobertura pot ser del 60%).

Les energies renovables més utilitzades són l'aerotèrmia, l'energia solar tèrmica o fotovoltaica i la biomassa. Per a les bombes de calor destinades a la producció d'ACS, el CTE del 2019 indica que es poden considerar renovables sempre que el seu rendiment mitjà estacional ($SCOP_{dhw}$) sigui igual o superior a 2,5 quan siguin accionades elèctricament, i igual o superiors a 1,15 quan siguin accionades mitjançant energia tèrmica. El valor de $SCOP_{dhw}$ s'ha de determinar per a temperatures de preparació de l'ACS que no siguin inferiors a 45 °C.

Actualment, la norma UNE-EN 16147 estableix els assajos i requisits per al marcatge de les bombes de calor accionades elèctricament per a ACS.

Sigui quina sigui la instal·lació d'aigua calenta sanitària (ACS), és important incloure-hi un dipòsit d'acumulació. Aquests equips són imprescindibles, ja que faciliten l'escalfament progressiu de l'aigua i eviten puntes de consum i problemes de confort.

És convenient incloure aixetes termostàtiques en dutxes i banyeres, ja que eviten la despesa inútil d'aigua calenta perquè calibren automàticament i més ràpidament la temperatura.

Les instal·lacions amb fonts d'energia renovable i els sistemes d'autoconsum estan detallats en l'apartat 5 d'aquest quadern pràctic.

4.3. Sistemes de distribució

A. OPTIMITZACIÓ DE SISTEMES DE DISTRIBUCIÓ D'AIGUA

En sistemes en què es treballa amb l'aigua com a fluid termòfor es proposen les mesures generals següents per minimitzar el consum energètic associat a la distribució d'aquest fluid:

- En general, cal disposar d'instal·lacions de cabal variable, tant en el circuit primari com en els secundaris, per desacoblar la producció de la distribució i fer que les bombes de la distribució donin la pressió necessària en cada cas.

- Cal realitzar un bon disseny de les canonades frigorífiques sense variacions de secció brusques, cuidant les retencions, les vàlvules i l'equilibratge.

Adicionalment a les mesures generals anteriors, es proposen una sèrie d'estratègies d'optimització del sistema de distribució d'aigua amb l'objectiu de minimitzar el consum energètic de la instal·lació:

- Utilitzar un sistema de cabal variable en el circuit primari format per una bomba per a cada equip de producció controlada pel mateix equip o gestor, que assegurï en tot moment un cabal mínim del 40-50% coincident amb el punt de més rendiment dels equips de producció.
- Els grups de bombeig del secundari han d'estar constituïts per diverses bombes que no excedeixin els 20-25 l/s cadascuna d'elles (aquest valor pot variar en funció de les dimensions de l'edifici). Com més bombes, més parcialització de la càrrega i, per tant, millor comportament de la instal·lació a cabals baixos, així com un menor cabal mínim de recirculació, cosa que, en definitiva, es tradueix en un menor consum energètic.
- Les bombes dels circuits secundaris es poden regular segons diverses sondes de pressió diferencial distribuïdes en els punts més llunyans de la instal·lació perquè la bomba sempre proporcionï la mínima pressió en cadascuna d'elles. Aquesta estratègia proporciona un millor ajustament de la pressió mínima necessària de treball del grup de bombeig. El nombre de sondes depèn de les dimensions de l'edifici, de la ramificació del circuit, etc.
- Cal dissenyar els trens de bombeig amb vàlvules de dues vies en lloc de vàlvules de retenció, ja que la pèrdua de càrrega d'aquestes últimes és bastant més elevada.
- Cal utilitzar bombes amb motor d'eficiència energètica classe IE5.
- La recirculació del cabal mínim es pot dur a terme amb una vàlvula de reducció de pressió proporcional que ajusta el cabal mínim necessari per al funcionament de la bomba en funció de la pressió del circuit. Es tracta d'un sistema mecànic que permet assegurar el consum mínim en bombeig. Una altra forma d'aconseguir el mateix objectiu pot ser mitjançant l'ús de vàlvules electròniques de control de pressió independents amb un comptador de cabal integrat que deixen passar el cabal mínim necessari a cada instant.
- El fet d'utilitzar vàlvules de control independents de la pressió (PICV) en cada unitat terminal assegura un correcte funcionament de les unitats terminals des del primer moment i ajuda a mantenir un salt tèrmic més pròxim al de disseny, cosa que afavoreix el funcionament de la instal·lació.
- Per a climatitzadors es pot optar per vàlvules electròniques de control independent de pressió amb comptador d'energia integrat, cosa que permet aportar la potència exacta necessària en cada cas i minimitzar el cabal d'aigua.

B. OPTIMITZACIÓ DE SISTEMES DE DISTRIBUCIÓ D'AIRE

Els ventiladors són uns grans consumidors d'energia en els edificis, per aquest motiu és àmpliament recomanable optar per sistemes de volum d'aire variable amb ventiladors capaços de variar la seva velocitat, cabal i pressió per consumir-ne el necessari (no en excés) a mesura que canvien les necessitats de la instal·lació.

En funció dels diferents sistemes de tractament d'aire, s'han de seguir les recomanacions següents per minimitzar el consum energètic en ventilació i distribució d'aire:

- a) Ventiloinconvectors o *fan coils*. Els *fan coils* EC regulen la demanda de l'espai variant la velocitat del ventilador. Els mateixos ventiladors ja són lleugerament més eficients que els convencionals. El fet de modular la velocitat fa que la major part de les hores estiguin a revolucions baixes, amb la qual cosa es minimitza el consum elèctric i el soroll emès.
- b) Climatitzadors multizona: el fet d'emprar sistemes de cabal variable amb reguladors de cabal a cada estança és una solució molt utilitzada. Per optimitzar-la i treure'n el màxim profit, es recomana instal·lar la sonda de pressió absoluta del conducte al costat del regulador de cabal més allunyat o bé utilitzar un sistema de lectura de cabals de cada regulador i ajust de la freqüència de gir del ventilador. Ambdues solucions consideren la disminució de la pèrdua de càrrega pel conducte a càrregues parcials.
- c) Climatitzadors unizona: sovint s'utilitzen climatitzadors a cabal constant quan es tracten espais únics. El fet d'utilitzar sistemes que regulin la temperatura mitjançant la modulació del cabal d'aire sense l'**ús de comportes pot resultar summament eficient i només es requereix fer modificacions en el control del climatitzador.**
- d) Climatitzadors d'aire primari: cal incloure reguladors de cabal a cada espai comandats per sondes de CO₂ que permetin que el climatitzador funcioni com a cabal d'aire variable.
- e) Ventiladors d'extracció: tot i que siguin a cabal constant, han de disposar de regulador de velocitat o variador de freqüència per tal d'ajustar el punt de treball.

Aquells ventiladors que tinguin la doble funció de ventilar espais i mantenir la temperatura han de ser a cabal variable i regular en funció d'una sonda ambient. Adicionalment, s'han de tenir en compte les mesures següents:

- Un aspecte important en el disseny de la instal·lació de climatització i ventilació de l'edifici és la ubicació dels equips de tractament d'aire per tal de distribuir-los el més a prop possible dels espais a tractar. Com menys recorregut de conductes hi ha, menor és la pressió del ventilador, i com més parcialitzats són els sistemes, menor és l'SFP (*specific fan power*) dels equips de ventilació, amb la corresponent reducció del consum.
- Cal fer un bon disseny del pas dels conductes, i evitar obstruccions, transformacions brusques, distribucions inadequades i conductes flexibles. Tots aquests elements suposen pèrdues de pressió extra que es tradueixen en un consum més alt del ventilador, a part de generar sorolls molestos.
- Cal minimitzar l'ús de comportes tallafocs, ja que aporten pèrdua de càrrega.

C. SISTEMES D'ACUMULACIÓ ESTACIONAL

Als edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB), sobretot en el cas de la calefacció i de la producció d'ACS amb energia solar tèrmica, han de disposar d'emmagatzematge d'energia solar (dipòsit d'aigua estratificat). Això s'aconsegueix escalfant un material capaç d'emmagatzemar calor al seu interior fins que sigui necessari retornar aquesta energia a l'ambient, o al contrari en el cas de la refrigeració.

Una altra opció d'acumulació és la calefacció o refrigeració passiva d'un espai (acumulació estacional). En aquest cas, es vol crear una diferència de temperatura entre el material i el seu entorn. Per això, a l'hora de dissenyar un edifici, és important preveure zones o sectors situats adequadament o elements constructius

com els forjats actius perquè puguin emmagatzemar una quantitat suficient de calor durant el dia i mantenir-lo a una temperatura confortable durant la nit. A l'estiu, en canvi, el treball ha de ser invers: lliurar a l'exterior calor suficient durant la nit per mantenir fred l'interior durant el dia.

4.4. Sistemes terminals

A. SISTEMES PER RADIACIÓ (RADIADORS I TERRA RADIANT/REFRESCANT)

Aquest tipus d'instal·lació engloba aquells sistemes que, mitjançant la radiació i convecció dels seus cossos quan hi interfereix un fluid a certa temperatura, traspassen la temperatura a l'ambient per garantir una sensació de confort a l'usuari. Cal fer incidència en el fet que com més gran és la capacitat de l'emissor, millor treballa a baixa temperatura i menys consum d'energia exigeix als generadors de calor i/o fred.

a) Radiadors

Els radiadors escalfen les habitacions d'acord amb els principis de convecció i radiació: la convecció produeix una recirculació de l'aire en contacte amb la superfície de l'emissor, i la radiació emet calor en forma d'ones radiants. Els corrents de convecció i el gradient tèrmic que es genera a les sales o habitacions poden causar desconfort. A més, la calor del radiador sovint asseca l'aire i cal instal·lar-hi humidificadors.

En el cas dels radiadors de baixa temperatura, les vàlvules termostàtiques són els dispositius utilitzats per a una bona regulació tèrmica. Aquestes vàlvules regulen el flux d'aigua calenta segons la temperatura seleccionada. És a dir, la vàlvula es tanca quan la temperatura ambient s'aproxima a la temperatura seleccionada i desvia l'aigua calenta als radiadors que segueixen oberts. La instal·lació de vàlvules termostàtiques és senzilla i permet un estalvi d'energia del 10%.

b) Terra radiant/refrescant

Una altra opció és el terra radiant o sostre radiant, en què l'aigua calenta a baixa temperatura circula a través d'un tub de material plàstic, instal·lat al terra o al sostre de l'edifici. La mateixa instal·lació es pot garantir per al circuit de climatització, el que coneixem com a *terra refrescant* o *sostre refrescant*. El principal avantatge respecte dels radiadors convencionals és que el terra i el sostre radiants/refrescants escalfen i/o refrigeren l'aire de manera homogènia, allà on es trobin els usuaris.

En la instal·lació de terra, s'ha de tenir en compte que les canonades han de ser instal·lades durant la construcció de l'edifici o durant una reforma total. Per altra banda, el terra radiant limita el tipus de paviment que hi volem instal·lar, ja que la moqueta o el parquet funcionen com a aïllants de la calefacció, al contrari que els paviments ceràmics i petris.

Sistemes radiants	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> • Requereixen poc espai • Permeten temperatures més altes a l'estiu i més baixes a l'hivern • Donen millor sensació de confort • Les temperatures d'impulsió d'aigua permeten millors rendiments de producció i, per tant, més estalvi energètic • Necessiten poc manteniment 	<ul style="list-style-type: none"> • Risc de condensació quan treballa en fred • Requereix un bon aïllament a la part superior del sostre • L'aire primari s'ha de subministrar per separat

Taula 4.15. Valoració dels avantatges i inconvenients dels sistemes de climatització per aigua. Font: [Quadern pràctic 2. Estalvi i eficiència energètica en edificis públics](#).

El sostre radiant, però, no presenta aquests problemes. Pot instal·lar-se en qualsevol moment amb una obra civil mínima. Per aquest motiu, és especialment indicat per a edificis que estan construïts, ja que aporta tots els avantatges de la climatització per terra radiant.

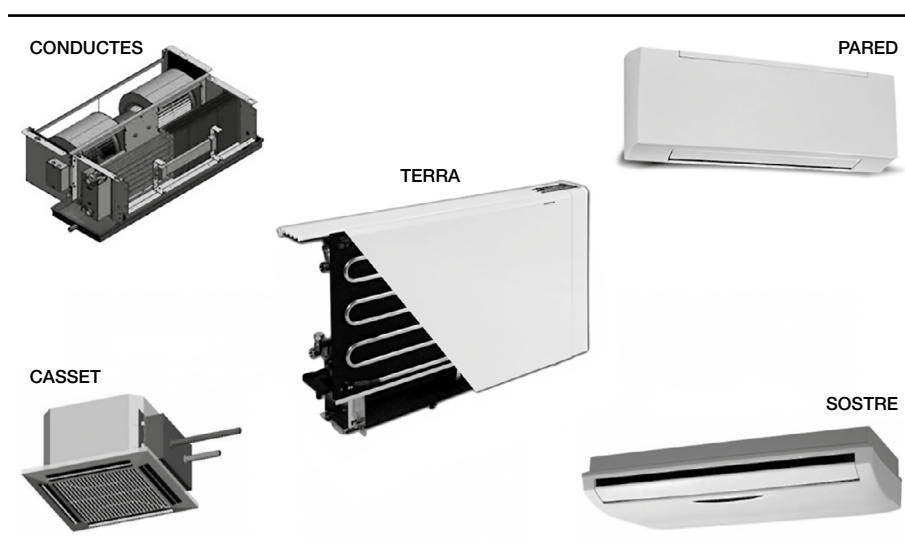
Per contra, el sostre radiant, a diferència del terra radiant en què la temperatura per superfície va des de terra fins als 2 metres, parteix des d'un volum no habitable, ja que s'entén que hi haurà pèrdues d'energia.

B. VENTILOCONVECTORS O FAN COILS I AEROTERMOS

El terme *fan coil* engloba els ventiloconvectors, que són equips formats per una bateria o intercanviador de fred o calor amb un ventilador.

Normalment, s'entén com a *fan coil* un equip d'aigua-aire, és a dir que el fluid refrigerant que s'utilitza és l'aigua, mentre que cal diferenciar-lo dels equips d'expansió directa o dels que utilitzen el gas com a refrigerant, que serien equips d'aire-aire.

Figura 4.12. Tipus de ventiloconvectors.
Font: www.airzone.es.



Les unitats *fan coils*, generalment, reben aigua calenta o freda des d'una refredadora remota o caldera i la fan circular per uns tubs. El ventilador impulsa l'aire i el fa passar pels tubs pels quals circula l'aigua i es produeix la termotransferència.

A continuació, l'aire passa per un filtre i surt a l'estança que s'està climatitzant, en forma d'aire fred o calor en funció de l'estança.

- a) Ventiloconvector o *fan coil* de dos tubs: té un tub d'impulsió o d'anada i un altre de retorn. Els tubs proporcionen aigua freda o calenta en funció de l'hora de l'any. Només poden proporcionar fred o calor, no poden donar els dos serveis alhora.
- b) Ventiloconvector o *fan coil* de quatre tubs: té dos tubs d'impulsió i dos tubs de retorn. Cada circuit funciona de manera independent i, per tant, poden arribar a produir fred i calor simultàniament.

La seva naturalesa compacta, que els fa ocupar molt poc espai, els converteix en una alternativa molt popular. És comú trobar-los tant en superfícies residencials com en comerços i altres instal·lacions terciàries, sobretot en aquelles de grans dimensions.

Sistemes amb aerotermos	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> • Requereixen poc espai • Control individual de la temperatura a cada local o zona • Permet donar calefacció i refrigeració al mateix temps (muntatge a quatre tubs) • Circulació de l'aire confinada al local • Bona distribució d'aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Cal preveure la ventilació • Cada aerotermos necessita drenatge dels condensats • Nivell de sorolls més elevat • Manteniment d'aerotermos: neteja de filtres... • Augment de l'humitat relativa si es treballa amb càrrega parcial

Taula 4.16. Valoració dels avantatges i inconvenients dels sistemes de climatització per aire. Font: [Quadern pràctic 2. Estalvi i eficiència energètica en edificis públics](#).

C. CLIMATITZADORS

Un climatitzador és una màquina que refreda la temperatura de l'aire a través d'un refrigerant natural com és l'aigua. Aquest recull l'aire procedent de l'exterior i l'humidifica a través de l'aigua i, així, aconsegueix refredar l'aire. Perquè tingui lloc aquest procés, es necessita que hi hagi un corrent d'aire i, a més, és convenient que l'espai compti amb sortides d'aire, és a dir, ventilació a través de portes i finestres perquè, al mateix temps que es refreda la temperatura de l'aire, aquest es renovi.

Els climatitzadors evaporatius estan especialment indicats per a climes secs, ja que augmenten la humitat relativa de l'ambient i la refresquen, de manera que en zones amb una humitat relativa alta no tenen tanta eficàcia com en zones de clima sec.

La climatització evaporativa és una climatització natural i ecològica, ja que funciona a través del principi d'evaporació, no produeix emissions de CO₂ i redueix l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle.

Aquest tipus d'instal·lació garanteix el baix consum energètic i pot arribar a reduir entre un 40-50% de consum respecte a altres sistemes de refrigeració. Els estalvis energètics varien en funció dels nivells d'humitat i temperatura, en climes secs, amb poca humitat ambient, és possible incrementar l'estalvi. Els principals avantatges d'aquests climatitzadors són els següents:

- Es poden usar tant en interior com en exterior, i, de fet, es recomana col·locar-los en llocs amb corrents d'aire o espais oberts perquè el seu funcionament sigui més efectiu.
- Poden arribar a baixar la temperatura entre 10 i 15 graus en zones seques.
- Són especialment indicats per a climes secs.
- Són fàcil d'instal·lar i no requereixen tubs de sortida.
- Necessiten poc manteniment.

D. BIGUES FREDES

El concepte de les bigues fredes és un sistema de condicionament de l'aire interior per a calefacció i refrigeració. Aquests aparells consisteixen en una estructura que, per la seva volumetria, facilita l'entrada i sortida d'aire a través seu. Al seu interior allotja un bescanviador per on circula fluid a baixa temperatura, que, per convecció, extreu energia de forma calorífica o frigorífica a l'aire que el travessa.

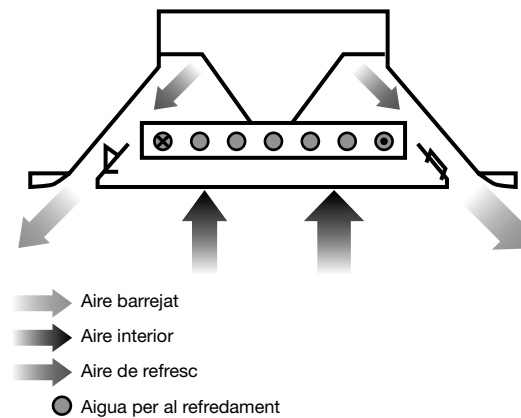
El funcionament consisteix en l'aportació d'aire primari a través del plènum d'expansió. Aquest aire es veu obligat a travessar una bateria de tubs proveïts d'aletes per optimitzar l'intercanvi de temperatura i, de nou, es barreja amb l'aire primari, que torna a ser injectat a l'interior del recinte per l'efecte Venturi.

Per tal que el sistema es desenvolupi de forma correcta, cal que es faci un circuit de forma uniforme al llarg de tota l'habitació. D'aquesta manera, s'aconsegueix que la repartició de l'aire sigui homogènia en tot l'espai. És un sistema que ofereix unes condicions tèrmiques ideals, és silencios i enèrgicament eficient.

Les bigues fredes, des del punt de vista tècnic, tenen diversos avantatges:

- És un sistema reversible, ja que es pot utilitzar tant per a calefacció com per a refrigeració, cosa que el fa un sistema molt interessant de cara al disseny d'instal·lacions d'espais diàfans.
- És un sistema que no utilitza desaigües, per tant, no hi ha drenatges, recollida de condensats, ni risc de cultiu indesitjat de bacteris, virus o larves.
- Existeixen diferents possibilitats amb bigues fredes: les passives que actuen per convecció o les actives que consten d'un sistema d'inducció de moviment d'aire que afavoreix la recirculació d'aquest.
- Permeten ser integrades amb les diferents geometries de fals sostre o adaptades als requeriments arquitectònics, en posició vertical i horitzontal.

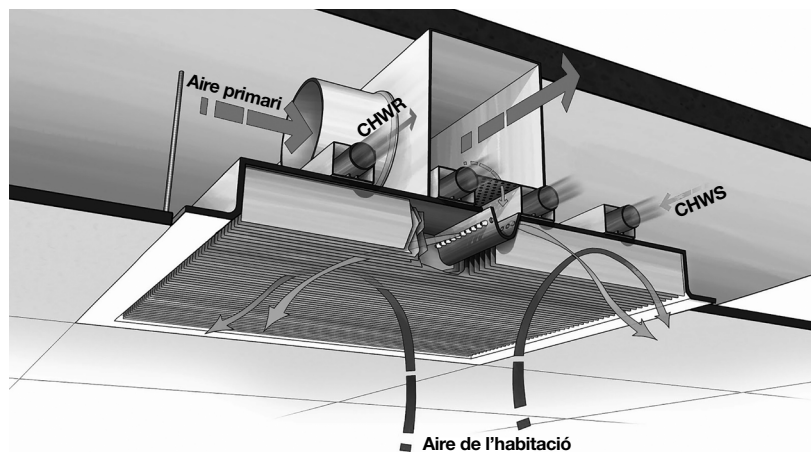
Figura 4.13. Secció de biga freda, amb el procés de tractament de l'aire: l'aire interior es refresca i després s'impulsa de nou a l'espai. Font: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/14186>.



E. INDUCTORS

Els inductors són un equip terminal per als sistemes aire-aigua (com un *fan coil* però sense ventilador). El seu funcionament es basa en l'efecte Venturi, pel qual un cabal d'aire temperat (normalment a pressió mitjana) arrossega una part del cabal del local per produir la barreja amb aquest i aconseguir la compensació de les càrregues tèrmiques.

Figura 4.14. Secció d'inductor, amb el procés de refredament de l'aire. Font: <http://instalaciones-termicas.blogspot.com/2013/10/sistemas-terminales-de-induccion-parte-1.html>.



Alguns d'aquests equips incorporen una bateria, que permet fer un ajust més fi de la temperatura i compensar càrregues tèrmiques elevades.

Els inductors estan formats per una o dues bateries d'aigua i una carcassa metàl·lica que disposa d'un plènum d'aire primari, toveres d'impulsió, zona de baixa pressió i elements de difusió per a l'aire d'impulsió i retorn.

L'aire primari s'aporta des d'una unitat de tractament d'aire i és distribuït per conductes d'alta velocitat sense necessitat de zonificar la distribució. El seu cabal sol ser equivalent a l'aire exterior per a ventilació.

Mitjançant un element regulador de temperatura i humitat, en aportar aire primari temperat i amb la humitat desitjada, es produeix l'energia cinètica per a la inducció de l'aire secundari per acció de les toveres.

Si el comparem amb els sistemes tradicionals de ventiloconvectors (*fan coils*), podem determinar els avantatges i inconvenients següents. Avantatges principals:

- Menys manteniment, ja que no disposen de parts mecàniques en els equips individuals.
- S'evita el soroll produït pels ventiladors.
- Possibilitat d'humectació/deshumectació de tots els locals, més favorable tractant l'aire primari.
- Menys consum elèctric en no disposar de ventiladors a les unitats terminals.
- Possibilitat d'integrar les lluminàries en el mateix equip.

Com a principals inconvenients, en podem destacar els següents:

- No es poden utilitzar filtres en les unitats terminals, ja que la pèrdua de pressió que originen afecta notablement la circulació per inducció de l'aire secundari.
- Possibilitat de més problemes de soroll a causa de l'alta velocitat de l'aire requerida si el sistema no està ben dimensionat i executat.

Sistemes d'inducció	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> • Poc espai ocupat. Secció conductes d'aire primari pot ser menor • Control individual a cada local • No hi ha elements mòbils en l'inductor • Adequat per a edificis amb particions sotmeses a canvis • Funcionament silenciosos (han d'estar ben calculats) • Bona distribució d'aire • Consum inferior (no tenen ventilador) • Baix cost de funcionament 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada inversió inicial • Instal·lació de disseny més complexa que amb aerotermos • Les unitats no es poden anular de manera individual

Taula 4.17. Valoració dels avantatges i inconvenients dels sistemes de climatització tot aire. Font: [Quadern pràctic 2. Estalvi i eficiència energètica en edificis públics](#).

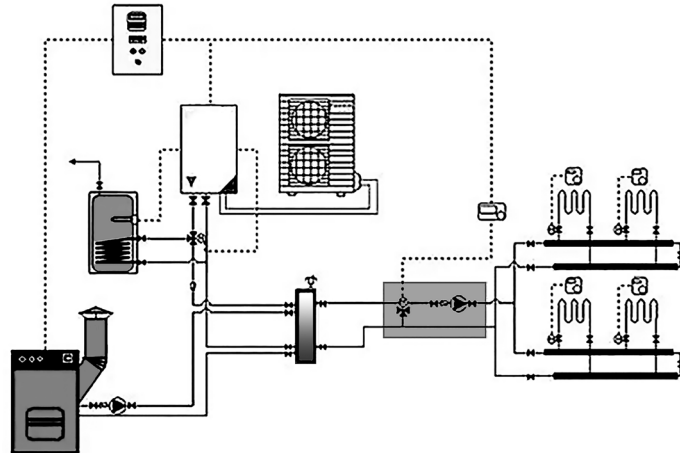
4.5. Sistemes híbrids

Els sistemes híbrids són els que combinen sistemes d'energia renovable i de combustibles fòssils. En aquest sentit, l'objectiu d'aquest tipus d'instal·lació són els nombrosos avantatges que obtenim en la combinació dels dos tipus de sistemes:

- Limiten l'ús i la dependència dels combustibles fòssils.
- Possibiliten l'ús de les energies renovables, com l'aerotèrmia, mitjançant la tecnologia de la bomba de calor, o la solar tèrmica, mitjançant l'ús de plaques solars tèrmiques.
- Proporcionen a l'usuari un notable estalvi econòmic.
- Redueixen les emissions de CO₂ a l'atmosfera.
- Ofereixen un alt rendiment i una elevada eficiència energètica.

En un sistema híbrid clàssic, els dos sistemes de producció es troben en disposició d'impulsar calor sobre el sistema d'emissió, de manera alternativa. La lògica de funcionament passa per una commutació equip convencional (caldera) – equip alternatiu (bomba de calor), en funció d'una temperatura exterior prefixada, o en sistemes més evolucionats depenent de la temperatura d'impulsió demandada en cada moment, i de la corba de funcionament prefixada per al sistema.

Figura 4.15. Esquema genèric d'una instal·lació híbrida amb bomba de calor aerotèrmica. Font: <https://www.caloryfrio.com/calesfaccion/calesfaccion-instalaciones-componetes/por-que-elegir-sistema-hibrido-calesfaccion.html>.



En aquest tipus de sistemes híbrids, quan la temperatura exterior no és molt baixa, l'equip alternatiu funciona com a generador únic, i aconsegueix la temperatura adequada amb un cost mínim. Quan la temperatura baixa del valor prefixat, l'equip convencional comença a funcionar com a suport de l'equip alternatiu i és llavors quan podem parlar d'un sistema híbrid de calefacció, ja que tots dos sistemes funcionen de manera simultània, depenent, això sí, dels valors parametritzats. Quan les condicions climatològiques són més extremes, l'equip convencional actua com a únic generador de calor, que impulsa als emissors tèrmics.

Com a equips alternatius de producció d'energia per fer de suport a l'equip convencional, podem trobar una bomba de calor aerotèrmica o bé un conjunt de captadors solars tèrmics:

- La primera opció ens proporciona l'ús de l'energia que conté l'aire exterior, traslladant-lo a través de fluids portadors a un intercanviador on aconseguiríem dotar de l'energia primària al fluid del circuit secundari.
- Per altra banda, en els circuits dels captadors solars, aconseguim poder escalfar un circuit tancat d'aigua a través de l'energia del sol que desemboca en un dipòsit acumulador amb el seu intercanviador respectiu.

4.6. Sistemes de ventilació

A. SELECCIÓ DE MOTORS EFICIENTS. TIPOLOGIES

Els sistemes de ventilació tenen la missió d'assegurar una bona qualitat de l'aire interior en els edificis; han d'eliminar els contaminants que es produeixen de forma habitual durant la seva utilització i alhora garantir el manteniment de la temperatura de confort de la climatització.

Els sistemes de ventilació han d'aportar el cabal suficient d'aire exterior, a més de dur a terme l'extracció de l'aire viciat pels contaminants. Els cabals de renovació de l'aire depenen de l'ús de l'edifici i de la seva ocupació. En aquest sentit, els edificis eficients han d'estar proveïts de sistemes de ventilació per mantenir una qualitat de l'aire interior òptima, controlar la humitat interior i poder obtenir el màxim estalvi energètic i màxim confort per als seus ocupants.

Per als edificis d'habitatges i ús residencial privat, els cabals de ventilació s'han de prendre del Document bàsic de salubritat, DB-HS-3, Qualitat de l'aire interior, del Codi tècnic de l'edificació, i per a la resta d'usos –oficines, hotels, equipaments sanitaris, docents, esportius i de concurrència pública–, el marc normatiu que estableix els cabals de ventilació és el RITE, Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis (RD 1027/2007, de 20 de juliol, o posterior) i concretament la instrucció tècnica IT 1.1.4.2.

Actualment, els edificis de nova construcció ja incorporen sistemes d'aïllament tèrmic i control de l'estanquitat de la seva envolupant, dirigits a reduir la demanda energètica i, per tant, a assolir la màxima eficiència energètica. En qualsevol cas, cal limitar les pèrdues d'energia. Bàsicament es distingeixen els punts crítics següents:

- Infiltracions d'aire incontrolades a través dels punts tèrmics dels tancaments, amb la millora de l'aïllament o substitució de l'element, o pèrdues a través d'obertures mal gestionades pels usuaris (portes o finestres obertes quan s'està tractant tèrmicament un espai). En el cas de les portes, cal dotar-les d'elements de tancament automàtic, i en els accessos des de l'exterior amb més trànsit de persones, cal preveure l'existència d'un vestíbul amb doble porta o el muntatge d'una cortina d'aire.
- Sobreventilació, el consum d'energia extra pel desplaçament mecànic de l'aire i, en zones climàtiques amb pol·lució ambiental elevada, no s'aporta una millor qualitat de l'aire interior.
- La proposta convencional de desenvolupar el càlcul del cabal d'aire interior per persona en funció de l'ocupació que pot ser variable o bé per la superfície del recinte a ventilar en metres quadrats i que també pot estar desocupat. Per tant, és molt més eficient aplicar el mètode per concentració de CO₂ mitjançant la utilització de sondes de detecció per a la qualitat de l'aire, associades a comportes de regulació en l'aportació d'aire exterior que proporcionin el cabal requerit per mantenir el nivell de diòxid de carboni dins dels valors permessos mesurats en parts per milió (ppm) en volum per damunt de la concentració en l'aire exterior expressada igualment en ppm.

Recomanacions:

Per tal de reduir la repercussió de la ventilació en el consum d'energia dels edificis, es proposen les recomanacions següents.

En el disseny dels sistemes de ventilació, els motors seleccionats per al moviment de l'aire han de tenir la màxima eficiència energètica. Per determinar el nivell d'eficiència d'una manera visible, la norma IEC 60034-30-1, revisada el 2014, va desenvolupar una classificació amb quatre tipus d'eficiència operativa en motors AC per a maquinària elèctrica rotativa, a partir de gener de 2017 els motors de 0,75 a 375 kW han de tenir obligatòriament un nivell mínim d'eficiència IE3.

També es recomana treballar amb ventiladors de baixes revolucions (< 900 rpm), tenint cura en la selecció dels motors i del traçat de les xarxes de conductes associades per poder desplaçar el mateix cabal d'aire requerit amb un consum

energètic inferior. Cal evitar dur a terme l'aportació d'aire exterior al retorn de les unitats de climatització de conductes, ja que amb cabals superiors al 10% del cabal de la unitat terminal penalitzem l'eficiència global del sistema, perquè en lloc de climatitzar l'espai es realitza el tractament tèrmic de l'aire introduït.

Es recomana la instal·lació de detectors de CO₂ que únicament accionen els ventiladors quan els valors mesurats no garanteixen la salubritat de l'aire. D'aquesta forma, s'aconsegueix estalvi energètic pels sistemes de ventilació, atès que es redueixen les hores de funcionament d'aquests.

B. RECUPERADOR DE CALOR DE L'AIRE INTERN. TIPOLOGIES

D'acord amb les exigències del Reglament d'instal·lacions tèrmiques als edificis (RITE), per als sistemes de ventilació dels edificis en què el cabal d'aire expulsat a l'exterior per mitjans mecànics és superior a 0,5 m³/s, (1.800 m³/h), s'ha de recuperar l'energia de l'aire expulsat per poder prerefrescar o preescalfar (segons el règim de funcionament estiu o hivern) l'aire exterior a introduir als espais climatitzats.

Figura 4.16. Secció de recuperador de calor amb un bypass.

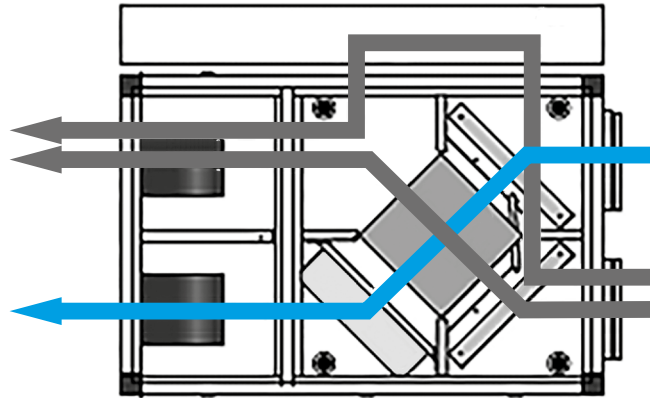
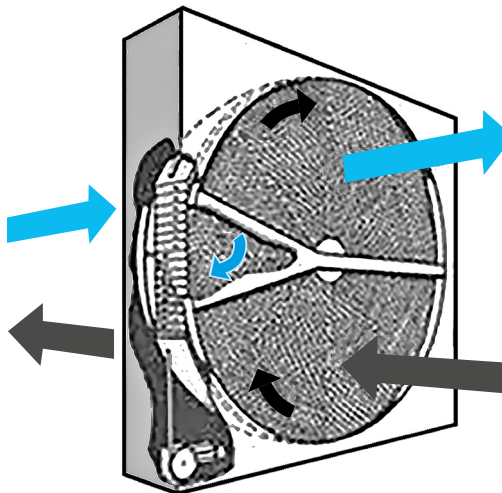


Figura 4.17. Vista d'un recuperador de calor rotatiu.



En el cas dels edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB), hauria de ser una obligació la incorporació de sistemes de ventilació amb recuperadors de calor.

El sistema de recuperació de calor més estès és el recuperador de plaques, que està proveït internament de plaques llises o ondulades, majoritàriament situades en forma creuada, cosa que permet la transferència de calor entre els dos fluxos d'aire contra corrent, l'aportació d'aire exterior i l'extracció de l'aire viciat, a través de les plaques sense que es barregin, amb una eficiència mínima del 50%.

També estan els recuperadors rotatius, que funcionen per una termoacumulació de calor a través d'un rotor cilíndric que disposa de milers de canals per al pas de l'aire, mentre aquest gira a velocitat lenta i efectua el bescanvi de l'aire expulsat, amb eficiències properes al 80%, però amb necessitats d'espai superiors.

Amb la utilització dels recuperadors de calor es redueixen de forma considerable les càrregues tèrmiques pel tractament de l'aire exterior de ventilació i el consum energètic de l'edifici.

C. REFREDAMENT I ESCALFAMENT GRATUÏTS (FREE COOLING I FREE HEATING)

Aquesta tecnologia associada als sistemes de ventilació es fonamenta en el control i l'aprofitament de les condicions climàtiques de l'exterior dels edificis per poder reduir l'aportació d'energia en la seva climatització.

La refrigeració natural (*free cooling*) és un mètode eficaç d'estalvi energètic, ja que permet l'aturada de la central de producció frigorífica quan les temperatures de l'aire exterior són favorables per al seu aprofitament en el tractament tèrmic dels recintes (l'entalpia de l'aire exterior és inferior a l'entalpia de l'aire utilitzat en la climatització).

De la mateixa manera la calefacció natural (*free heating*) dona la possibilitat d'aturar la central de producció de calor quan les temperatures de l'aire exterior són favorables per al seu aprofitament en calefacció (l'entalpia de l'aire exterior és superior a l'entalpia de l'aire utilitzat en la calefacció).

4.7. Tecnologies i estratègies d'il·luminació artificial

La il·luminació és un dels consums destacats d'un edifici, i pot representar més del 20% del consum energètic en els edificis d'ús terciari.

La il·luminació provinent de la llum natural fa una sensació de benestar directa i d'increment d'energia i presència als ocupants de l'edifici. D'aquesta manera, l'objectiu principal per als edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB) és potenciar l'ús de la llum natural sempre que sigui possible.

Un correcte disseny passiu ha de permetre aprofitar al màxim la llum natural al nostre edifici nZEB actuant en elements com l'orientació, la forma de l'edifici o la ubicació de les finestres. Una correcta estratègia en el disseny del sistema d'il·luminació ha de permetre assolir reduccions directes sobre el consum elèctric de l'edifici: a més ràtio de llum natural, menys necessitat de sistemes d'il·luminació artificial.

Així i tot, no és possible prescindir de la il·luminació artificial, per tant, com passa en les instal·lacions de calefacció i climatització, s'han de considerar aspectes de zonificació, ús, temps d'estada dels ocupants, criteris de regulació i control adequats, elecció de làmpades i lluminàries segons usos, etc.

A. TECNOLOGIES D'IL·LUMINACIÓ

Tan important és una òptima elecció del tipus de làmpades com de lluminàries a l'hora de fer un correcte disseny lumínic d'una estança. Així, per a una elecció òptima

del tipus de làmpades i lluminàries, cal considerar diferents criteris de qualitat i disseny, com ara els següents:

- El lloc d'instal·lació,
- l'ús que se'n farà,
- la freqüència d'encesa i apagat,
- la reproducció cromàtica de la font de llum,
- la temperatura de color,
- el temps d'encesa,
- l'eficàcia i la vida útil de la làmpada,
- la reflectància de les superfícies de l'espai.

D'aquesta manera, els paràmetres de control principals que s'han de considerar en un bon disseny lumínic són:

- luminància,
- uniformitat,
- Propietats de color.

Actualment, en el sector residencial i d'oficines, com també de cara al futur, la tendència és implementar l'ús gairebé exclusiu d'equips d'enllumenat de tipus LED per la seva alta eficiència demostrada. Així, depenent de l'ús al mercat, es pot trobar els tipus següents.

Taula 4.18.
Característiques
tècniques dels tipus de
làmpada.

Tipus de làmpada	Potències disponibles (W)	Flux (lm/W)	Vida útil (h)	Aplicació típica
Fluorescència lineal	13-80	67-100	15.000-24.000	General
Fluorescència compacta	57-88	57-88	15.000	General Localitzada Decorativa
Halogenurs metàl·lics	20-20.000	72-120	30.000	General Localitzada Decorativa
Tubs LED	10-25	50-80	15.000-60.000	Localitzada Decorativa
LED	2,5-13	50-80	15.000-50.000	General Localitzada Decorativa

B. ESTRATÈGIES DE CONTROL D'IL·LUMINACIÓ ARTIFICIAL

El primer objectiu del control de la il·luminació artificial és el de permetre'ns el control de l'encesa i l'apagat d'elements en funció de criteris bàsics com l'ocupació o el nivell de llum natural. Ara bé, actualment això no és suficient, i hi ha altres objectius del control de la il·luminació com ara permetre als usuaris adaptar les condicions d'il·luminació a les seves necessitats instantànies i crear ambients diferents per a un mateix lloc o estança.

D'aquesta manera, es poden distingir els tipus fonamentals de sistemes de regulació i control de la il·luminació següents:

- Regulació i control a demanda de l'usuari amb un interruptor manual, polsador, potenciòmetre o comandament a distància.
- Regulació de la il·luminació artificial segons l'aportació de llum natural a través de finestres, vidrieres, lluernes o claraboies.
- Control de l'encesa i l'apagada dependent de la presència a la sala.
- Regulació i control amb un sistema centralitzat de gestió.

Pel que fa al control i regulació de les necessitats d'enllumenat en funció de l'experiència de l'usuari, actualment existeixen diferents models que s'alineen totalment amb la filosofia nZEB. Aquests són:

a) Control 0-10V

El control 0-10V és un dels més senzills, es basa en la variació de corrent que arriba a les làmpades. Permet variar la intensitat lumínica de l'equip entre l'1% i el 100% de la seva potència.

Aquest control es realitza des d'un interruptor ubicat a la font d'alimentació dels equips.

b) Control DALI

El control DALI (per les seves sigles en anglès, *digital addressable lighting interface*) es basa en protocols de comunicació bidireccionals. Permet una adequada gestió de la il·luminació en grans superfícies del sector de l'edificació.

Possibilita la creació de diferents escenaris d'enllumenat i comunica entre equips i sistema l'aplicació d'uns o altres. La comunicació s'efectua mitjançant bus DALI sense polaritat.

Aquest protocol està més extensament desenvolupat a l'apartat 6.2 d'aquest document.

c) Protocol DMX

El protocol DMX (per les seves sigles en anglès, *digital multiplex*) és un protocol de comunicació aplicat principalment en façanes i enllumenat arquitectònic, com també en escenaris.

Regulació de la il·luminació artificial segons l'aportació de llum natural a través de finestres, vidrieres, lluernes o claraboies.

La sectorització dels circuits d'il·luminació permet minimitzar les necessitats d'il·luminació artificial i aprofitar els diferents nivells d'il·luminació natural incident per les obertures dels edificis.

Per a espais grans és important disposar de diferents circuits d'il·luminació que es puguin accionar per separat i en línies paral·leles a la façana que disposi de llum natural per poder aprofitar-la i il·luminar només els espais més interiors.

Així, mitjançant dispositius com sensors de llum natural, o control horari, i temporitzadors a cadascun dels circuits afectats es pot regular l'encesa de làmpades en funció dels nivells de llum natural.

Control de l'encesa i l'apagada dependent de la presència a la sala.

A determinades zones, com són les zones de pas o d'estada de poca durada com banys o magatzems, l'ideal és posar detectors de presència i temporitzadors que detectin la presència d'algú i activin l'enllumenat automàticament.

A més a més, sobretot en el cas de zones de pas amb incidència de llum natural, es recomana la instal·lació d'aquest tipus de dispositius amb sensor de llum natural per assolir l'estalvi energètic màxim: encesa només si no hi ha llum natural suficient i encesa només si hi ha presència d'usuaris.

Regulació i control amb un sistema centralitzat de gestió.

Independentment del sistema de control emprat per a cadascuna de les zones identificades, la tendència dels sistemes de gestió energètica actuals és que siguin complets i integrats i, per tant, inclouen una gestió centralitzada de l'enllumenat.

Aquesta gestió consisteix, principalment, en el control de l'estat dels circuits, actius o aturats, i dels horaris d'ocupació dels espais. És una tipologia de control principalment dedicada a espais amb horaris estables de funcionament, com ara oficines.

d) Taula de rendiments en funció dels valors d'eficiència energètica de la instal·lació (VEEI)

Per comparar l'eficiència energètica de la il·luminació, tot i que els nivells poden ser diferents segons les exigències i els espais, el Codi tècnic de l'edificació (CTE), al DB-HE-3, Condiciones de las instalaciones de iluminación, determina un VEEI límit (W/m^2), com s'indica al quadre següent.

Taula 4.19. Taula de rendiments en funció dels valors d'eficiència energètica de la instal·lació (VEEI). Font: imatge de la taula 3.1 del DB-HE-3, CTE.

Ús del recinte	VEEI límit
Administratiu en general	3.0
Andanes d'estacions de transport	3.0
Pavellons d'exposició o fires	3.0
Sales de diagnòstic	3.5
Aules i laboratoris	3.5
Habitacions d'hospital	4.0
Recintes interiors no descrits en aquesta llista	4.0
Zones comunes	4.0
Magatzems, arxius, sales tècniques i cuines	4.0
Pàrquings	4.0
Espais esportius	4.0
Estacions de transport	5.0
Supermercats, hipermercats i grans magatzems	5.0
Biblioteques, museus i galeries d'art	5.0
Zones comunes en edificis no residencials	6.0
Centres comercials (excloses les botigues)	6.0
Hoteleria i restauració	8.0
Religió en general	8.0
Salons d'actes, auditoris i sales d'usos múltiples i convencions, sales d'oci o espectacle, sales de reunions i sales de conferències	8.0
Botigues i petit comerç	8.0
Habitacions d'hotels, hostals, etc	10.0
Locals amb nivell d'il·luminació superior a 600 luxs	2.5

4.8. Tecnologies i estratègies en aparells elèctrics

A. CONCEPTES GENERALS I NORMATIVA

Per al disseny d'edificis de consum d'energia gairebé zero (nZEB), cal insistir que s'està avançant cap a una major electrificació dels edificis, atès que l'energia elèctrica podrà ser d'origen 100% renovable els propers anys. A més, cal impulsar que els edificis tinguin un alt percentatge d'autoconsum amb energies renovables.

L'electrificació dels edificis ha de permetre la descarbonització del model energètic a Catalunya de cara al 2050 en línia amb els objectius establerts en la Llei de canvi climàtic 16/2017. L'augment de la capacitat instal·lada de les energies renovables els propers anys ha de fer possible que l'ús de l'electricitat sigui cada cop més sostenible i amb menys emissions associades als combustibles fòssils.

A més, caldria:

- Incloure discriminadors de consum, en funció de les necessitats de l'edifici, sense haver d'instal·lar potències excessives, que poden influir negativament en els consums punta globals del país i que impliquen costos fixos directament proporcionals.
- Incloure equips i electrodomèstics de baix consum: ascensors, cuines, forns, etc., que disposin d'etiquetatge energètic A.
- Incloure infraestructures de telecomunicació per fer gestions telemàtiques, tant de treball com d'oci i d'informació, i evitar, per tant, desplaçaments innecessaris, amb el consegüent consum energètic.
- Vetllar perquè totes les instal·lacions siguin fàcilment accessibles per poder-ne fer un correcte manteniment, reparació i modificació.

B. EQUIPS ESPECÍFICS

a) Bateria de condensadors

En el cas d'edificis amb gran demanda d'energia elèctrica, i en funció de l'eficiència dels equips instal·lats (per exemple, amb concentracions d'equips de clima), es pot produir un desequilibri en la producció/demanda d'energia reactiva, de tal forma que, si aquest desequilibri supera els límits establerts per la normativa, arribaran penalitzacions des de la companyia de distribució elèctrica.

A més dels inconvenients econòmics, un excés d'energia reactiva a la nostra instal·lació produirà també:

- deteriorament a la instal·lació elèctrica,
- pèrdua de potència i
- baixades de tensió.

Així, per solucionar aquest problema, es recomana la instal·lació de bateries de condensadors que permetin equilibrar la demanda de reactiva de xarxa i minimitzar-ne els efectes.

b) Filtres harmònics

Els harmònics es produeixen arran d'una sèrie de corrents superposats, de freqüències múltiples de la fonamental. Aquestes modificacions o interferències són produïdes per equips com poden ser rectificadors d'ona, inversors, variadors de velocitat, etc. El resultat d'aquests harmònics pot variar des de sobreescalfaments, deteriorament de l'ona de tensió o disminució del factor de potència d'una instal·lació.

Els filtres d'harmònics permeten corregir aquest factor en les instal·lacions elèctriques que continguin càrregues no lineals.

4.9. Recàrrega de vehicles elèctrics

La recàrrega en aparcaments suposa la forma més eficient i econòmica de subministrament, tant pel que fa a les persones usuàries de vehicles elèctrics com per garantir uns preus assequibles del sistema elèctric per a la societat.

Cal ressaltar que, gràcies a la introducció dels vehicles elèctrics i la mobilitat elèctrica, es comença a emmagatzemar energia elèctrica directament als vehicles elèctrics quan estan connectats al punt de recàrrega domèstic vinculat, o bé en bateries elèctriques reutilitzades (aquelles que, quan ja no poden donar servei als

vehicles elèctrics, tenen una segona vida) instal·lades a l'edifici per acumular i gestionar l'energia elèctrica generada per autoconsum.

Un punt de recàrrega vinculat és el punt de recàrrega associat a una plaça d'aparcament, un vehicle elèctric concret i una persona usuària específica. Consta dels elements necessaris per connectar el vehicle elèctric a la xarxa elèctrica de distribució per a la seva recàrrega. La connexió pot ser simple o intel·ligent, en cas que disposi d'un sistema d'alimentació específic amb proteccions addicionals integrades i que permeti la comunicació entre el vehicle i la instal·lació. Als aparcaments comunitaris, es recomana la recàrrega intel·ligent, perquè ofereix més seguretat i la possibilitat de reduir els costos econòmics, ja que permet gestionar les càrregues de diversos vehicles elèctrics a la vegada.

Qualsevol persona propietària o llogatera d'una plaça d'aparcament té dret a poder-hi carregar un vehicle elèctric. Així, en cas que la plaça d'aparcament no disposi de la infraestructura necessària per a la recàrrega, d'acord amb el llibre cinquè del Codi civil de Catalunya, abans de fer-hi la instal·lació del punt de recàrrega, cal disposar-ne del projecte tècnic, que ha d'incloure una memòria i un pressupost, emès per un instal·lador. El projecte s'ha d'enviar a la presidència o a l'administració de la comunitat de l'aparcament amb 30 dies d'antelació a l'inici de l'obra per a la seva revisió i la comprovació de la documentació entregada. Un cop acabada la instal·lació, cal fer arribar a l'administració de la comunitat el certificat d'instal·lació elèctrica (CIE), que l'instal·lador ha de facilitar a la persona propietària o llogatera de la plaça.

La comunitat de propietaris i propietàries de l'aparcament pot proposar una infraestructura de recàrrega comuna que satisfaci les necessitats presents i futures de totes les persones propietàries de places d'aparcament, o bé pot proposar una alternativa raonable i adequada als interessos generals. En qualsevol cas, la comunitat de l'aparcament disposa d'aquests mateixos 30 dies per aprovar el projecte presentat per la persona interessada o per plantejar-hi una alternativa raonable, que ha d'estar justificada tècnicament. En cas que aquesta alternativa no es proposi en 30 dies, o bé es presenti i no es faci efectiva en 2 mesos, la persona interessada pot executar la instal·lació que havia proposat inicialment, complint sempre la normativa vigent i utilitzant les zones comunes de circulació i els muntants habilitats que la comunitat disposi o, si no n'hi ha, les zones que s'hagin aprovat en aquests mateixos 30 dies en acord comunitari per al desplegament de la instal·lació.

A. NORMATIVA D'APLICACIÓ: GUIA D'INTERPRETACIÓ ITC-BT-52

Les instal·lacions per a recàrrega de vehicles elèctrics estan regulades a través del RD 1052/2014, de 12 de desembre, pel qual s'aprova una nova instrucció tècnica complementària ITC-BT-52, «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», del Reglament electrotècnic per a baixa tensió, aprovat pel RD 842/2002, de 2 d'agost, i es modifiquen altres instruccions tècniques complementàries d'aquest.

L'apartat 3.2 de la ITC-BT-52 prescriu dotacions mínimes que cal preinstal·lar en zones d'aparcament o estacionaments (residencials i no residencials) de nova construcció. A més, hi ha en elaboració una modificació del CTE-2019 per transposar l'article 8 de la Directiva 844/2018 al marc jurídic espanyol en el CTE, en lloc de fer-ho en la ITC-BT-52, per evitar generar requisits divergents o fins i tot contradictoris en dues lleis del mateix rang.

Cal remarcar que no qualsevol presa de corrent és un sistema d'alimentació de vehicles elèctrics (SAVE). Hi ha uns connectors autoritzats segons la intensitat assignada i el tipus d'escomesa. A més, el circuit del punt de recàrrega de vehicle elèctric ha d'estar protegit amb una protecció elèctrica (MCB, automàtic corba C) i diferencial tipus A (RCD de 30 mA) de forma independent.

Les solucions de recàrrega d'interior han de tenir com a mínim una IP4x i una IK09.

Sistema de protecció de línia (SLP)

El sistema de protecció de línia o SLP és un dispositiu per protegir la línia general d'alimentació (LGA) i és sempre opcional. Cal tenir en compte que sense un SPL no hi ha factor de simultaneïtat. En canvi, amb aquest dispositiu el factor de simultaneïtat de càrregues de vehicle elèctric es redueix a 0,3 en pàrquing comunitari, motiu pel qual la càrrega per a vehicle elèctric es redueix en un 70%.

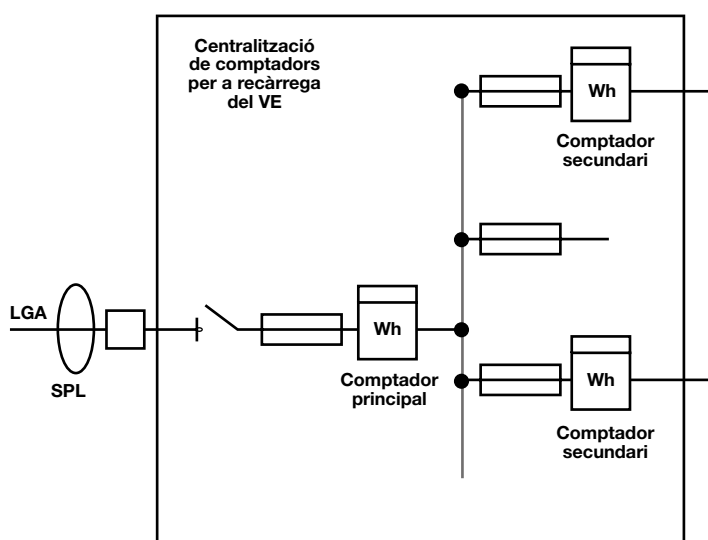


Figura 4.18. Esquema unifilar de centralització de comptadors per a vehicles elèctrics.

$$P_{\text{edifici}} - (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + 0,3 \cdot P_5 \text{ (s'instal·la l'SLP)}$$

$$P_{\text{edifici}} - (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + P_5 \text{ (no s'instal·la l'SLP)}$$

En què:

- P₁ Càrrega corresponent al conjunt d'habitatges obtinguda com el nombre d'habitatges pel coeficient de simultaneïtat de la taula 1 de la ICT-BT-10.
- P₂ Càrrega corresponent als serveis generals.
- P₃ Càrrega corresponent a locals comercials i oficines.
- P₄ Càrrega corresponent a garatges diferent de la recàrrega del vehicle elèctric.
- P₅ Càrrega prevista per a la recàrrega del vehicle elèctric.

D'acord amb la Directiva 844/2018, als edificis residencials nous i als edificis residencials en què es faci una reforma important amb més de 10 places d'aparcament, hi ha d'haver tubs, canalitzacions o safates que permetin la instal·lació futura de punts de recàrrega per a totes les places d'aparcament.

En nous aparcaments públics, d'empreses, cooperatives, oficines..., és necessària la instal·lació d'un punt de recàrrega per cada 40 places de pàrquing.

Als aparcaments existents, l'opció recomanada és la d'instal·lar-hi una infraestructura comuna, és a dir, fer-hi una preinstal·lació (tubs, canalitzacions,

safates...) accessible des de totes les places d'aparcament per a la recàrrega de vehicles elèctrics. Com que es tracta d'una infraestructura comuna, cal una majoria simple de les persones propietàries de places de l'aparcament que participin en la votació.

En ambdós casos, és important acompanyar la instal·lació elèctrica necessària per a la recàrrega dels vehicles elèctrics amb una instal·lació de connectivitat (accés a Internet amb wifi, 3G o superior, Ethernet...) que pugui garantir la comunicació d'un gestor amb els diferents punts de recàrrega de l'aparcament per poder realitzar una recàrrega intel·ligent optimitzant la potència elèctrica necessària en l'aparcament i el consum i cost energètic de les recàrregues dels usuaris.

B. ASPECTES RELLEVANTS A L'HORA DE PROJECTAR UNA INFRAESTRUCTURA DE RECÀRREGA EN UN EDIFICI

- Necessitat de potència elèctrica dels vehicles elèctrics que han d'usar la infraestructura. És a dir, si ha de ser una recàrrega estàndard o en algun cas caldrà una recàrrega més ràpida.
- Cal assegurar la connectivitat dels diferents punts de recàrrega de l'aparcament amb el sistema de control o gestor de l'aparcament per poder-hi aplicar intel·ligència i optimitzar els costos econòmics de la recàrrega.
- Tipus d'endolls (preses) per a la recàrrega dels diferents vehicles.
- Modes de recàrrega (nivell de connectivitat i proteccions) entre els punts de recàrrega i els vehicles.
- Sistema de gestió o administració individual per a cada vehicle pel terme de potència, energia i altres possibles costos associats a la infraestructura de recàrrega.

Per a més informació, podeu consultar l'apartat de publicacions de l'ICAEN en què podeu trobar els documents següents:

- Quadern pràctic 9. *Instal·lació d'infraestructura de recàrrega del vehicle elèctric* [https://icaen.gencat.cat/ca/1_icaen/publicacions/].
- R01. *Instal·lació de punts de recàrrega per a vehicles elèctrics en aparcaments comunitaris*. Document realitzat amb la col·laboració del Col·legi d'Administradors de Finques de Barcelona i Lleida que recull un seguit de recomanacions per a administradors de finques i comunitats de propietaris amb les millors pràctiques a l'hora de dotar els aparcaments comunitaris de la infraestructura necessària per subministrar energia als vehicles elèctrics [https://icaen.gencat.cat/ca/1_icaen/publicacions/].
- Infografia dinàmica sobre el vehicle elèctric [https://icaen.gencat.cat/ca/1_icaen/publicacions/].
- Infografia sobre tipologia de punts de recàrrega, esquemes d'instal·lació, com instal·lar un punt de recàrrega a l'edifici o habitatge [https://icaen.gencat.cat/ca/1_icaen/publicacions/].



5. Mesures relacionades amb la generació d'energia d'origen renovable i l'autoconsum energètic

A més de reduir la seva demanda energètica mitjançant un bon disseny estructural, un edifici nZEB busca també que aquesta demanda energètica mínima sigui subministrada amb fonts d'energia renovables.

A continuació, es presenten solucions tecnològiques per a l'aprofitament de fonts energètiques renovables integrables en un edifici nZEB. A l'hora de seleccionar la tecnologia més adequada per a cada cas, cal validar tant la viabilitat tècnica com econòmica en funció de l'espai disponible, les característiques constructives i, sobretot, les característiques de l'emplaçament.

5.1. Energia solar fotovoltaica

L'energia fotovoltaica és el resultat de la transformació de la radiació solar en electricitat. La transformació de la radiació en energia elèctrica es produeix mitjançant mòduls fotovoltaics, els quals són conjunts de cèl·lules formades per un material semiconductor que reacciona traslladant electrons amb l'arribada dels fotons de la llum solar.

L'aprofitament de la radiació solar per produir electricitat no genera CO₂ ni contaminació ambiental. El seu manteniment és senzill i la seva vida útil pot ser superior a vint anys. L'energia fotovoltaica per si mateixa no ens permet assolir una autonomia total de la xarxa elèctrica, però sí que es pot aconseguir combinada amb altres tecnologies de generació i acumulació. Podeu trobar més detalls d'aquesta tecnologia al [Quadern pràctic 4 de l'ICAEN, Energia solar fotovoltaica](#).

També es pot trobar més informació sobre l'autoconsum fotovoltaic a escala domèstica a la publicació *Autoconsum fotovoltaic domèstic: Consells i bones pràctiques*, número 3 de la col·lecció Recomanacions ICAEN.

És important destacar que, igual que passa amb la resta de tecnologies de generació energètica existents, a l'hora d'avaluar la integració de la tecnologia solar fotovoltaica en l'edificació, cal tenir en compte no només aspectes de viabilitat tecnològica i econòmica, sinó també aspectes de normativa vigent en els àmbits municipal, regional i estatal que puguin afectar la nostra instal·lació.

Avui dia, el panorama energètic global s'encamina cap a models de generació distribuïda, en els quals l'autoconsum fotovoltaic destaca com una aposta segura i que ha de ser un element més a integrar tant en edificis de nova construcció com en reformes d'edificis existents concebuts com a nZEB.

Per tant, la incorporació tant d'instal·lacions solar fotovoltaiques per a autoconsum elèctric com combinades amb altres tecnologies per a la producció d'energia tèrmica renovable, com és el tàndem d'instal·lacions fotovoltaiques més bomba de calor per a climatització i generació d'aigua calenta sanitària, és l'opció que s'està aplicant en la majoria de noves construccions i que també s'està imposant en projectes integrals de rehabilitació.

A. PRODUCCIÓ D'ENERGIA ELÈCTRICA AMB SOLAR FOTOVOLTAICA

a) Tecnologies per a integració en l'edificació

Si bé la tecnologia solar fotovoltaica s'identifica i comercialitza principalment en forma de mòduls fotovoltaics, actualment existeixen multitud de solucions tècniques, com els vidres solars, que permeten la integració de generació fotovoltaica d'una manera no invasiva arquitectònicament, com poden ser les pèrgoles decoratives, en usos exteriors (jardins o aparcaments), o les cobertes i vidres, en façanes o finestres.

Idealment, durant l'etapa de disseny de l'edifici ja s'hauria de tenir en compte la integració d'aquesta tecnologia en la seva superfície, i amb les diferents tecnologies disponibles al mercat, s'obre la porta a multitud de possibilitats d'integració en edificis.

Algunes alternatives d'integració d'energia solar fotovoltaica en edificis nZEB dependent de la tecnologia utilitzada són les següents:

- Mòduls fotovoltaics
 - Integrats en coberta
 - Integrats en façanes
 - Integrats en pèrgoles
- Vidre fotovoltaic
 - Doble pell de l'edifici
 - Finestres i lucernaris
 - Sostres transitables
 - Cobertes de pèrgoles arquitectòniques
 - Baranes de cobertes o terrasses
 - Làmines de protecció solar orientables

Figura 5.1. Imatge d'un sistema fotovoltaic integrat en un edifici.
Font: Onyx Solar.



b) Eficiència energètica de les tecnologies disponibles

L'eficiència energètica d'un mòdul o d'un dispositiu de generació d'energia fotovoltaica és la relació entre la radiació global incident sobre el mòdul i l'energia elèctrica lliurada pel dispositiu. Així, l'eficiència d'un mòdul estàndard es troba al

voltant del 16-17%, mentre que els mòduls d'alta eficiència estan per sobre del 20% d'eficiència elèctrica.

En el cas del vidre fotovoltaic, aquest material permet combinar les característiques d'un vidre comú –forma, color, transmitància, lluminositat, etc.– amb la generació d'energia elèctrica. Típicament, es pot trobar tant amb tecnologia de silici amorf com silici cristal·lí. El seu rendiment varia des d'un 3% a un 15%, respectivament.

Els valors típics d'eficiència energètica dels mòduls són els següents:

- Mòduls fotovoltaics
 1. Si-monocristal·lins, 22%-23%
 2. Si-policristal·lins, 15%-17%
 3. Si-amorfs, < 10%
- Vidre fotovoltaic
 1. Si-amorf, 2,5%-5%
 2. Si-cristal·lí, 15%-16%

B. ASPECTES NORMATIUS

Pel que fa a normativa que pugui afectar la nostra instal·lació, a continuació, s'indiquen els aspectes clau a tenir en compte en qualsevol instal·lació fotovoltaica d'autoconsum.

a) Exigències de ràtios mínimes de generació d'energia elèctrica

Cal aplicar la normativa més restrictiva en relació amb la generació d'energia elèctrica amb solar fotovoltaica. També és possible que hi hagi uns criteris de disseny acordats que siguin més exigents que la mateixa normativa.

b) Impacte urbanístic de la instal·lació

En alguns casos, a escala municipal hi poden haver normatives específiques que limitin l'impacte visual de la nostra instal·lació. Llavors, el requeriment més comú és, en el cas de la instal·lació de mòduls fotovoltaics sobre coberta, exigir una reculada mínima que assegurï que els mòduls no es veuen des del carrer. Cal fer esment que el text refós de la Llei d'urbanisme, arran de la modificació introduïda pel Decret llei 16/2019, de 26 de novembre, regula els permisos urbanístics necessaris, tot i que no entra a regular la disposició de les plaques als edificis.

c) Legalització tècnica de la instal·lació

La instal·lació fotovoltaica executada s'ha de legalitzar i s'ha d'incloure en el butlletí elèctric de l'edifici; quant a l'autoconsum, cal fer el tràmit per incloure la instal·lació al Registre d'Autoconsum de Catalunya.

Podeu aprofundir sobre la normativa vigent actualitzada i sobre els tràmits que cal fer des de la web de l'ICAEN: https://canalempresa.gencat.cat/ca/03_sectors_d_activitat/03_energia/Autoconsum.

5.2. Energia tèrmica renovable

A. ENERGIA SOLAR TÈRMICA ASSOCIADA A ACS

L'energia solar tèrmica es fonamenta en l'aprofitament de la calor que proporciona la insolació per transferir-la posteriorment a un element portador, normalment aigua o aire. La principal aplicació de l'energia solar tèrmica és la producció d'aigua calenta sanitària (ACS), tot i que també es pot utilitzar per a la climatització dels edificis.

Els sistemes de captació d'energia solar són elements a l'interior dels quals circula un fluid que absorbeix l'energia radiada pel sol. Els captadors d'aigua s'utilitzen quan es requereix l'obtenció d'aigua calenta per a edificis.

En relació amb el disseny d'instal·lacions solars tèrmiques, el percentatge de l'ACS anual que s'ha de cobrir és del 60% (percentatge que cal ajustar segons la zona climàtica). La intenció d'aquest percentatge és que en l'època de més radiació solar no sobri energia. És a dir, l'energia aportada pels captadors solars ha de ser tal que en els mesos més favorables cobreixi el 100% de les necessitats. La resta de l'energia, la que no aportin els captadors, s'ha d'obtenir d'un sistema auxiliar, que pot funcionar amb aerotèrmia, biomassa, electricitat, gas o altres. En qualsevol cas, aquest sistema auxiliar ha de ser també renovable o d'alta eficiència energètica per complir amb el CTE DB-HE-4.

Pel que fa a la contribució mínima d'energia renovable, en l'àmbit de l'Estat espanyol, hi ha la regulació del Codi tècnic de l'edificació (DB-HE-4), apartat «Ahorro de energía». A més, a Catalunya, el Decret 21/2006 regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència als edificis i marca paràmetres de dimensionament i aportacions mínimes de les instal·lacions d'energia solar tèrmica en edificis de nova construcció.

Comparativa entre normativa estatal i autonòmica:

Normativa autonòmica de Catalunya: Decret 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis.

Taula 5.1. Annex 2. Contribució mínima d'energia solar en la producció d'aigua calenta sanitària segons les zones climàtiques.

Decret d'ecoeficiència – Annex 2			
Demanda total ACS de l'edifici	Cobertura solar mínima segons la zona climàtica		
	II	III	IV
50 a 5.000 litres	40%	50%	60%
5.001 a 6.000 litres	40%	55%	65%
6.001 a 7.000 litres	40%	65%	70%
7.001 a 8.000 litres	45%	65%	70%
8.001 a 9.000 litres	55%	65%	70%
9.001 a 10.000 litres	55%	70%	70%
10.001 a 12.500 litres	65%	70%	70%
> 12.500 litres	70%	70%	70%

*En els edificis en què es vulgui utilitzar resistències elèctriques amb efecte Joule en la producció d'aigua calenta sanitària, la producció solar mínima en qualsevol zona ha de ser del 70%.

Amb l'entrada en vigor del nou CTE 2019, només per als casos de demandes inferiors a 100 l/d les exigències del decret són més exigents.

Normativa estatal: CTE, secció HE-4, «Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria».

Taula 5.2. Contribució renovable mínima per a ACS i/o climatització de piscina.

CTE DB-HE-4	
Demanda total ACS de l'edifici	Cobertura solar mínima segons la zona climàtica
100 a 5.000 litres	60%
> 5.000 litres	70%

En el CTE del 2019 s'elimina la classificació per zones climàtiques i se simplifiquen els percentatges de contribució renovable depenent del consum. Això fa que s'hagi

de comprovar en cada cas quina normativa s'ha de seguir, i s'ha d'aplicar la més restrictiva.

En línia amb el que s'ha comentat anteriorment, l'energia solar tèrmica pot ser un complement al sistema de calefacció, sobretot per a sistemes que utilitzin aigua d'impulsió a menys de 60 °C per a calefacció. Els sistemes més adients són els de terra o sostre radiant, ja que la temperatura del fluid que circula a través dels circuits és d'uns 45 °C. Un altre sistema a tenir en compte són els ventiloconvectors (*fan coils*) o aerotermos.

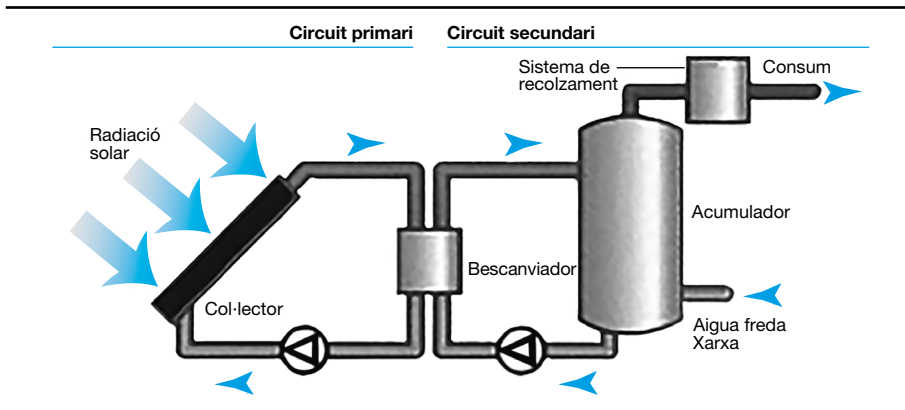


Figura 5.2. Esquema d'aprofitament de la radiació solar en un captador pla.

A Catalunya, els nivells de radiació solar fan que l'energia solar tèrmica sigui una solució òptima (tant des d'un punt de vista ambiental com econòmic) per produir aigua calenta sanitària i com a suport a la calefacció. L'elecció i la configuració òptimes del sistema dependran de les necessitats que vulguem cobrir, del nivell d'insolació i de l'espai disponible.

Es poden diferenciar els diferents tipus d'instal·lacions segons la superfície de captació entre petites, mitjanes o grans. D'acord amb aquesta classificació, es presenten les recomanacions següents:

Instal·lacions petites (fins a 10 m²):

- El fet d'utilitzar sistemes prefabricats facilita el muntatge de la instal·lació i evita possibles problemes de disseny.
- Aquests sistemes poden ser del tipus termosifó o de circulació forçada en funció de les característiques de l'edifici i les condicions de radiació i temperatura de la localització.

Instal·lacions mitjanes (10-100 m²):

- Instal·lacions amb circulació forçada i intercanviador de calor.
- En instal·lacions de fins a 50 m², per tal de reduir-ne el manteniment i per raons econòmiques, és adient utilitzar sistemes d'intercanvi de calor interiors a l'acumulador.
- En instal·lacions més grans, és recomanable utilitzar sistemes d'intercanvi de calor externs.

Instal·lacions grans (més de 100 m²):

- El fet d'utilitzar acumuladors d'inèrcia en lloc d'acumuladors d'aigua calenta sanitària pot compensar econòmicament a mesura que augmenta la mida de la

instal·lació pel menor cost d'inversió, la reducció del volum d'aigua subjecte a la prevenció de la legionel·losi i la disminució de les necessitats de manteniment.

Instal·lacions en edificis multihabitatge:

- Instal·lació solar i sistemes de suport centralitzats acostuma a ser la solució més eficient si s'utilitza durant tot l'any.
- Instal·lació solar centralitzada amb sistema de suport distribuït.
- Instal·lació solar amb acumulació distribuïda.
- Instal·lació solar centralitzada amb intercanvi distribuït.
- Instal·lació amb acumulació solar centralitzada i distribuïda.

Taula 5.3. Comparació de criteris per a les diferents configuracions.
Font: *Guia tècnica de energia solar tèrmica* (edició v1.0, abril de 2020).

	1	2	3	4	5
Denominació	Instal·lació solar i sistema de suport centralitzats	Instal·lació solar centralitzada amb sistema de suport distribuït	Instal·lació solar amb acumulació distribuïda	Instal·lació solar centralitzada amb intercanvi distribuït	Instal·lació doble acumulació solar, centralitzada i distribuïda
Alimentació d'aigua freda a la instal·lació solar	Centralitzada	Centralitzada	Individual	Individual	Individual
Comptador del consum d'aigua freda de l'empresa de subministrament	Per a consum d'aigua calenta centralitzada de la comunitat	Per a consum d'aigua calenta centralitzada de la comunitat	Per a consum d'aigua freda i preparació d'ACS individual per habitatge	Per a consum d'aigua freda i preparació d'ACS individual per habitatge	Per a consum d'aigua freda i preparació d'ACS individual per habitatge
Comptador del consum individual d'aigua calenta	Necessari. Gestió per la comunitat	Necessari. Gestió per la comunitat	Necessari	Necessari	Necessari
Sistema de suport	Centralitzat	Individual	Individual	Individual	Individual
Eficiència del sistema de suport	Màxim	Menor	Menor	Menor	Menor
Temperatures del circuit de distribució	Temperatura de distribució (55 °C)	Temp. solar de subministr. (30 a 55 °C)	Temp. de càrrega (50-60 °C)	Temp. de descàrrega (50-60 °C)	Temp. càrrega i descàrrega (50-60 °C)
Temps de funcionament del circuit de distribució	24 h/dia	I/V: 10/20 h/dia	I/V: 6/9 h/dia	I/V: 10/20 h/dia	I/V: 10/20 h/dia
Pèrdues tèrmiques en distribució	Per disponibilitat a temp. de preparació	Per disponibilitat a temp. solar	Circuit de càrrega	Circuit de descàrrega	Circuit de descàrrega
Tipus de pèrdues tèrmiques en acumulació solar i quantitat	Centralitzades	Centralitzades	Centralitzades	Centralitzades	Centralitzades i distribuïdes
	Menys	Menys	Més	Menys	La que més
Espais per a acumulació solar	Centralitzada	Centralitzat	Individual	Individual	Individual
Espais per a sistema de suport	Centralitzat	Individual	Individual	Individual	Individual
Ús d'espais individuals	1 (cap)	2	5 (màxim)	3	4
Ús d'espais col·lectius	5 (màxim)	3-4	1 (mínim)	3-4	2
Costos d'inversió	1 (econòmic)	2	3	4	5 (costós)
Costos d'explotació d'energia	Centralitzat	Individual	Individual	Individual	Individual
Costos d'explotació manteniment	Centralitzat	Centralitzat i individual	Centralitzat i individual	Centralitzat i individual	Centralitzat i individual

El nou Reial decret 736/2020, de 4 d'agost, pel qual es regula la comptabilització de consums individuals a les instal·lacions tèrmiques dels edificis incorpora l'obligació, sempre que sigui viable tècnicament i rendible econòmicament, de disposar de comptadors individuals que permetin conèixer i optimitzar el consum real d'energia.

En aquelles instal·lacions de producció d'aigua calenta sanitària en què s'han d'adoptar mesures per a la prevenció de la legionel·losi, els materials i equips dels acumuladors i dels circuits d'aigua calenta sanitària han d'estar dissenyats perquè es pugui fer el tractament de xoc tèrmic a 70 °C.

Un dels principals factors a tenir en compte és que la màxima producció de calor té lloc en moments de menys demanda (migdia, i en període calorós). Això fa que sigui indiscutible la necessitat d'acumulació i que calgui dissenyar estratègies perquè la instal·lació no se sobreescalfi durant l'estiu (mitjançant dissipadors de calor o cobrint adientment els mòduls).

S'ha de tenir en compte que el manteniment preventiu és de vital importància per a un bon funcionament d'aquest tipus d'instal·lacions i per assegurar que tots els seus components funcionin correctament. D'aquesta forma s'aconsegueixen millors rendiments i s'allarga la vida útil de les plaques d'energia solar.

Un manteniment deficient o una mala posada en funcionament incideixen en un progressiu deteriorament de la instal·lació, un mal funcionament i l'ús innecessari d'escalfadors auxiliars, ja siguin elèctrics o de gas.

Podeu aprofundir sobre aquesta tecnologia en el [Quadern pràctic 3 de l'ICAEN, Energia solar tèrmica](#).

B. CONDENSACIÓ PER BOMBA DE CALOR + PLACA SOLAR. SOLARTÈRMIA

Aquests tipus d'instal·lacions combinen la tecnologia de les bombes de calor d'alta eficiència amb suport de l'energia solar tèrmica per a la producció d'ACS.

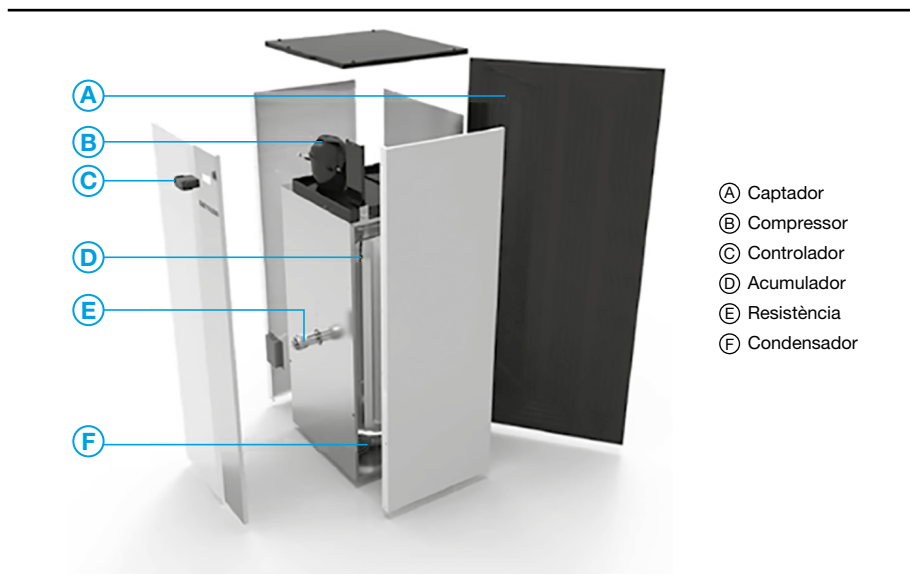
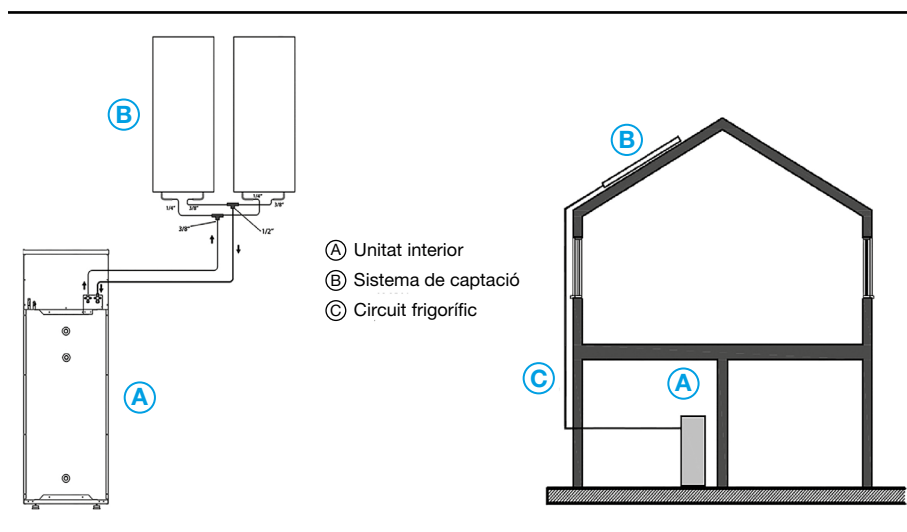


Figura 5.3. Bomba de calor aerotèrmica per escalfar aigua calenta sanitària alimentada amb placa solar. Font: web de Baetulenn.

Aquests sistemes estan formats per una unitat interior que actua com a condensador i un col·lector solar termodinàmic que fa la funció d'evaporador. Normalment el dipòsit d'acumulació d'ACS va integrat en la unitat interior.

La diferència principal amb un sistema habitual de bomba de calor i energia solar tèrmica és que el fluid que circula pel col·lector solar no és aigua, sinó el gas refrigerant provinent del compressor de la bomba de calor per fer el procés d'evaporació frigorífica.

Figura 5.4. Alçat de bomba de calor aerotèrmica per escalfar aigua calenta sanitària alimentada amb placa solar. Situació d'aquests elements en la secció d'un edifici. Font: Web de Baetulenn.



La instal·lació d'aquests tipus d'equips és molt més senzilla i flexible, ja que en el circuit de producció no hi ha circuit hidràulic com en un sistema d'energia solar tèrmica. De la mateixa manera, el manteniment necessari d'aquestes instal·lacions és mínim.

Un aspecte important que cal tenir en compte és que aquests equips poden produir aigua calenta sanitària a 60 °C i, per tant, garanteixen un sistema de prevenció de legionel·losi eficient.

Les diferències principals entre el sistema termodinàmic i el solar tèrmic convencional són les següents:

- Aprofitament de l'energia solar per fer l'evaporació frigorífica, gràcies a això s'aconsegueixen COP d'entre 3 i 7.
- Equip sense manteniment.
- Equip 100% autònom, no són necessaris sistemes de suport com ara calderes o acumuladors elèctrics.
- No hi ha excedents d'energia, com passa amb la solar, solament es genera el que necessita la instal·lació.
- Sistema d'instal·lació molt ràpid, 30% de reducció de costos respecte de la solar tèrmica.

Exemple comparatiu entre un sistema per a producció d'ACS amb energia solar tèrmica i suport amb caldera de gas i un sistema de bomba de calor amb placa solar:

- Ubicació de l'edifici: Sant Joan Despí
- Estimació de consum d'ACS diària de l'edifici: 1.075 l/dia
- Acumulador de 1.000 litres
- Cobertura solar mínima: 60% (Decret d'eficiència i CTE 2019)
- Captador solar de disseny: Baetulenn BAESOL B20 T21, 4 unitats

	Ocupació	Consum (l)	Demanda energètica (kWh)	Aportació solar (kWh)	Temperatura aigua	Cobertura solar (%)
Gener	100,00%	33.325,00	1.927,48	616,48	10,27	31,98%
Febrer	100,00%	30.100,00	1.725,19	712,76	10,72	41,31%
Març	100,00%	33.325,00	1.845,31	980,95	12,39	53,16%
Abril	100,00%	32.250,00	1.719,77	1.122,66	14,15	65,28%
Maig	100,00%	33.325,00	1.680,97	1.294,33	16,63	77,00%
Juny	100,00%	32.250,00	1.523,22	1.305,39	19,39	85,70%
Juliol	100,00%	33.325,00	1.515,08	1.372,66	20,91	90,60%
Agost	100,00%	33.325,00	1.455,78	1.243,59	22,44	85,42%
Setembre	100,00%	32.250,00	1.442,95	1.010,12	21,53	70,00%
Octubre	100,00%	33.325,00	1.586,40	840,07	19,07	52,95%
Novembre	100,00%	32.250,00	1.689,76	631,18	14,95	37,35%
Desembre	100,00%	33.325,00	1.872,05	571,77	11,70	30,54%
Anual	100,00%	392.375,00	19.983,96	11.701,97	16,18	60,11%

Taula 5.4. Cobertura de consum d'aigua calenta sanitària (ACS) per la instal·lació solar tèrmica, al llarg de l'any.

Les necessitats energètiques de l'edifici per a la producció d'ACS són de 19.983,96 kWh/any, dels quals s'ha de cobrir un 60% amb una instal·lació de plaques solars tèrmiques, és a dir, 11.701,97 kWh/any.

Segons les necessitats d'ACS i la cobertura solar exigida, els resultats obtinguts són els següents:

- Energia convencional: gas

	Ocupació	Consum (l)	Demanda energètica (kWh)	Cobertura solar (%)	Consum auxiliar (kWh)	Kg CO ₂ auxiliar
Gener	100,00%	33.325,00	1.927,48	31,98%	1.311,00	330,37
Febrer	100,00%	30.100,00	1.725,19	41,31%	1.012,43	255,13
Març	100,00%	33.325,00	1.845,31	53,16%	864,36	217,82
Abril	100,00%	32.250,00	1.719,77	65,28%	597,10	150,47
Maig	100,00%	33.325,00	1.680,97	77,00%	386,64	97,43
Juny	100,00%	32.250,00	1.523,22	85,70%	217,83	54,89
Juliol	100,00%	33.325,00	1.515,08	90,60%	142,42	35,89
Agost	100,00%	33.325,00	1.455,78	85,42%	212,19	53,47
Setembre	100,00%	32.250,00	1.442,95	70,00%	432,83	109,07
Octubre	100,00%	33.325,00	1.586,40	52,95%	746,33	188,08
Novembre	100,00%	32.250,00	1.689,76	37,35%	1.058,58	266,76
Desembre	100,00%	33.325,00	1.872,05	30,54%	1.300,28	327,67
Anual	100,00%	392.375,00	19.983,96	60,11%	8.282,00	2.087,06

Taula 5.5. Consum energètic i emissions utilitzant gas natural.

Factor de conversió	0,25 kWh / Kg CO ₂
Rendiment auxiliar	92,00%

(Segons el document IDAE «FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ Y COEFICIENTES DE PASO A ENERGÍA PRIMARIA DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA FINAL CONSUMIDAS EN EL SECTOR DE EDIFICIOS EN ESPAÑA», d'entrada en vigor a partir de gener del 2016)

A la taula anterior es pot apreciar que aquesta proposta expulsa a l'atmosfera 2.087,06 kg de CO₂.

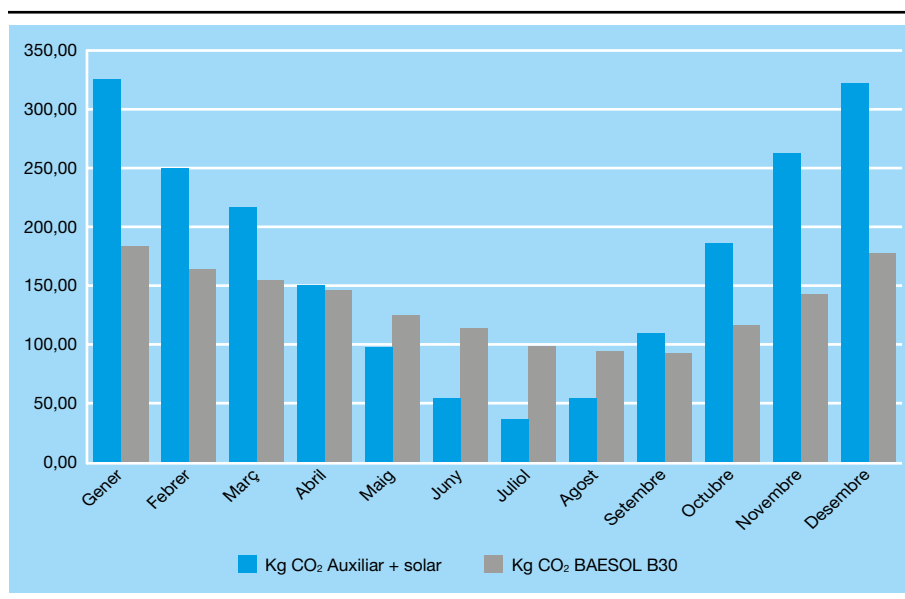
A continuació, s'exposen els resultats obtinguts amb el sistema de bomba de calor sol-aigua per a la producció d'ACS, amb 2 unitats BAESOL BSL500.

Taula 5.6. Consum i emissions utilitzant una bomba de calor sol-aigua per la producció d'ACS.

	Temperatura aigua	Demanda energètica (kWh)	Temperatura ambient (°C)	SCOP	Consum elèctric (kWh)	Kg CO ₂
Gener	10,27	1.927,48	8,80	3,45	559,35	185,14
Febrer	10,72	1.725,19	9,50	3,45	500,64	165,71
Març	12,39	1.845,31	11,10	3,90	473,59	156,76
Abril	14,15	1.719,77	12,80	3,90	441,37	146,09
Maig	16,63	1.680,97	16,00	4,45	377,39	124,92
Juny	19,39	1.523,22	19,70	4,45	341,98	113,19
Juliol	20,91	1.515,08	22,90	5,17	293,13	97,03
Agost	22,44	1.455,78	23,00	5,17	281,66	93,23
Setembre	21,53	1.442,95	21,00	5,17	279,18	92,41
Octubre	19,07	1.586,40	17,10	4,45	356,16	117,89
Novembre	14,95	1.689,76	12,50	3,90	433,67	143,54
Desembre	11,70	1.872,05	9,60	3,45	543,26	179,82
Anual	16,18	19.983,96	15,33	4,24	4.711,76	1.559,59

Factor de conversió	0,33 kWh / Kg CO ₂	
Estalvi CO ₂ (kg CO ₂)	527,47	25,27%

Gràfic 5.1. Resultats d'emissions comparant el sistema de bomba de calor sol-aigua per a la producció d'ACS, amb solartèmia



D'acord amb els resultats obtinguts, es pot veure que amb el sistema de bomba de calor amb placa solar es redueixen les emissions de CO₂ al voltant d'un 25% respecte de les plaques solars tèrmiques convencionals amb suport de caldera de gas.

Emissions CO ₂	
Auxiliar + solar	2.087,06 Kg CO ₂
Solartèrmia	1.559,59 Kg CO ₂

Comparativa energia primària			
	Consum total (kWh)	Energia primària (kWh)	Estalvi
Solar + caldera	8.282,00	9.855,58	
Solartèrmia	4.711,76	9.112,54	7.54%
(Factor Ep Gas = 1,190) (Factor Ep Elec = 1,934)			

Taula 5.7. Comparativa de consum d'energia primària entre un sistema d'energia solar tèrmica i caldera i una solartèrmia.

A continuació s'exposen els resultats obtinguts amb el mateix equip, segons les dades del fabricant, d'acord amb les condicions de la norma UNE 16147 per a ACS de 3,5.

Model	BSLDDS160A	BSLDDS200A	BSLDDS260A	BSLDDS500A	
Acumulador					
Volum acumulador	l	160	200	260	500
Pressió màx. serv.	bar	6	6	6	6
Material	DUPLEX 2205				
Consum per disposició de servei	KWh/24h	0,88	0,88	0,88	0,88
EN16147					
Temps de producció aire ext. 7 °C	h:mim	7:24	9:12	12:03	11:05
Màxima extracció a 40 °C	l	240	300	390	750
Temperatura màxima imp. bomba de calor	°C	60	60	60	60
Classe d'eficiència energètica LOT1		A+	A+	A+	A+
Perfil de càrrega		L	L	XL	XL

Taula 5.8. Resultats del mateix equip amb diferents acumuladors.

Captador termodinàmic					
Dimensions captador	mm	1700x800	1700x800	1700x800	1700x800
Nombre de panells		1	1	1	2
Pressió màxima	bar	10	10	10	10
Connexions frigorífiques		¼" ¾"	¼" ¾"	¼" ¾"	¾" ½"
Distància màxima	m	12	12	12	12
Distància màxima vertical	m	8	8	8	8

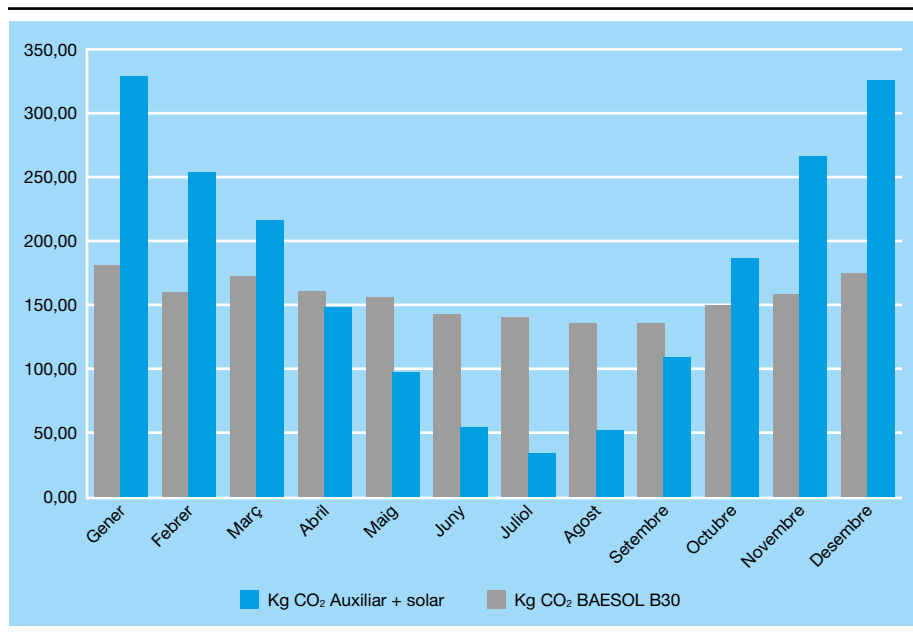
Bomba de calor								
		Ext.	Imp.					
ACS	14	55	Cap. Nom/Consumo COP	kW	1,29/0,49 2,63	1,29/0,49 2,63	1,29/0,49 2,63	3,68/1,05 3,50
	7	55	Cap. Nom/Consumo COP	kW	0,92/0,41 2,23	1,12/0,40 2,23	1,12/0,40 2,23	2,36/0,89 2,65

Taula 5.9. Resultats de consums i emissions al llarg de l'any.

	Temperatura aigua	Demanda energètica (kWh)	Temperatura ambient (°C)	SCOP _{dhw}	Consum elèctric (kWh)	kg CO ₂
Gener	10,27	1.927,48	8,8	3,5	550,71	181,73
Febrer	10,72	1.725,19	9,5	3,5	492,91	162,66
Març	12,39	1.845,31	11,1	3,5	527,23	173,99
Abril	14,15	1.719,77	12,8	3,5	491,36	162,15
Maig	16,63	1.680,97	16	3,5	480,28	158,49
Juny	19,39	1.523,22	19,7	3,5	435,21	143,62
Juliol	20,91	1.515,08	22,9	3,5	432,88	142,85
Agost	22,44	1.455,78	23	3,5	415,94	137,26
Setembre	21,53	1.442,95	21	3,5	412,27	136,05
Octubre	19,07	1.586,40	17,1	3,5	453,26	149,57
Novembre	14,95	1.689,76	12,5	3,5	482,79	159,32
Desembre	11,70	1.872,05	9,6	3,5	534,87	176,51
Anual	16,18	19.983,96	15,33	3,5	5.709,70	1.884,20

Factor de conversió	0,33 kWh / Kg CO ₂	
Estalvi CO ₂ (kg CO ₂)	202,85	9,72%

Gràfic 5.2. Resultats d'emissions comparant el sistema de bomba de calor sol-aigua per a la producció d'ACS, amb solartèrmia.



D'acord amb els resultats obtinguts, es pot veure que amb el sistema de bomba de calor amb placa solar es redueixen les emissions de CO₂ al voltant d'un 10% respecte de les plaques solars tèrmiques convencionals amb suport de caldera de gas.

Emissions CO ₂	
Auxiliar + solar	2.087,05 Kg CO ₂
Bomba de calor	1.884,20 Kg CO ₂

5.3. Energia eòlica de baixa potència (minieòlica)

A. QUÈ ÉS L'ENERGIA MINIEÒLICA?

L'energia minieòlica és l'aprofitament dels recursos eòlics mitjançant la utilització d'aerogeneradors amb una potència inferior als 100 kW. D'aquesta manera, l'aprofitament de l'energia cinètica del vent contribueix a petita escala en l'ús d'energies renovables a l'habitatge.

La normativa europea (IEC-61400-2 del 2006) estableix que un aerogenerador de petita potència és aquell en el qual l'àrea escombrada pel rotor no supera els 200 m², cosa que significa uns 50 o 60 kW de potència nominal.

Normativament, es troba regulat per la mateixa normativa que l'energia eòlica de gran potència. Tot i així, el Comitè Electrotècnic Internacional va crear una normativa de fabricació de petits aerogeneradors (norma IEC-61400-2 Ed2) que no és d'obligat compliment. A Espanya, el sector energètic renovable està regulat per diferents reials decrets, que es basen principalment en el Reial decret llei 9/2013, la Llei 24/2013, del sector elèctric, el Reial decret 413/2014 i el Reial decret 244/2019, pel qual es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum d'energia elèctrica.

Caldria esmentar potser que la minieòlica en l'àmbit d'edificis bàsicament s'ha de realitzar en règim d'autoconsum, tot i que difícilment pot competir en costos amb la fotovoltaica.

B. APLICACIONS I AVANTATGES

La utilització d'aquest tipus de sistema per a la producció d'electricitat suposa una sèrie d'aplicacions i avantatges com ara les següents:

- Subministrament d'electricitat a punts aïllats o allunyats de la xarxa elèctrica, així com la possibilitat d'actuar com a suport d'una xarxa inestable o dèbil.
- L'energia es genera a prop dels punts de consum; per tant, es redueixen les pèrdues degudes al transport i la distribució i s'adapta als recursos renovables i necessitats energètiques de la zona.
- Funciona amb vents moderats, cosa que implica que no són necessaris grans estudis de viabilitat com en l'energia eòlica de gran potència.
- Permet la combinació amb altres tipus d'energies renovables com, per exemple, l'energia solar fotovoltaica.
- L'impacte ambiental i visual és mínim, i la instal·lació i el manteniment són menors en comparació amb les grans màquines eòliques.

Avui dia, la majoria d'instal·lacions d'energia minieòlica a Espanya són aïllades de la xarxa elèctrica.

Actualment, són uns sistemes de generació elèctrica per a autoconsum en edificis poc competitius econòmicament amb els sistemes solars fotovoltaics. A més, en relació amb l'autoconsum fotovoltaic, són sistemes amb menys rendiment, vibracions, sorolls i menys integració arquitectònica. Ara per ara és una tecnologia testimonial en l'aplicació als edificis.

Alguns criteris que cal tenir en consideració a l'hora de la integració als edificis d'un sistema d'energia eòlica de petita potència són els següents:

- Compta amb un alt rendiment a vents complexos.
- Operació segura en un ambient urbà.
- Assoleix un nivell d'emissió de soroll i vibracions baix.

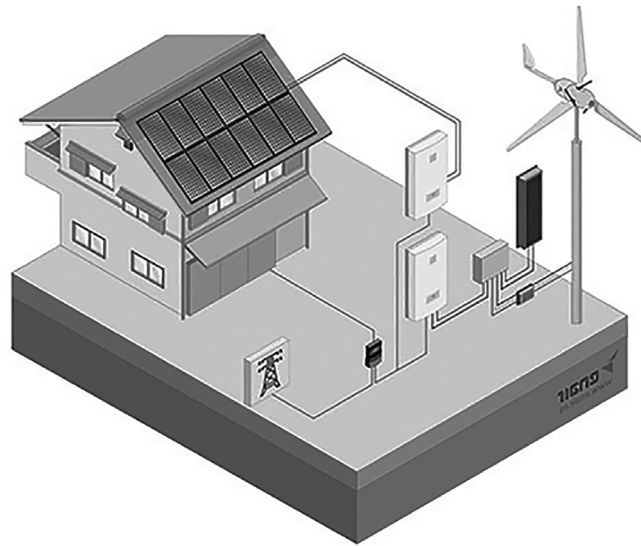
- Disseny robust i simple.
- Manteniment mínim.
- Aparència estètica.
- Cal consultar la normativa municipal.
- Cal evitar que els aerogeneradors actuïn com a parallamps en instal·lacions aïllades.
- Les pales dels aerogeneradors poden ferir aus.

Com que es tracta d'una instal·lació força simple pel que fa a components que actuen de forma mecànica, el manteniment també es redueix, tant en intervencions com en cost.

C. COMPONENTS DEL SISTEMA

Un aerogenerador de petita potència està compost per un rotor, un generador elèctric, un sistema de condicionament de potència o inversor i un sistema de protecció contra sobrevelocitats. Tots els components d'aquest sistema han d'estar elevats respecte al terreny mitjançant una estructura de suport o torre per poder aprofitar al màxim el vent i produir la major quantitat d'energia possible.

Figura 5.5. Imatge d'edifici amb instal·lació eòlica. També compta amb instal·lació solar fotovoltaica.



a) Aeroturbina

Una aeroturbina de petita potència pot ser d'eix horitzontal o d'eix vertical. En el cas de les d'eix horitzontal el rotor pot estar davant de la torre a la direcció d'incidència del vent o darrere de la torre a la direcció predominant del vent. La majoria dels aerogeneradors són a sobrevent, és a dir, el rotor se situa davant de la torre, per la qual cosa requereix un sistema d'orientació, que generalment s'aconsegueix en el disseny mateix del sistema. Aquestes solucions passives disminueixen les necessitats d'operació i manteniment i augmenten la fiabilitat.

Les d'eix vertical no necessiten cap tipus de sistema d'orientació, ja que són simètriques respecte a totes les direccions, són més resistents a les condicions d'alta

turbulència i es produeixen menys vibracions; per tant, són òptimes per a la integració en zones residencials urbanes. Tot i això, les aeroturbines d'eix horitzontal són més eficients, estan més provades i, per tant, són més econòmiques i hi ha un ampli ventall de productes per elegir.

b) Rotor

El rotor és la part del sistema que converteix l'energia cinètica del vent en energia en forma mecànica. Es pot dissenyar monopala, bipala, tripala o més, si és d'eix horitzontal, i un mínim de dues pales, si és d'eix vertical. Amb menys quantitat de pales, el sistema és més barat, però requereix una velocitat de rotació més gran i, per tant, és més sorollós. El rendiment més gran s'aconsegueix amb una turbina de tres pales.

c) Generador

El generador elèctric està unit mecànicament al rotor i converteix l'energia mecànica en energia elèctrica, que normalment és de freqüència i tensió variables. Pel fet que la velocitat de rotació és variable, la freqüència també és variable i, per tant, l'aerogenerador ha de disposar d'un convertidor d'energia alterna a energia contínua o inversor a la sortida per poder obtenir una tensió contínua. En cas que el sistema estigui aïllat de la xarxa elèctrica, s'ha d'instal·lar també un carregador-regulador de bateries.

d) Sistema de protecció contra sobrevelocitats

Per norma general, la regulació de la potència s'aconsegueix mitjançant el mateix disseny de pales o actuant de forma passiva al rotor. Aquest sistema de regulació serveix per protegir l'aerogenerador de situacions de vent extremes o desconexions de la xarxa o de la càrrega, i n'allarga la vida útil.

5.4. Energia aerotèrmica i geotèrmica de baixa temperatura

A. ENERGIA AEROTÈRMICA

L'energia aerotèrmica és una tecnologia que permet obtenir l'energia de l'aire per cobrir la demanda de calefacció, refrigeració i/o aigua calenta sanitària (ACS) dels edificis. La tecnologia es fonamenta en una bomba de calor d'alt rendiment estacional (SCOP aproximant superior a 3 en funció de la zona climàtica, la temperatura de distribució i la tecnologia emprada).

La bomba de calor és una màquina tèrmica capaç de bombejar calor des d'un focus fred a un de calent. En el cas de les bombes de calor aerotèrmiques, extreuen calor de l'entorn natural (aire) a través de l'evaporador i el transfereixen a l'interior de l'edifici a través del condensador. Si són reversibles, s'inverteix el cicle i es transfereix calor de l'interior de l'edifici cap a l'entorn natural.

Hi ha diverses tipologies de bombes de calor: accionades elèctricament –és el model més estès–, en què l'energia necessària per moure el compressor s'obté a través d'un motor elèctric; accionades a gas, en les quals l'accionament del compressor el fa un motor endotèrmic de combustió interna, i accionades tèrmicament, en què el canvi d'estat del refrigerant es fa mitjançant un cicle d'absorció o compressió tèrmica.

La Directiva 2009/28/CE del Parlament Europeu, de 23 d'abril de 2009, relativa al foment de l'ús d'energia procedent de fonts renovables, reconeix com a energia renovable l'energia capturada per les bombes de calor, sota determinades condicions. A l'article 2 d'aquesta directiva, es defineix l'energia aerotèrmica com «l'energia emmagatzemada en forma de calor en l'aire ambient».

Al seu torn, el document CTE 2019 DB-HE-4, aprovat recentment, ja considera aquesta tipologia d'equips com a renovables i, per tant, recull les iniciatives i sistemes alternatius que s'han anat efectuant durant els últims anys, al mateix temps que exigeix que un alt percentatge (entre un 60% i un 70%) de la producció sigui d'origen renovable.

D'acord amb el CTE 2019 DB-HE-4, doncs, en el cas de les bombes de calor destinades a la producció d'ACS i/o climatització de piscina, per poder considerar la seva contribució renovable han de disposar d'un valor de rendiment mitjà estacional ($SCOP_{dhw}$) igual o superior a 2,5 quan siguin accionades elèctricament, i igual o superior a 1,15 quan siguin accionades mitjançant energia tèrmica. El valor de $SCOP_{dhw}$ es determina per a la temperatura de preparació de l'ACS, que no ha de ser inferior a 45 °C.

Per al càlcul d'aquest coeficient, es pot seguir l'annex vii de la directiva europea 2009/28/CE, comentada anteriorment, en el qual es considera que no tota l'energia produïda per aquests equips és d'origen renovable, sinó únicament la diferència entre el component elèctric i el tèrmic. Això es pot veure millor a l'expressió següent d'aquesta mateixa directiva:

$$E_{RES} = Q_{usable} \left(1 - \frac{1}{SCOP} \right)$$

En què:

Q_{usable} : calor útil total estimat proporcionat per la bomba de calor.

SCOP: rendiment mitjà estacional avaluat segons les normatives UNE-EN 14.825 i UNE-EN 16147:2017. La primera fa referència al rendiment en calefacció i es mesuren uns percentatges de càrrega de l'equip a diferents temperatures exteriors en funció de les tres climatologies que es defineixen a la Comunitat Europea. A la segona normativa es mesura l'escalfament d'un volum d'aigua calenta sanitària per a unes condicions segons aquestes tres climatologies també. En el cas de Barcelona, per exemple, es tracta de 55 °C per a l'aigua i 14 °C per a l'exterior.

Per facilitar la interpretació de les normes relatives a la consideració de les bombes de calor com a font renovable per a la contribució de l'ACS del CTE 2019 DB-HE-4, l'ICAEN disposa al seu web del document «[Justificació de la contribució renovable d'ACS amb bombes de calor aerotèrmiques](#)».

Hi ha diferents instal·lacions i tipologia de bombes de calor que utilitzen l'aerotèrmia com a font d'energia. Principalment, els equips es distingeixen entre sistemes d'expansió directa o sistemes d'aigua. Ambdós sistemes tenen els avantatges i inconvenients següents:

- Avantatges:
 - A diferència del gasoil o alguns combustibles fòssils, l'electricitat no s'ha d'emmagatzemar, és un sistema instantani, cosa que facilita la instal·lació.
 - La ubicació de l'equip no requereix la instal·lació de xemeneies, ja que l'absència d'un procés de combustió fa que no es generin gasos.
 - El procés d'instal·lació i la posada en marxa són senzills i segurs.
 - Requereix un manteniment baix, segons el que està indicat a RITE. Són equips compactes, amb tecnologia molt madura, que no acostumen a necessitar gaire manteniment si el disseny de la instal·lació és correcte i s'han previst règims de funcionament adequats en què els compressors

de l'equip no tenen un funcionament forçat, ja sigui per alta o baixa càrrega, de manera prolongada.

- En instal·lacions orientades a edificis terciaris, alguns sistemes d'aerotèrmia permeten cobrir necessitats de refrigeració, calefacció i fins i tot, introduint-hi algun element auxiliar, la producció d'aigua calenta sanitària. Això és freqüent en sistemes d'expansió directa. Ara bé, en sistemes en què s'utilitza l'aigua com a fluid portador es tendeix a utilitzar un equip per a la generació d'aigua calenta sanitària a alta temperatura i una altra bomba de calor a baixa temperatura per a la refrigeració i calefacció. En sistemes i equips domèstics, les solucions disponibles encara són molt més compactes.
- El rendiment d'aquesta tipologia d'equips és molt elevat en comparació amb un sistema de caldera i, per aquest motiu, contribueix a un gran estalvi tant d'emissions de CO₂ com econòmic; això fa que sigui la tecnologia que s'està imposant en l'edificació a Catalunya i també a Europa.
- Inconvenients:
 - El principal problema de l'aerotèrmia és la dificultat de robar energia calorífica a l'aire quan aquest està a temperatures molt baixes. En aquests casos, el rendiment disminueix considerablement. Això fa que en zones amb climes suaus –a prop del mar, per exemple– aquesta tipologia d'equips s'adapti a la perfecció; però, quan es tracta de climes continentals, rigorosos, en què a l'hivern hi ha un gran nombre d'hores per sota els 3 °C, per exemple, aquests equips baixen considerablement el rendiment i els processos de desglaç de la bateria d'evaporació consumeix molta energia auxiliar. Poden treballar a temperatures molt reduïdes, per sota els -15 °C o menys sense problemes, però amb rendiments molt penalitzats.
 - En sistemes d'aerotèrmia en què el fluid calor portador és aigua, s'ha de dotar la instal·lació de força volum d'aigua per evitar arrancades i parades. Sovint l'aigua continguda a les canonades no és suficient per fer aquesta tasca i, per tant, es recomana introduir dipòsits d'inèrcia per evitar les contínues arrancades/aturades del compressor i allargar-ne la vida útil.
 - És un sistema que, tot i no ser sorollós, en estar situat normalment a la coberta de l'edifici, necessita mesures de protecció acústica en cas que pugui haver-hi una emissió important de soroll cap als veïns o el mateix edifici.
 - En general hi ha un augment de la potència elèctrica instal·lada respecte d'un sistema de gas, principalment degut a la part corresponent de producció d'ACS.
 - Tot i que és infreqüent, en els sistemes d'expansió directa en què es distribueixen canonades per l'edifici, ja que es combina la producció d'ACS i climatització, hi ha risc de fugues i això pot provocar intoxicacions; per aquest motiu, s'han de prendre mesures auxiliars amb caràcter preventiu.
 - En els sistemes d'aerotèrmia amb distribució de refrigerant, el cost de substitució del refrigerant pot ser elevat, si cal reomplir-lo per una fuga, cosa poc freqüent.
- Característiques generals de l'energia aerotèrmica:
 - No utilitza combustible que s'hagi d'emmagatzemar o subministrar mitjançant una instal·lació específica, excepte en cas de produir ACS, en aquest cas sí que caldria un acumulador.
 - El procés d'instal·lació i la posada en marxa són senzills i segurs.
 - Requereix un manteniment baix.

- Permet cobrir la demanda de calefacció, aigua calenta i refrigeració amb un sol equip.
- La ubicació de l'equip no requereix la instal·lació de xemeneies, ja que l'absència d'un procés de combustió fa que no es generin gasos.

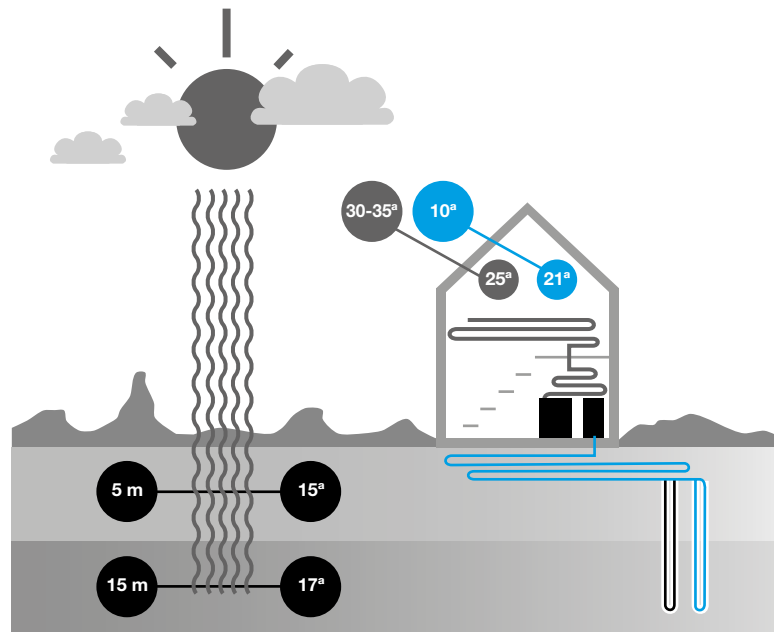
Per facilitar el coneixement i l'evolució de la implementació de les bombes de calor aerotèrmiques a Catalunya, al web de l'ICAEN es poden descarregar els treballs tècnics següents:

- *Estudi de l'evolució del mercat de bombes de calor.* L'objecte d'aquest estudi és facilitar les dades relatives a l'evolució del mercat de bombes de calor per a les instal·lacions tèrmiques de climatització a Catalunya els darrers deu anys.
- *Treballs tècnics relatius al potencial de les bombes de calor aerotèrmiques.* L'objectiu principal d'aquest document és dur a terme una anàlisi tècnica i econòmica que permeti reflexionar i treure conclusions sobre viabilitat, limitacions i idoneïtat de les bombes de calor aerotèrmiques per a usos residencials a les diferents zones climàtiques de Catalunya i amb diferents tipus de sistemes emissors.

B. ENERGIA GEOTÈRMICA DE BAIXA TEMPERATURA

L'energia geotèrmica és, en el seu sentit més ampli, l'energia calorífica que la Terra transmet des de les seves capes internes cap a la part més externa de l'escorça terrestre.

Figura 5.6. Esquema de funcionament de la bomba de calor geotèrmica.



A la Directiva 2009/28/CE, relativa al foment i a l'ús d'energia procedent de fonts renovables, la geotèrmia es defineix com «l'energia emmagatzemada en forma de calor sota la superfície sòlida de la Terra».

La geotèrmia és una font energètica renovable, neta i eficient que està disponible 365 dies l'any i 24 hores al dia. És, per tant, l'energia dins totes les fonts renovables

que proporciona un factor de càrrega o d'ús més elevat durant l'any, ja que no depèn de la disponibilitat d'altres recursos naturals com ara el vent o el sol.

La disponibilitat i rendibilitat de l'aprofitament de l'energia geotèrmica disponible al subsol depèn del context i de les condicions geològiques i hidrogeològiques del terreny en cada cas. En funció de les seves característiques, es pot efectuar un ús directe de la calor per obtenir energia tèrmica (calor o fred) o fins i tot electricitat en aquells indrets en què es donen condicions especials, per exemple, permeabilitat alta dels aqüífers, i temperatures dels fluids per sobre dels 150 °C en fondàries que en fan rendible l'explotació.

a) Classificació dels recursos geotèrmics en funció de la temperatura

Els recursos geotèrmics es poden classificar sota diferents criteris. El primer criteri és la temperatura, i es classifiquen en recursos de molt baixa, baixa, mitjana i alta temperatura.

La geotèrmia coneguda com superficial o de molt baixa temperatura és utilitzable en pràcticament qualsevol punt del planeta. Aprofita els recursos fins a uns 150-200 metres de profunditat (la inèrcia tèrmica del subsol més superficial) mitjançant tecnologies de bombes de calor geotèrmica per a sistemes de climatització d'edificis o emmagatzematge tèrmic en el subsol.

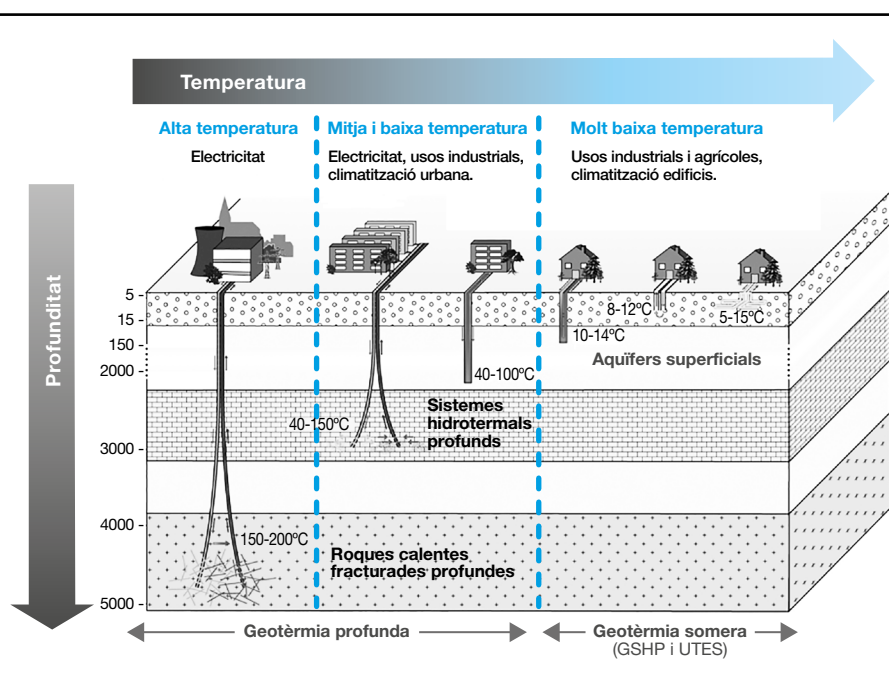


Figura 5.7. Classificació de l'energia geotèrmica segons la temperatura. Font: Clúster de l'Energia Eficient de Catalunya.

La geotèrmia profunda inclou la geotèrmia de baixa temperatura (30-100 °C), de mitjana temperatura (100-150 °C) i d'alta temperatura (> 150 °C), i des dels 150-200 metres de profunditat fins als gairebé 8 quilòmetres.

b) Energia geotèrmica de baixa temperatura

La geotèrmia de molt baixa temperatura o superficial és aquell tipus d'energia que s'obté a partir de l'intercanvi tèrmic amb el subsol en els primers 100 o 200 metres

de profunditat. Aquest tipus d'energia s'utilitza essencialment per a la climatització (producció de calor i fred) i per a la producció d'aigua calenta sanitària (ACS) en habitatges o sector terciari i sempre mitjançant l'ús de sistemes de bomba de calor aigua-aigua, també conegudes com *bombes de calor geotèrmiques*.

L'aprofitament de l'estabilitat tèrmica del subsol es pot efectuar durant tot l'any per intercanviar energia (cedint o extraient calor) segons vulguem obtenir refrigeració o calefacció.

Gràcies a l'estabilitat tèrmica, el rendiment del sistema és sempre elevat, ja que no depèn de la variació de la temperatura de l'aire exterior, que pot arribar a ser molt fred a l'hivern i/o molt calent a l'estiu. En funció del lloc, de les necessitats i del moment, el canvi de temperatura amb el subsol es pot fer de manera directa sense ús de la bomba de calor: fred passiu o *free cooling* i a l'inrevés, a principis d'hivern, amb el *free heating*.

Els sistemes de climatització basats en bombes de calor geotèrmica ofereixen els avantatges següents:

- Amb un únic aparell es pot cobrir el 100% de les necessitats de calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària per a l'edifici.
- L'energia està disponible 24 hores al dia, 365 dies a l'any.
- El seu impacte visual és inexistent.
- Comporten una reducció d'emissions de CO₂ molt important.
- No generen emissió de fums.
- No hi ha necessitat d'instal·lar tancs de combustible.
- Equips silenciosos, sense impacte acústic.
- Baix manteniment i alta durabilitat dels equips i del camp de captació.
- No hi ha risc d'explosions.
- Energia local que redueix la dependència exterior.
- Es pot combinar amb altres sistemes com l'energia solar fotovoltaica o tèrmica.

Els sistemes de bescanvi tèrmic amb el subsol (geotèrmia superficial amb bomba de calor geotèrmica) són una tecnologia d'alta eficiència amb uns estalvis energètics i econòmics de producció destacats en comparació amb els sistemes tradicionals i altres energies renovables. Tanmateix, sempre és aconsellable monitorar el sistema de manera precisa per assegurar-ne una correcta gestió i garantir els màxims rendiments.

Els coeficients de rendiments estacionals (SCOP) per a instal·lacions reals (energia tèrmica produïda / energia elèctrica consumida per al funcionament de la bomba geotèrmica) poden oscil·lar entre 3 i 6, amb una mitjana de 4,5, i períodes de retorn de la inversió variables entre 4 i 8 anys, segons el disseny i l'ús de les instal·lacions.

c) Sistemes d'aprofitament de l'energia geotèrmica superficial

Hi ha dos tipus de dispositius per a l'aprofitament de l'energia geotèrmica superficial:

- Sistemes basats en intercanvi de calor en circuits tancats.
- Sistemes basats en l'intercanvi de calor en circuits oberts.

En els sistemes oberts (amb captació d'aigua) s'aprofita l'energia continguda en l'aigua subterrània (en aqüífers), en masses d'aigua superficial (mar, llacs i estanys, rius) o fins i tot en mines. Els sistemes oberts verticals (amb pous) poden extreure una quantitat d'energia tèrmica molt més elevada que la que s'obté per un sistema basat en un circuit tancat. Com a desavantatges, el seu manteniment és més elevat

i el seu rendiment està condicionat a les característiques hidrològiques o hidrogeològiques del terreny i la qualitat de l'aigua, entre d'altres. Addicionalment, és necessari tramitar autoritzacions específiques per a l'aprofitament tèrmic de les masses d'aigua superficials o dels aqüífers involucrats.

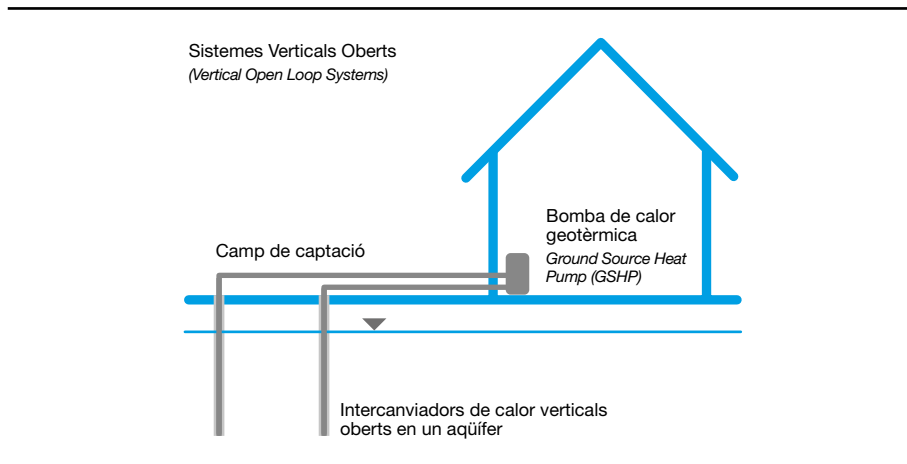


Figura 5.8. Esquema de sistemes verticals oberts. Font: Clúster de l'Energia Eficient de Catalunya.

Els sistemes tancats (sense captació d'aigua) intercanvien calor amb el subsol mitjançant la instal·lació d'una conducció cega (sonda geotèrmica) per la qual circula un fluid que no interactua directament amb el terreny, però permet la transferència d'energia amb aquest. Es classifiquen en sistemes horitzontals i verticals. Els primers són més econòmics, però, per contra, necessiten disposar de grans superfícies i estan més influenciats per les oscil·lacions tèrmiques superficials. En canvi, els sistemes tancats verticals són més complexos de dissenyar i d'implementar i són més cars, ja que es requereix maquinària específica de perforació, però són aptes per a la climatització d'edificacions més grans i no estan limitats a l'ús domèstic.

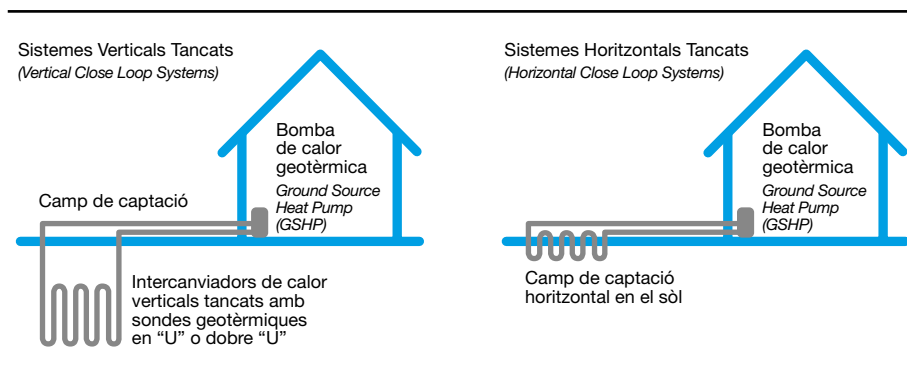


Figura 5.9. Esquemes de sistemes tancats verticals i horitzontals. Font: Clúster de l'Energia Eficient de Catalunya.

El dimensionament d'aquests sistemes és complex, ja que hi intervenen diferents factors com la temperatura del terreny, la conductivitat tèrmica del subsol, la fondària, el diàmetre, la geometria i la resistència tèrmica de l'intercanviador, i també la distància entre els intercanviadors.

Per al disseny de bescanviadors geotèrmics, es recomana consultar la norma alemanya VDI 4640 o les especificacions de la IGSHPA (International Ground Source Heat Pump Association). En el cas concret de bescanviadors verticals tancats, també es pot consultar la norma UNE 100715-1:2014.

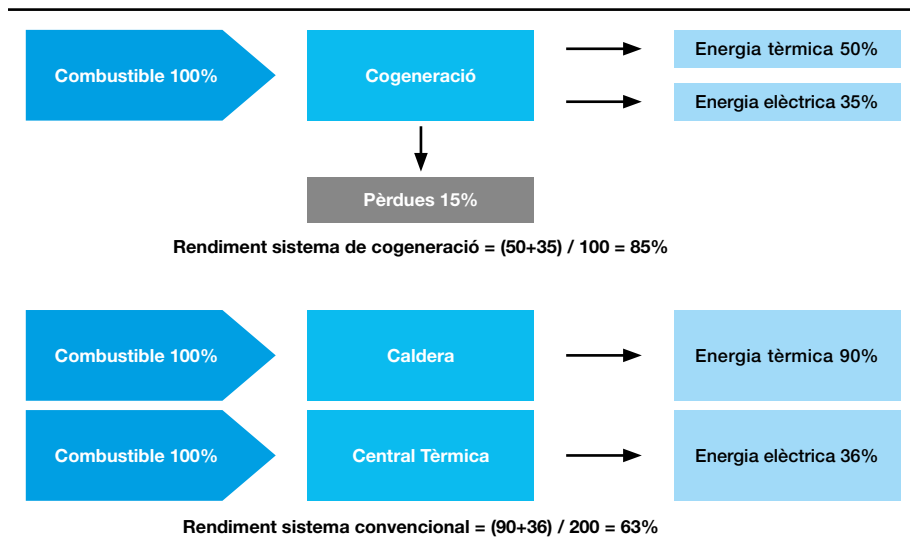
5.5. Microcogeneració per produir electricitat i energia tèrmica

Per cogeneració entenem el procediment mitjançant el qual s'obté simultàniament energia elèctrica i energia tèrmica útil.

Funcionalment, la cogeneració pot tenir diferents tecnologies associades, com ara les següents:

- Ús de turbines de gasos o vapor, alimentades pel producte d'una combustió en una caldera, de la qual s'aprofita la calor dels fums i també la calor residual del vapor o dels gasos en sortir de la turbina un cop ha fet girar l'alternador per produir electricitat.
- Ús de motors de combustió, en els quals la combustió en el mateix motor genera l'energia mecànica que, connectada a l'alternador, produeix electricitat i s'aprofita la calor dels fums i de refrigeració del motor.

Figura 5.10. Esquema de cogeneració i comparació amb sistema convencional.



La calor recuperada s'utilitza en els processos tèrmics de l'edifici, com ara la calefacció o la generació d'aigua calenta sanitària i, fins i tot, a través de sistemes de producció de fred per absorció, per alimentar sistemes de climatització.

Entenem per microcogeneració aquelles instal·lacions de cogeneració de potència inferior a 1 MWe, preparades per al subministrament a petits usuaris i quan l'usuari final de l'energia és qui disposa del sistema de generació, per diferenciar-ho dels grans sistemes de cogeneració, per exemple, vinculats a generació de districte. Es poden trobar sistemes de cogeneració en el sector domèstic i de serveis com hotels, centres poliesportius, centres comercials, oficines i centres sanitaris com hospitals.

L'aprofitament dels avantatges que suposa l'ús de la microcogeneració està condicionat pels aspectes següents:

- La microgeneració sempre està lligada a un primer procés de combustió i, per tant, la capacitat de producció elèctrica està condicionada per la demanda de calor a cobrir.
- Malgrat l'augment d'eficiència que genera, en ser una tecnologia de preu elevat, els consums elèctrics i de calor han de ser relativament constants, de manera que el sistema de microgeneració que es dissenyi ha de tenir moltes hores de servei a valors propers al seu màxim de generació.
- És una tecnologia sorollosa, per tant, necessita espais adients per a la ubicació dels equips.
- En tenir una vinculació entre consum tèrmic i elèctric, acostuma a ser un sistema auxiliar o redundat, que es complementa amb altres tecnologies.

Per altra banda, es pot considerar que els sistemes de microgeneració, en ser sistemes de producció elèctrica descentralitzada i de proximitat, també influeixen en la millora del sistema elèctric, ja que descarreguen les xarxes de distribució i minimitzen les pèrdues.

En funció de l'ús i la potència, les tecnologies aplicables s'indiquen a la taula següent.

Sector	Potència	Tipus de combustible		
		Gas natural	Dièsel o oli	Biomassa
		Biometà gas	Biodièsel o etanol	
Domèstic	< 15 kWe	Motor de gas	Motor de gas	
Comercial	15-100 kWe	Motor de gas	Motor de gas	Turbina vapor Cicle orgànic de Rankine
	0,1-1 MWe	Motor de gas		Turbina vapor Cicle orgànic de Rankine

Taula 5.10. Tipus de combustible per a tecnologies de cogeneració, aplicació i sector. Font: Agencia de Sostenibilidad Energética.

5.6. Energia de la biomassa

La biomassa és un combustible biològic, sostenible amb el medi ambient, amb un cost estabilitzat i inferior a la majoria de combustibles fòssils. L'energia procedent de biomassa es considera d'origen renovable, atès que el CO₂ alliberat és el mateix que absorbeix un arbre per produir la fusta. Se sol utilitzar per al seu aprofitament com a energia tèrmica o per a la generació d'energia elèctrica.

Els principals avantatges de la biomassa són que l'abastiment es pot fer de la mateixa zona, evita la dependència de fonts d'energia exteriors amb plena independència dels preus dels hidrocarburs, redueix el risc d'incendis per la neteja del bosc i alhora contribueix a la gestió forestal, minva l'abandonament del territori i permet la possibilitat d'emmagatzemar el combustible durant molt de temps per utilitzar-lo quan sigui necessari.

Els combustibles de biomassa més estesos són els pèl·lets de fusta, les estelles de fusta, la llenya i els residus agrícoles, com ara el pinyol d'oliva, les closques d'ametlles i avellanes.

A. PÈL·LETS DE FUSTA

Es tracta d'un combustible granulat a base de fusta verge eixuta, serradures i encenalls premsats en forma de petits cilindres, que permeten un fàcil transport, emmagatzematge i subministrament.

Figura 5.11. Imatge de biomassa (pèl-lets).



La procedència de la seva matèria primera és principalment les indústries de la transformació de fusta que generen serradures i parts desaprofitables dels troncs i també de la fusta destinada a la trituració del desbrossament i neteja de boscos, ja que la major part d'arbres de la regió climàtica mediterrània són destinats a aquest ús, donades les mides reduïdes i malformacions que els fan inservibles per a les serradores.

Les característiques principals del pèl-let de fusta són les següents:

- Homologat segons EN PLUS, basat en la norma UNE-EN 17225-2:2014, sobre la qualitat del pèl-let.
- A1: fusta verge i residus de fusta sense tractament químic. Baixa producció de cendres, nitrogen i clor.
- A2: similar a A1, però amb superior contingut en cendres, nitrogen i clor.
- B: fusta reciclada i residus industrials sense tractar químicament.
- Alt poder calorífic homogeni, PCI normalitzat: 4,7-5,4 kW/kg.
- Nivell d'humitat: 6-8%
- Densitat: 600-700 kg/m³.
- Residu cendra: 0,5-0,6%.

Dos quilos de pèl-let de fusta equivalen a un litre de gasoil.

B. ESTELLES DE FUSTA

Una estella és un fragment de fusta tallat molt fi. S'anomena *estella forestal* al combustible que procedeix de la trituració de biomassa forestal no utilitzable per a aplicacions amb valor afegit superior. En aquest cas, el terme se sol usar en singular (*estella*) per referir-se al conjunt de fragments o estelles. El seu poder calorífic pot oscil·lar entre les 3.000 i les 3.300 kcal/kg, en funció de l'espècie utilitzada.

L'estella se sol obtenir molent la fusta no valoritzable per a altres usos. Es presenta en forma de petits trossos de llenya, amb unes dimensions al voltant de 2x2x5 cm. El seu contingut d'aigua varia des del 25-35%, per a petites calderes domèstiques, fins a 40-55%, per a grans calderes industrials. A causa de l'expansió, 1 m³ de fusta sòlida equival a uns 2,5-3 m³ aparents un cop estellada.

Té un rendiment energètic superior a la llenya sencera, i, comparant-la amb els combustibles fòssils, 2,5 tones d'estella equivalen aproximadament a 1 tona de petroli (1 tep).

En el cas de l'estella cal tenir en compte la norma UNE-EN ISO 17225-5:2014, relativa a les classes de combustibles, i la norma UNE-EN 15234-4:2012, relativa als procediments per complir els requisits de qualitat del producte.

Es recomana l'ús d'estella eixuta i duradora amb una humitat en base seca inferior al 35%. Per a calderes de fins a 150 kW, es recomana estella amb una secció màxima de la fracció principal de 3 cm²; per a calderes de mitja potència, estella amb una secció màxima de la fracció principal de 5 cm²; i per a calderes industrials, estella amb una secció màxima de la fracció principal de 10 cm².

C. LLENYA

El seu poder calorífic (PCI) depèn de la humitat i de la densitat (kg/m³). La fusta fresca té una humitat del 50-60% i un PCI de 2 kW/kg; amb un període d'un any d'assecatge, la humitat queda en un 25-35% i un PCI de 3,4 kW/kg; i amb un període de més d'un any d'assecatge, la humitat és del 15-25% i un PCI de 4 kW/kg.



Figura 5.12. Imatge de biomassa (llenya).

D. PINYOL D'OLIVA

Les olives, una vegada moltes i extret l'oli per procediments físics, passen per una planta de neteja, calibratge i assecatge per obtenir-ne el pinyol. Es tracta d'un producte homogeni, net i de màxim poder calorífic (PCI), 4,7-5 kW/kg, i una densitat de 630 kg/m³.



Figura 5.13. Imatge de biomassa (pinyols d'oliva).

Per disposar d'aquest combustible constituït per pinyols d'oliva amb uns nivells de qualitat mínims, cal donar compliment a uns paràmetres definits en les normes i regulacions pertinents, que podeu trobar en l'apartat de biomassa del web de l'ICAEN.

E. CALDERES DE BIOMASSA

Els tipus de calderes de biomassa que hi ha al mercat es poden classificar segons el combustible utilitzat i la seva tecnologia. Les calderes de biomassa policomcombustibles són calderes de potència mitjana o alta, que admeten diversos tipus de biocombustible, per exemple pèl·lets, estelles, llenya, pinyols d'oliva i closques d'ametlles. Les calderes de pèl·let de potència baixa i mitjana, dissenyades exclusivament per a la combustió de pèl·let, són compactes, de petites dimensions i molt eficients.

Per la seva tecnologia, les podem classificar en quatre grups diferents:

- **Caldera estàndard de biomassa:** assoleix rendiments del 92% o superior, estan dissenyades per a un biocombustible determinat, com ara llenya, estelles o pèl·lets, i proveïdes de sistemes automàtics d'alimentació de biomassa, de neteja del bescanviador i d'extracció de les cendres.
- **Calderes adaptades a biomassa:** tenen rendiments inferiors, normalment entre el 75% i el 85%, es tracta de calderes antigues preparades per a altres combustibles, com carbó o gasoil, que són modificades per poder-les utilitzar amb biomassa com a combustible. El seu grau d'automatització depèn de la modificació que s'hi hagi fet.
- **Calderes de pèl·let de condensació:** són les que presenten els rendiments més elevats, de fins a un 103%, utilitzen exclusivament el pèl·let com a combustible, són de petites dimensions i estan completament automatitzades per assolir el màxim rendiment.
- **Calderes mixtes:** tenen un rendiment alt, al voltant del 92%, i poden admetre almenys dos tipus de combustible que es poden utilitzar alternativament, amb l'alimentació del combustible totalment automatitzada.

Figura 5.14. Secció de caldera de biomassa, en què es mostra el sistema d'alimentació i la cambra de combustió.



Bàsicament una instal·lació d'energia de biomassa està constituïda pels elements següents:

- Una **caldera de biomassa**, és un aparell mecànic compacte i independent, el seu interior disposa d'un sistema d'alimentació que condueix el biocombustible des de la sitja d'emmagatzematge fins a la cambra de combustió.
- Una **cambra de combustió** que s'alimenta de biocombustible i aire, i a l'interior es duu a terme la combustió per generar l'energia tèrmica.
- Un **bescanviador** en el qual es fa la transferència de calor cap al circuit d'aigua calenta.
- Un **sistema de neteja de la caldera**, que evita la deposició de cendres i manté l'eficiència del sistema.
- Una **unitat de control** que regula i optimitza el funcionament de la caldera de biomassa.
- Una **sitja** per a l'emmagatzematge del combustible de biomassa. La sitja es dissenya en funció del biocombustible que ha de subministrar a la caldera.
- Una **xemeneia** per a la sortida de fums de la cambra de combustió.

5.7. Aprofitament d'energies residuals

L'energia residual, en forma de calor, procedent d'activitats concretes o de processos a l'interior dels edificis es pot utilitzar sovint com a font d'energia per a la climatització o la producció d'ACS als mateixos edificis.

Habitualment, els processos o sistemes que generen aquesta energia se situen en edificis amb instal·lacions complexes i de cert volum: centres de processament de dades (CPD), compressors d'aire, compressors de màquines frigorífiques, bugaderies, cuines, etc. que generen temperatures elevades durant el seu funcionament. L'estratègia bàsica per a l'aprofitament d'aquesta energia és la disposició de recuperadors de calor, que permeten l'ús d'aquest excedent de calor per al suport en la climatització, la ventilació i la producció d'ACS.

Maximitzar aquest aprofitament energètic requereix un disseny i una gestió molt acurats que tinguin en compte la complementarietat dels sistemes instal·lats, com també la compatibilitat i simultaneïtat d'ús dins de l'edifici.

Podeu trobar més detall d'aquesta tecnologia al [Quadern pràctic 1 de l'ICAEN, Producció de biogàs per codigestió anaeròbia](#).

5.8. Gestió de la demanda elèctrica i tèrmica. Gestió del balanç de càrregues i bateries

La gestió de la demanda és la planificació i implementació de mesures destinades a influir en la manera de consumir energia per tal de modificar el perfil de consum. Amb aquestes mesures es contribueix a una gestió més eficient i sostenible del sistema elèctric.

La demanda d'electricitat al llarg del dia i al llarg de l'any no és plana, hi ha variacions horàries i estacionals que exigeixen un ajust continu de l'oferta i la demanda. Per tant, l'objectiu principal de les mesures de gestió de la demanda energètica és aplanar la corba de demanda per maximitzar l'eficiència energètica.

Aquestes mesures s'han d'enfocar cap a la gestió activa de la demanda. Hi ha diferents tipus d'estratègies per al control de la demanda. Les més comunes són l'eficiència energètica, retallada de punta, límit de demanda, desplaçament de demanda, despreniment de càrrega i resposta de demanda, que consisteix en una tarifa o programa específic dissenyat per incentivar econòmicament la reducció del consum elèctric en les franges temporals en què el preu de mercat és més alt.

L'objectiu de la gestió activa de la demanda és aconseguir que el consumidor final canviï els seus hàbits de consum elèctrics per adaptar-los a les fluctuacions del preu de l'electricitat segons la franja horària. D'aquesta manera, s'aconsegueixen una sèrie d'avantatges relacionats amb l'estalvi i la racionalitat en el consum.

Els avantatges dels sistemes de gestió activa de la demanda són els següents:

- Estalvi per al consumidor final, ja que s'intenten evitar els consums durant els períodes de pic.
- Més estabilitat del sistema elèctric, perquè es redueix el risc de caigudes de tensió en els períodes amb més consum.
- Foment de la introducció de les energies renovables, promovent el consum d'energia en moments en què la generació renovable és més gran.
- Es minimitza la necessitat de disposar de generadors i centrals de reserva.

Un exemple de gestió activa de la demanda són les tarifes amb discriminació horària, que ofereixen un preu de l'energia variable segons el moment de consum. Això incentiva els consumidors a reorganitzar els seus consums energètics per minimitzar els costos, la qual cosa ajuda a l'estabilitat de la xarxa. Els costos elèctrics són més grans en els períodes pic, mentre que són significativament més petits en les hores vall.

Un dels camps en què s'hauria d'actuar d'inici són els sistemes de climatització, ja que suposen un dels consums més grans dels edificis. Millorar l'eficiència energètica d'aquests equips i auditar energèticament els edificis són dues possibles mesures d'estalvi. Un cop auditat l'edifici, un ajust fi dels sistemes de climatització és necessari per poder obtenir estalvis addicionals. Això ho podem aconseguir a través dels sistemes de gestió dels edificis (BMS, de l'anglès *building management system*).

Algunes accions de control avançat mitjançant els BMS són l'optimització dels moments d'encesa dels equips de climatització, la modulació de consignes per aconseguir els nivells de confort òptims dels locals fora de les hores pic, o la refrigeració natural (*free cooling*).

5.9. Autoconsum energètic

Els sistemes de producció energètica plantejats ofereixen la possibilitat d'incloure l'autoconsum energètic en la nostra edificació, tant en l'àmbit elèctric com tèrmic, emprant fonts d'energia renovables com són la llum solar, el vent o l'energia de la Terra.

Hi ha diferents opcions d'autoconsum en funció de com l'edifici es comporti amb l'entorn. Així, tenim des de l'opció d'autoconsum individual o col·lectiu fins a les xarxes elèctriques tancades i obertes, o les xarxes de fred i calor que interactuen amb altres consumidors/productors.

Per aprofundir en aquest punt, es recomana visitar el web de l'ICAEN (<http://icaen.gencat.cat/ca/energia/autoconsum/>), en què podeu trobar informació actualitzada dels tràmits de configuració i legalització de les diferents modalitats d'autoconsum energètic existents.



6. Mesures relacionades amb la gestió energètica

6.1. Sistema de gestió energètica (SGE)

El sistema de gestió energètica (SGE) és un mètode de gestió que permet controlar i analitzar de manera sistemàtica les variables que influeixen en l'adquisició, la transformació i el consum de l'energia d'una organització i que és fàcilment integrable amb altres sistemes de gestió.

Un sistema de gestió energètica té un abast variable, i depèn principalment de la grandària de l'edifici i de les tipologies dels elements consumidors d'energia d'aquest edifici, així com de l'abast i el detall de segregació de consums analitzat pel sistema.

Així, mitjançant l'SGE dissenyat per a l'edifici, és possible en una primera etapa identificar els principals consumidors energètics i els corresponents usos característics de l'energia per, a continuació, millorar l'eficiència energètica de la instal·lació i registrar la seva evolució amb la creació d'indicadors de seguiment específics segons els usos identificats.

D'aquesta manera, l'objectiu principal d'un SGE és aconseguir un consum responsable i una gestió eficient de la demanda energètica de l'edifici mitjançant el monitoratge del consum de l'edifici i el control d'indicadors de seguiment en temps real.

A. VERIFICACIÓ DE L'EFICIÈNCIA DE LES INSTAL·LACIONS (INDICADOR CLAU D'ACOMPLIMENT ENERGÈTIC)

Per tal de verificar l'eficiència energètica de les instal·lacions de l'edifici, dins de l'SGE s'estableixen diferents indicadors de seguiment específics per als usos característics de l'energia identificats.

Aquests indicadors clau d'acompliment (ICA) són els coneguts tradicionalment com KPI (de l'anglès *key performance indicator*) de les instal·lacions tècniques, però adaptats a les necessitats energètiques específiques de la nostra instal·lació. Aquests indicadors permeten establir una línia base de demanda energètica, amb valor comparatiu dins de l'organització, i s'elaboren a partir de la informació de consum energètic registrada en l'SGE i d'informació externa al sistema, com poden ser paràmetres constants de l'edifici –superfície o potència instal·lada– o paràmetres variables –ocupació de l'edifici, horaris de funcionament, temperatura exterior o hores de sol.

La línia base de demanda energètica obtinguda permet a l'organització avaluar el desenvolupament energètic de la instal·lació: si el consum per a condicions estàndard creix, es manté constant o disminueix.

Els indicadors de desenvolupament energètic típics identificats en l'edificació són els següents:

- Sector residencial:
 - Consum energètic per superfície
 - Consum energètic per habitants

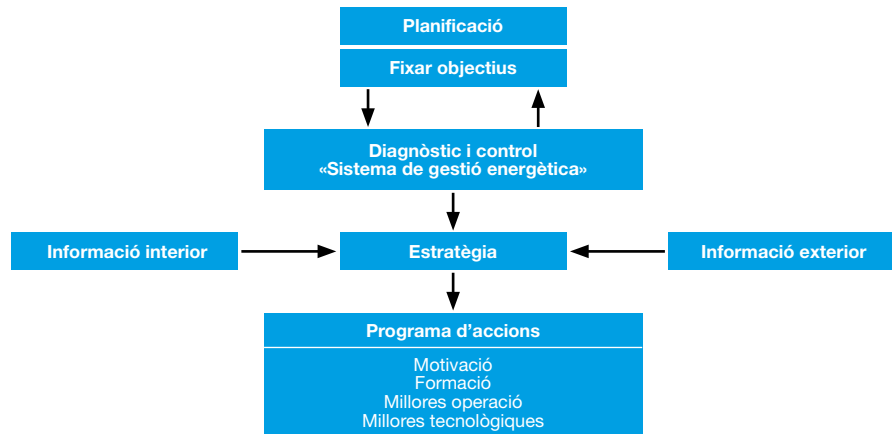
- Sector serveis:
 - Consum energètic per superfície
 - Consum energètic per treballadors
 - Consum energètic per visitants
 - Consum energètic per hores d'obertura de les instal·lacions

B. CERTIFICACIÓ DEL SISTEMA DE GESTIÓ ENERGÈTICA – ISO 50001

La finalitat de la norma UNE-EN ISO 50001 és permetre a qualsevol tipologia d'organització assolir la millora contínua en el seu desenvolupament energètic dins d'un sistema amb metodologia provada i reconeguda. Aquesta norma estableix els requisits bàsics que han de tenir els sistemes de gestió energètica, i, per aconseguir-los, l'organització ha de complir els punts següents:

- Disposar d'una política, signada al més alt nivell de l'organització, que inclogui, entre altres, el compromís d'estalviar i de fer un ús eficient de l'energia.
- Recollir i analitzar dades per a la presa de decisions relatives al consum i l'ús de l'energia de l'edifici.
- Fixar objectius anuals que s'adeqüin a la política energètica.
- Establir i documentar normes d'actuació per assegurar un ús eficient de l'energia.
- Mesurar i verificar els resultats i revisar l'efectivitat de les mesures de gestió implantades.
- Realitzar auditories periòdiques per assegurar que el sistema està implantat correctament.
- Generar plans de millora que persegueixin la millora contínua de la gestió energètica de l'edifici.

Figura 6.1. ISO 50.001:2018. Sistema de gestió energètica internacional.



Així mateix, aquesta norma també indica que la implantació d'un sistema de gestió energètica ha de passar per diverses etapes i ha d'estar basat en el cicle de Deming o de millora contínua:

- Planificació, durant la qual es fixen uns objectius energètics.
- Execució i implementació dels processos d'estalvi i d'eficiència energètica.
- Diagnosi i control, que consisteix a implantar un sistema permanent de recollida de dades.

- Estratègia i noves actuacions relatives a les dades recollides i als resultats obtinguts.

És important tenir en compte que tot SGE, especialment si està certificat per la norma UNE-EN ISO 50001, requereix un sistema de mesura dels consums i dels estalvis més enllà de les factures. És aquí on la implantació d'un sistema de monitoratge i control dels consums és essencial.

6.2. Control i gestió de consignes i paràmetres de funcionament d'equips (*building management system, BMS*)

Un sistema de control està format per un conjunt de dispositius electrònics organitzats per nivells que en conjunt, sota un protocol de comunicació determinat, proporciona la capacitat de gestionar i monitorar les diferents instal·lacions d'un edifici.

La capa de gestió s'anomena *building management system* (BMS) i la capa de monitoratge, *supervisory control and data acquisition* (SCADA).

- Nivell de camp: recull els diferents sensors i actuadors per influir sobre els senyals dins el bus de comunicacions.
- Nivell de control: aquest nivell garanteix el funcionament del sistema davant faltes de comunicació amb nivells superiors.
- Nivell de gestió: aquest nivell recull les dades del nivell inferior per generar estadístiques, gestionar el bus i realitzar representacions gràfiques i visualitzacions perquè l'usuari final pugui comprendre l'estat del sistema.
- Nivell usuari: el client pot gestionar el sistema a través d'un ordinador, tauleta o mòbil.

A. ELEMENTS D'UN SISTEMA BMS

a) Elements de camp

- Sensors: un sensor és un objecte capaç de detectar magnituds físiques o químiques, anomenades *variables d'instrumentació*, i transformar-les en variables elèctriques.
 - Les variables d'instrumentació poden ser la intensitat lumínica, la temperatura, la força, el pH...
 - Una magnitud elèctrica pot ser una resistència elèctrica, una capacitat elèctrica...
 - Característiques:
 - Rang de mesura.
 - Sensibilitat.
 - Precisió.
 - Òfset (*offset*): valor de la sortida quan la variable d'entrada és nul·la.
- Actuadors: un actuator és un dispositiu capaç de transformar l'energia elèctrica en l'activació d'un procés amb la finalitat de generar un efecte sobre un procés automatitzat. Són els elements que influeixen directament en el senyal de sortida de l'automatisme, modificant la seva magnitud segons les instruccions que reben de la unitat de control.
 - Característiques:
 - Rang d'actuació.
 - Sensibilitat.

- Precisió.
- Òfset (*offset*).
- Mòdul E/S: permet la comunicació entre un sistema de processament d'informació i els sensors i actuadors.

b) Elements de control

- Controlador programable: són dispositius per automatitzar els processos electromecànics, PLC (*programmable logic controller*). Estan formats per processador i memòria.
- Controlador parametrizable: no és lliurement programable. Aquests controladors inclouen una programació de gràfica mitjançant blocs operacionals.
- Integracions: tenen la capacitat de connectar-se amb dispositius de tercers, sota un protocol determinat podem influir sobre els paràmetres i les actuacions.
- Passarel·les: permeten la intercomunicació de dispositius que integren protocols diferents.

c) Elements de gestió

- Programari de gestió: comanda la xarxa de control del sistema i realitza funcions d'adquisició de dades.
- Servidor web (*web server*): l'equip que integra la xarxa BMS a una xarxa IP.
- Programari gràfic: visualitza el sistema mitjançant panells sinòptics.
- Programari d'informes: s'encarrega de la gestió d'estadístiques obtingudes de la xarxa BMS.

d) Elements d'usuaris

- PC d'usuari: mitjançant un programari de client.
- Dispositius mòbils: mitjançant una app.

B. PROTOCOLS

a) DALI

El *digital addressable lighting interface* (DALI) és una interfície de comunicació digital i adreçable per a sistemes d'il·luminació. Estàndard internacional, norma IEC 62386, que assegura la compatibilitat i intercanviabilitat entre equips de diferents fabricants.

Estructura del sistema

Estructura mestre-esclau, en què la informació flueix des d'un controlador, que opera com a mestre, cap als equips d'il·luminació, que operen únicament com a esclaus, executant els comandos o responen a les sol·licituds d'informació rebudes. La comunicació mitjançant els senyals digitals es fa a través d'un bus o línia de control de dos fils, fils de polaritat positiva i negativa.

Components d'un sistema DALI

- Equips d'il·luminació: diversos per a mòduls LED, balastos per a llums de fluorescència i de descàrrega, transformadors per a llums halògenes.
- Elements de comandament: permeten encendre, apagar o regular la llum voluntàriament de manera manual i directa. Exemples d'aquests elements són els pulsadors, els interruptors rotatius i els quadres de comandament.
- Sensors: són dispositius capaços de detectar magnituds físiques o químiques i transformar-les en senyals que poden ser processats.

- Controladors: són els components encarregats de rebre tota la informació procedent de la resta de components del sistema, processar-la i generar les ordres de control per distribuir-les de manera intel·ligent.
- Repartidors: amplifiquen el nivell o la potència dels senyals febles.
- Adaptadors i passarel·les: aquests components són necessaris quan es volen connectar entre si components que no utilitzen el mateix protocol de comunicació.
- Eines de configuració i monitoratge per als sistemes de gestió de l'enllumenat més avançats.

b) KNX

L'any 1997 els estàndards EHS, EIB i BatiBUS s'uneixen amb la finalitat de crear un protocol únic orientat a la domòtica. L'any 2002 neix KNX, estàndard ISO/IEC14543.

Les especificacions estan basades en la pila de comunicacions EIB completada amb els mecanismes de configuració, mitjans físics i experiències desenvolupades per BatiBUS i EHS.

Estructura del sistema

El bus d'instal·lació europea (EIB, de l'anglès *European installation bus*) permet que tots els components de les instal·lacions domòtiques estiguin intercomunicats entre si, d'aquesta manera és possible que qualsevol component doni ordres a qualsevol altre, independentment de la distància entre ells i la seva ubicació. L'EIB defineix una xarxa jerarquitzada en la qual la unitat mínima és la línia. Una línia pot tenir connectats un total de 64 dispositius com a màxim. Això depèn de la càrrega màxima suportada per la font d'alimentació situada en cadascuna d'elles.

En una línia s'han de complir les restriccions següents:

- Ha de disposar com a mínim d'una font d'alimentació.
- La longitud total de la instal·lació no pot superar els 1.000 metres.
- Entre un dispositiu i la font d'alimentació no ha d'haver-hi més de 350 metres.
- Entre els diferents elements de la línia no es poden superar els 750 metres.
- Entre les fonts d'alimentació cal una separació mínima de 200 metres.

c) LonWorks

LonWorks es basa en l'esquema proposat per LON (*local operating network*). Ofereix una solució completa per dissenyar, construir i suportar les denominades *xarxes locals d'operació*. Totes aquestes xarxes empren el mateix protocol de comunicacions denominat *LonTalk ANSI/*EIA/CEA 709.1*. És una solució amb arquitectura descentralitzada, extrem-extrem, que permet distribuir la intel·ligència entre els sensors i els actuadors instal·lats en l'habitatge i que cobreix des del nivell físic fins al nivell d'aplicació de la majoria dels projectes de xarxes de control.

Consisteix en un conjunt de dispositius intel·ligents o nodes que es connecten mitjançant un o més mitjans físics i que es comuniquen utilitzant un protocol comú. Cada node és autònom i actiu.

Els elements principals del LonWorks són els següents:

- Node: dispositiu de comunicació de la xarxa LonWorks.
- Neuron: la intel·ligència en un dispositiu (xip).
- Transceiver: interfase física d'un mitjà de comunicació.
- Canal: el mitjà de comunicació.
- Segment: un canal pot dividir-se en segments, els quals tenen limitacions físiques.
- Encaminador: connecta canals.

Per a la transmissió mitjançant parell trenat, existeixen dos tipus de topologies:

- Topologia en bus: en aquesta topologia estan exclosos els anells i la configuració arbre-branca.
- Topologia lliure: el bus es pot connectar de qualsevol forma i permet derivacions de 0,3 metres per dispositiu des del bus principal. És necessari connectar una terminació d'ohm, és a dir, un element de cara al calibratge un cop estesa la xarxa.

A l'hora d'adreçar els elements d'una xarxa disposem de diversos formats:

1. Direcció física: l'ús d'aquesta direcció se sol limitar al procés de configuració del dispositiu.
2. Direcció del dispositiu: suporta de manera més eficient l'encaminament de paquets i és senzilla d'usar a l'hora de reemplaçar dispositius que hagin fallat.
3. Direcció de grup: és un domini de fins a 256 grups.

C. FUNCIONAMENT DEL SISTEMA

a) Sistema de control del sistema d'aigua calenta sanitària (ACS)

Producció solar

El sistema de control de producció solar s'encarrega d'aprofitar la producció d'ACS del sistema termosolar i determina el funcionament de les bombes en funció de l'estat del sistema. La precisió del sistema de control i la regulació dels punts de consigna asseguren que el circuit primari estarà en circulació sempre que les condicions de producció siguin favorables, és a dir, existeixi un salt tèrmic entre la impulsió i el retorn solar, això és que la temperatura existent sigui un salt tèrmic favorable entre el circuit primari solar i el punt més fred de l'acumulador.

Producció de la caldera

El sistema de control de la caldera s'encarrega de gestionar la producció d'ACS generada per la caldera, l'objectiu de control és reduir al mínim de la caldera en el sistema d'ACS. Els elements que cal tenir en compte en el sistema de producció de caldera són les bombes de circulació, el dipòsit acumulador principal, les sondes de temperatura i els comptadors d'energia tèrmica, entre altres. El principal objectiu del sistema d'ACS és mantenir la temperatura de l'acumulador a 60 °C en la seva part alta.

Producció aerotèrmica

La producció d'aerotèrmia s'encarrega de mantenir el dipòsit principal per sobre de 60 °C per evitar l'ús de la caldera. L'aerotèrmia és una unitat autònoma que ha d'estar activada en tot moment i s'ha de regular segons la parametrització inicial.

Regulació del consum

El sistema de regulació del consum s'encarrega de garantir la correcta distribució d'ACS a l'edifici. Al principi de la xarxa es disposa d'una vàlvula que s'encarrega de limitar la temperatura màxima en la xarxa de consum, que és de 60 °C. D'altra banda, al final de la xarxa hi ha una bomba de recirculació amb la qual assegurem que sempre hi haurà com a mínim una temperatura de 50 °C.

Xoc tèrmic per a la prevenció de la legionel·losi

El sistema ha de comptar amb dispositius de prevenció de la legionel·losi que compleixen els requisits establerts al Reial decret 865/2003, de 4 de juliol, sobre criteris higienicosanitaris.

b) Sistema de sanejament

El BMS s'encarrega de l'estat de les bombes del sistema de sanejament. El quadre d'especialista instal·lat ha d'incorporar una sortida d'estat per bomba i una sortida d'alarma per al sistema de bombament de cada arqueta.

c) Sistema de comptadors

- Comptadors tèrmics
Comptadors integrats mitjançant bus de comunicacions LON. Aquests comptadors no donen els watts generats tèrmicament mitjançant els sistemes de producció d'ACS. Addicionalment, aquests comptadors proporcionen valors de temperatura i cabals dels conductes associats.
- Comptadors de cabal.
- Comptadors d'energia.
- Comptadors de gas.

d) Sistema de control i regulació d'aportació d'aire exterior

Control de comportes

Per renovar la qualitat de l'aire, es disposa de comportes motoritzades en impulsió i extracció. Les comportes actuen de manera proporcional a la qualitat de l'aire determinada per una sonda de CO₂ situada en el conducte d'extracció de cada estança.

Regulació de recuperadors

Els recuperadors són màquines encarregades de renovar l'aire sota unes determinades condicions de pressió, cabal o qualitat de l'aire. Els recuperadors suposen un estalvi energètic perquè, mitjançant l'encreuament de fluxos d'aire en el nucli intercanviador, permeten reutilitzar part de la càrrega del flux d'expulsió en el flux d'impulsió.

Control de la unitat de tractament d'aire (UTA)

El sistema de control incorpora la marxa/aturada de la UTA per a accions de manteniment i per tallar l'aportació d'aire a les estances de l'edifici en cas d'incendi.

e) Sistema de control de circulacions verticals

El sistema d'ascensors proporciona contactes per al monitoratge de l'estat dels ascensors. El sistema de BMS recull aquests contactes per disposar d'una visualització en l'SCADA de l'edifici.

f) Integració de centrals autònomes

- Central contra incendis: integració dels contactes de marxa, aturada, estat i alarma.
- Central de clima: integració de contactes d'alarma i estat.
- Central de gas: integració de contactes d'alarma i estat.
- Central de control de grup electrogen: integració de contactes d'alarma i estats.

g) Sistema de sobrepressió

En cas d'incendi aquests sistemes s'encarreguen de mantenir en sobrepressió les escales. Aquest sistema està compost per un variador de freqüència per a la regulació del ventilador d'escala i una sonda de pressió diferencial entre el buit d'escales i la zona exterior.

h) Porta principal

Mitjançant el sistema BMS podem incorporar la seva obertura en cas d'incendi.

i) Il·luminació

El sistema de regulació s'encarrega de gestionar les lluminàries. Mitjançant actuadors, quadres elèctrics, pulsadors, sensor astronòmic, sensors de presència i sensors de lluminositat, el sistema duu a terme l'ON/OFF dels circuits d'il·luminació o la regulació del nivell de llum. A més, també cal complir l'apartat 1.b del punt 2.2 del DB-HE-3, que indica que cal aprofitar la llum natural.

j) Actuació en cas d'incendi

El sistema BMS realitza funcions de suport al sistema contra incendis: atura el sistema de climatització per evitar avivar l'incendi, atura la UTA, encén les lluminàries de les vies d'evacuació, obre l'edifici, bloqueja els ascensors, etc.

6.3. Telegestió

La telegestió, com la mateixa paraula indica, és la gestió remota d'una instal·lació. Es tracta d'un concepte molt lligat al monitoratge de consums, ja que la programació, l'automatització i la mateixa presa de decisions manual depèn en gran mesura de la potència i del consum que s'estiguin registrant en un equip o en una zona concreta.

Així, la telegestió permet controlar remotament les consignes de treball i l'aturada i l'encesca dels equips, des de les operacions simples fins a les més complexes. Com s'ha descrit a l'apartat anterior, un correcte sistema de control de paràmetres i consignes de funcionament de les instal·lacions de l'edifici (BMS) permet la telegestió d'aquest edifici, és a dir, permet la gestió de les seves instal·lacions en remot, sense necessitat que el responsable de manteniment estigui físicament al lloc, o hagi d'anar específicament a la ubicació de l'equip afectat.

En l'actualitat, el gran avantatge que la telegestió representa en termes d'eficiència energètica és la integració en un mateix sistema del control de les instal·lacions amb la gestió energètica d'aquestes mateixes instal·lacions. Així, mitjançant l'encreuament de les dades en temps real de consignes i paràmetres de funcionament dels equips, que és informació que correspon al BMS, amb les dades de consum energètic i els indicadors corresponents –d'ocupació, superfície, climatològiques de l'exterior, etc.–, que és típicament informació associada a un sistema de gestió energètica, també en temps real, es pot controlar el funcionament dels equips i les instal·lacions de manera que s'optimitzi el seu consum energètic.

Un cas molt clar és poder controlar remotament els consums detectats en períodes sense activitat (de nit, caps de setmana...), que es produeixen per errors de programació o per descuits de no aturar-los abans d'abandonar l'edifici, que cal detectar i resoldre per optimitzar els consums residuals.

La telegestió és una eina que no sols permet la gestió en remot de les instal·lacions, sinó que també és l'eina mitjançant la qual es poden integrar les funcionalitats

associades a la gestió energètica amb les funcionalitats intrínseques a qualsevol sistema de gestió d'un edifici de manera senzilla, amb informació en temps real i amb l'opció d'actuar sobre les instal·lacions.

Aquest sistema de telegestió s'identifica com a BEMS, per les seves seges en anglès *building energy management system*, i és el nom sota el qual es denomina la gestió integrada d'instal·lacions que té en compte les necessitats energètiques de l'edifici.

6.4. Formació dels usuaris

A la majoria d'edificis, i sobretot als edificis d'ús residencial i terciari, els principals responsables del seu consum són els seus usuaris, llevat que l'edifici disposi d'un grau elevat d'automatització i domòtica. El consum de la climatització, la il·luminació, els aparells elèctrics i l'aigua calenta, entre altres, depenen bàsicament de l'ús que en fan els usuaris de l'edifici. Per tant, la seva formació i sensibilització en matèria d'estalvi i eficiència energètica pren una importància cabdal.

Així, cal que l'edifici incorpori un pla de formació i de conscienciació sobre les millors pràctiques energètiques per garantir un bon confort a l'interior alhora que es minimitzen els consums energètics.

És aconsellable que el desenvolupament del pla de formació sigui específic per a cada edifici. El pla ha de tenir en compte els objectius i les estratègies inicials que preveu el disseny de l'edifici i, a la vegada, prendre com a referència els patrons d'ús i les pautes de funcionament inicial de l'edifici i de les seves instal·lacions. Fruit de la combinació d'ambdues variables es podran definir les accions més eficients possibles.

Els suports de comunicació sobre els quals s'ha de desenvolupar el pla de formació poden ser múltiples (imatges i senyals impresos, missatges lluminosos o en línia als ordinadors de treball, jornades de conscienciació, utilització del joc com a fórmula d'implementació...). En aquest sentit, és aconsellable designar una persona responsable de comparar la incidència de les campanyes de comunicació en la disminució del consum energètic.

Amb independència del suport que s'utilitzi, cal remarcar la necessitat d'interactuar amb l'usuari d'una manera recurrent (sense arribar a incomodar) i variada. Aquesta comunicació ha de garantir que els ocupants dels edificis sempre tinguin en compte la variable de l'estalvi energètic en les seves actuacions quotidianes i ha de permetre que les millores assolides es consolidin i que es pugui iniciar un procés de millora contínua durador en el temps.

Finalment, cal destacar que, empíricament, la millora de la gestió energètica d'un edifici amb la formació a través de gràfiques, la sensibilització i la motivació dels seus usuaris permet estalvis d'entre el 10% i el 30% amb unes inversions mínimes o nul·les.



7. Més enllà dels edificis de consum d'energia gairebé zero

Els edificis de consum d'energia gairebé zero ja són una realitat: hi ha una normativa que els defineix i n'estableix els requisits, tant per a edificis d'obra nova com per a edificis rehabilitats.

Els reptes següents són múltiples. I si els edificis produeixen més energia de la que necessiten? A més de l'energia durant l'ús de l'edifici, quanta energia gastem per produir els materials de construcció, per portar-los a l'obra i per executar-la? Quins altres impactes ambientals provoquen els edificis i com es poden reduir perquè l'economia sigui cada cop més circular?

Amb una visió encara més general, pensem en les tres vessants de la sostenibilitat: beneficis socials, viabilitat econòmica i cura del medi ambient? Quins són els objectius del desenvolupament sostenible?

Volem aprofitar l'oportunitat per plantejar breument aquests conceptes i donar una visió global d'altres temes fonamentals per a un món més sostenible.

7.1. Els edificis d'energia positiva

Els edificis de consum d'energia gairebé zero se centren en el consum d'energia previst durant el seu disseny (no es mesura el que consumirà realment l'edifici). Alhora, tenen en consideració els consums per proporcionar aigua calenta sanitària, climatització, calefacció, refrigeració i ventilació, i en el cas d'edificis terciaris, també enllumenat. Altres consums com els electrodomèstics, els equips d'ofimàtica, l'enllumenat a habitatges o la recàrrega del vehicle elèctric no es consideren en els edificis de consum d'energia gairebé zero.

Els edificis d'energia positiva, pendents de tenir una definició oficial consensuada, són aquells edificis de consum zero d'energia que arriben a cobrir parcialment les necessitats d'altres edificis existents, cosa que deriva en la independència energètica del parc edificatori.

En aquest tipus d'edificis s'aplica el concepte de *consumidor proactiu* (*prosumidors*): les persones usuàries són alhora productores i consumidores d'energia. Al mateix temps, la demanda cal que sigui flexible i que el consum es moduli en funció de les condicions climàtiques, les necessitats de les persones usuàries i els requeriments de la xarxa. Perquè sigui possible, calen sistemes de control i gestió de l'edifici per mantenir el confort interior, la producció i el consum òptims d'energia.

Els districtes d'energia positiva són aquells en què els seus edificis estan interconnectats mitjançant una distribució intel·ligent de xarxes energètiques.

7.2. L'energia embeguda als edificis

L'objectiu dels edificis de consum d'energia gairebé zero és reduir el consum d'energia dels edificis durant el seu ús. En aquests edificis es millora l'eficiència energètica de l'envolupant dels edificis i de les seves instal·lacions, s'incorporen instal·lacions d'energia renovable, amb la qual cosa s'aconsegueix disminuir en gran mesura l'energia utilitzada per a l'escalfament d'aigua calenta sanitària, la calefacció i la refrigeració.

A mesura que els edificis són més eficients, disminueix el percentatge de l'energia consumida durant la seva utilització i augmenta el pes relatiu de l'energia necessària per a l'extracció i transformació dels materials de construcció. Aquesta és l'anomenada *energia embeguda en els materials*; l'economia circular proposa estratègies per reduir-la.

Segons la publicació del maig de 2021 *Whole-life carbon: Challenges and solutions for highly efficient and climate-neutral buildings*,¹ la relació entre l'energia embeguda i l'energia d'ús ha augmentat tant en termes relatius com en absoluts: els edificis altament eficients requereixen més materials i serveis. Tot i així, és tècnicament possible construir edificis altament eficients amb una reduïda energia embeguda.

Emissions durant el cicle de vida de l'edifici				
	Producció	Construcció	Ús	Fi de vida
CO ₂ embegut als materials	Subministrament de matèria primera	Fabricació i construcció	Manteniment i reparació	Desconstrucció/enderroc
	Fabricació			Malbaratament processament, disposició
CO ₂ operacional			Ús	

Taula 7.1. Emissions durant el cicle de vida de l'edifici.

Segons aquesta mateixa publicació, s'estima que el diòxid de carboni embegut contribueix entre un 10-20% a la petjada de CO₂ dels edificis de la Unió Europea. En el cas d'edificis altament eficients, aquest percentatge pot arribar al 50%. Tres països han introduït límits de CO₂ per a nous edificis: Dinamarca, els Països Baixos i França. Per tenir en compte les emissions de CO₂ de tot el cicle de vida de l'edifici, cal considerar tant els materials com els processos, la millora de la productivitat i l'eliminació dels residus.

7.3. Economia circular

La nostra economia és lineal basada en els supòsits de la revolució industrial, en què la població mundial era reduïda i els recursos eren abundants² (el 1850 hi havia 1.000 milions de persones al món i el 2019 n'hi ha 7.700 milions). La població s'ha multiplicat per 7,7 en 200 anys i els recursos cada cop són més escassos.

1. <https://www.bpie.eu/publication/whole-life-carbon-challenges-and-solutions-for-highly-efficient-and-climate-neutral-buildings/>.

2. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>.

Segons la comunicació de la Comissió de la UE de l'11 de març de 2020 COM(2020) 98,³ Nou Pla d'acció per a l'economia circular per una Europa més neta i més competitiva, l'entorn construït té repercussions significatives:

- Absorbeix al voltant del 50% de tots els materials extrets.
- És responsable de més del 35% del total dels residus generats a la UE.
- S'estima que les emissions de GEH resultants de l'extracció de materials, la fabricació de productes de construcció i la construcció i renovació d'edificis oscil·len entre el 5% i el 12% de les emissions nacionals totals de GEH.
- Una eficiència més gran dels materials podria suposar un estalvi del 80% d'aquestes emissions.

Davant d'aquesta situació és necessari un canvi de model cap a una economia circular. Un cop finalitzada la vida útil dels edificis, els materials de construcció s'han de transformar en matèries primeres per a edificis nous.

L'Estratègia espanyola d'economia circular,⁴ Espanya circular 2030 (EEEC) posa les bases per impulsar un nou model de producció i consum en el qual els productes, materials i recursos allarguin la seva vida útil per reduir la generació de residus i aprofitar els que no es poden evitar. L'EEEC identifica sis sectors prioritaris per a l'economia circular: construcció, agroalimentari, pesquer i forestal, industrial, béns de consum, turisme i tèxtil i confecció.

L'estratègia es marca, entre altres, els objectius següents per a l'any 2030:

- Reduir en un 30% el consum nacional de materials en relació amb el PIB, prenent com a any de referència el 2010.
- Reduir la generació de residus un 15% respecte del 2010.
- Reduir la generació de residus d'aliments en tota la cadena alimentària: 50% de reducció *per capita* en els àmbits de la llar i el consum al detall i un 20% en les cadenes de producció i subministrament a partir de l'any 2020.
- Incrementar la reutilització i preparació per a la reutilització fins a arribar al 10% dels residus municipals generats.
- Millorar un 10% l'eficiència en l'ús de l'aigua.
- Reduir l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle per sota dels 10 milions de tones de CO₂ equivalent.

L'ús de materials en la construcció d'edificis té un impacte en l'entorn en totes les seves fases: extracció, transport, manipulació, posada en obra, funcionament i fi de vida. A l'hora d'escollir els materials a utilitzar en els projectes, és aconsellable optar per materials que disposin de l'anàlisi del cicle de vida (ACV) i que tinguin un impacte ambiental baix.

Per tal de reduir l'impacte mediambiental dels materials, a banda de considerar el seu origen i l'energia necessària per a la seva transformació, caldria que els materials complissin alguna o algunes de les condicions següents:

- **Renovable:** els materials haurien de ser renovables i gestionats de manera sostenible (per exemple, la fusta dels arbres, el bambú...).
- **De proximitat (km 0):** els materials haurien de ser produïts a prop del punt de consum per minimitzar el consum d'energia durant el seu transport.

3. https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en.

4. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/>.

- **Disminució de residus mitjançant les estratègies següents:**
 - Reduir el nombre de materials als imprescindibles.
 - **Reutilitzable:** els materials haurien de poder ser utilitzats diverses vegades sense requerir cap procés de transformació o amb un procés de transformació mínim.
 - **Reciclable:** els materials haurien de ser fàcilment reciclables, de manera que un material pensat inicialment per a un ús pugui ser transformat i usat amb una altra finalitat.
 - **Recuperat:** utilització d'un element constructiu per a una finalitat diferent per a la qual ha estat dissenyat.
 - **Durable:** els materials haurien de mantenir les seves prestacions i idoneïtat durant el temps més llarg possible, de manera que el seu impacte energètic pugui repercutir en una vida útil més llarga.

En aquest sentit, les solucions constructives més adequades són les que tenen unes dimensions ajustades al càlcul (per reduir el volum del material i, per tant, el consum d'energia) i que es realitzen amb elements fàcilment separables, mitjançant capes no adherides que permetin la desconstrucció. Aquesta mesura facilita el reciclatge posterior del material i minimitza la generació de residus.

Per altra banda, la utilització de sistemes prefabricats disminueix la generació de residus a l'obra i garanteix la recuperació dels generats en fabricar-los.

Recomanació:

És convenient utilitzar materials i sistemes de construcció durables, si és possible amb algun tipus de distintiu de qualitat ambiental (ecoetiquetes) que garanteixi un impacte ambiental tan baix com es pugui (fabricat amb components reciclats, amb consum energètic baix, reutilitzable i/o reciclable en el futur), fàcilment desmuntables, estandarditzats i de procedència propera (per tal de disminuir la despesa energètica afegida pel transport).

Les declaracions ambientals de productes (DAP), basades en la norma ISO 14025, aporten una informació ambiental molt útil a l'hora d'escollir els materials i els sistemes a partir de variables ambientals i fonamentades en l'anàlisi del cicle de vida (ACV). A escala europea, ja existeixen marcs normatius que classifiquen, defineixen procediments i determinen la informació que aquestes declaracions han de proveir al mercat. Per tant, són fàcilment comparables entre si, alhora que tenen un marc regulatiu comú a tot el territori europeu.

7.4. Level(s): marc d'avaluació ambiental d'edificis

Level(s) és un marc comú per tota la Unió Europea d'avaluació ambiental d'edificis al llarg del seu cicle de vida. El sector de la construcció és responsable de la meitat dels materials extrets de la natura i de la meitat del consum total d'energia. Alhora, genera un terç dels residus i consumeix el mateix percentatge d'aigua.

Level(s) deu el seu nom al fet que estableix una avaluació per nivells, en funció del moment en què es troba l'edifici:

- Level 1 – Disseny conceptual (avantprojecte i projecte bàsic)
- Level 2 – Disseny detallat (projecte executiu) i construcció
- Level 3 – *As-built* i edifici en ús

S'estableixen els setze indicadors que cal avaluar per definir l'impacte ambiental d'un edifici, agrupats en sis macroobjectius:

Taula 7.2. Relació dels setze indicadors a avaluar per definir l'impacte ambiental d'un edifici.

Macroobjectiu	Indicador
1. Gas amb efecte d'hivernacle i emissions de gas contaminant al llarg del cicle de vida de l'edifici	1.1. Eficiència energètica en l'ús de l'edifici (kWh/m ² -any)
	1.2. Potencial d'escalfament global al cicle de vida (kg CO ₂ equivalent/m ² -any)
2. Recursos eficients i circularitat en el cicle de vida dels materials	2.1. Llista de quantitats, materials i vida útil
	2.2. Residus i materials de construcció i demolició
	2.3. Disseny per a l'adaptabilitat i la renovació
	2.4. Disseny per a la desconstrucció, la reutilització i el reciclatge
3. Ús eficient dels recursos hídrics	3.1. Consum d'aigua de l'etapa d'ús (m ³ /ocupant/any)
4. Espais saludables i còmodes	4.1. Qualitat de l'aire interior
	4.2. Temps fora del rang de confort tèrmic
	4.3. Il·luminació i confort visual
	4.4. Acústica i protecció contra el soroll
5. Adaptació i resiliència al canvi climàtic	5.1. Protecció de la salut dels ocupants i del confort tèrmic
	5.2. Augment del risc de clima extrem
	5.3. Drenatge sostenible
6. Cost i valor del cicle de vida optimitzats	6.1. Costos del cicle de vida (€/m ² -any)
	6.2. Creació de valor i factors de risc

Les certificacions ambientals d'edificis estableixen unes puntuacions per determinar quin és l'impacte ambiental de l'edifici. En canvi, Level(s) estableix quins són els indicadors que cal avaluar, no es puntua si un edifici és més sostenible que un altre.

A l'article 7 de l'esborrany de l'actualització de la directiva europea sobre eficiència energètica d'edificis, s'indiquen les disposicions relatives als edificis nous, que inclouen l'avaluació amb el marc Level(s):

- a) A partir del 2030, els edificis nous han de ser edificis de zero emissions; els edificis públics nous han de ser edificis de zero emissions a partir del 2027. [...]
- b) El potencial d'escalfament global (PEG) al llarg del cicle de vida dels edificis nous s'ha de calcular a partir del 2030 de conformitat amb el marc Level(s) per informar sobre les emissions al llarg del cicle de vida complet de les noves construccions. Les emissions del cicle de vida complet són especialment importants per als edificis grans, per això l'obligació de calcular aquestes emissions s'aplica als edificis grans (amb una superfície útil superior a 2.000 metres quadrats) ja a partir del 2027.
- c) Els estats membres han d'abordar, en relació amb els edificis nous, aspectes importants que van més enllà de l'eficiència energètica, com ara les condicions ambientals interiors saludables, l'adaptació al canvi climàtic, la seguretat contra incendis, els riscos relacionats amb una activitat sísmica intensa i l'accessibilitat per a les persones amb discapacitat. També han d'abordar les absorcions de carboni associades a emmagatzemar-les a l'interior o l'exterior dels edificis.

7.5. Segells ambientals d'edificis

A banda de les definicions oficials de cada estat membre, a Europa existeixen alguns estàndards de referència per als edificis de baix consum. Aquests estàndards defineixen exhaustivament els criteris per al seu compliment.

Els certificats es poden diferenciar en dos tipus: els certificats que atorguen diferents qualitats de distintiu (LEED, BREEAM, VERDE i DGNB) i els que atorguen o deneguen el certificat (PASSIVHAUS i MINERGIE-ECO).

La majoria dels certificats tracten un gran nombre de criteris, que s'han agrupat en diferents àmbits: parcel·la i emplaçament, materials i recursos, energia i atmosfera, aigua, qualitat de l'ambient interior, aspectes socials i econòmics, gestió i qualitat de servei, entre d'altres.

El certificat PASSIVHAUS, en canvi, només tracta el vector energia i algun criteri de qualitat de l'ambient interior, igual que el MINERGIE que, a més a més, incorpora la gestió econòmica. El MINERGIE-ECO afegeix el vector de materials i recursos i més criteris respecte de la qualitat de l'ambient interior.

Comparativa en l'àmbit d'energia dels certificats voluntaris

Al web de l'ICAEN podeu trobar informació relativa a tots els certificats voluntaris d'edificis i, en l'apartat de publicacions, també hi podeu trobar una descripció de cadascun d'ells amb les seves característiques al document *Descripció dels certificats voluntaris d'edificis*. (http://icaen.gencat.cat/ca/energia/usos_energia/edificis/certificats-voluntaris-dedificis/)

7.6. Objectius de desenvolupament sostenible (ODS)

L'informe Brundtland es va publicar el 1987 per part d'una comissió de l'ONU liderada per l'ex-primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland. Es va utilitzar per primer cop el terme *desenvolupament sostenible*, que es va definir així: «La sostenibilitat consisteix a satisfer les necessitats de l'actual generació sense sacrificar la capacitat de futures generacions de satisfer les seves pròpies necessitats.»

El progrés econòmic i social ha de respectar els ecosistemes naturals i la qualitat de l'entorn.

Agenda 2030 sobre el desenvolupament sostenible

El 2015,⁵ l'Organització per les Nacions Unides va publicar l'Agenda 2030⁶ sobre el desenvolupament sostenible per millorar la qualitat de vida de les persones, respectant el medi ambient i sense deixar ningú enrere. Tots els estats membres de les Nacions Unides, entre ells Espanya, van signar aquest document i es van comprometre a assolir els disset objectius per al desenvolupament sostenible.

Els objectius impulsen la millora en els tres àmbits de la sostenibilitat, la societat, perquè ningú quedi enrere, l'economia i la protecció del medi ambient.

5. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

6. Font: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.

Figura 7.1.
Els 17 Objectius de
Desenvolupament
Sostenible (ODS).



La meitat de la població mundial viu a les ciutats, i es preveu que aquesta xifra arribi als 5.000 milions el 2030 (respecte d'un total⁷ previst de 8.550 milions de persones). Tot i que els objectius de desenvolupament sostenible estan molt relacionats entre ells, els següents són els que estan més directament relacionats amb les ciutats:

- Ciutats i comunitats sostenibles (ODS 11)
 - Tot i que les ciutats només ocupen el 3% de la Terra, representen entre el 60% i el 80% del consum d'energia i el 75% de les emissions de diòxid de carboni.
 - L'any 2016, el 90% dels habitants de les ciutats respirava aire que no complia les normes de seguretat establertes per l'Organització Mundial de la Salut, cosa que va provocar un total de 4,2 milions de morts a causa de la contaminació atmosfèrica. Més de la meitat de la població urbana mundial va estar exposada a nivells de contaminació de l'aire almenys 2,5 vegades més alts que l'estàndard de seguretat.
 - Aquests són algunes de les metes per a les ciutats el 2030:
 - Assegurar l'accés de totes les persones a habitatges i serveis bàsics adequats, segurs i assequibles i millorar els barris marginals.
 - Proporcionar accés a sistemes de transport assequibles, accessibles i sostenibles per a tots i millorar la seguretat viària.
 - Augmentar la urbanització inclusiva i sostenible i la capacitat per a la planificació i la gestió participatives.
 - Reduir significativament el nombre de morts causades pels desastres, inclosos els relacionats amb l'aigua, i reduir l'impacte ambiental negatiu per capita de les ciutats.
- Energia assequible i no contaminant (ODS 7)
 - El 13% de la població mundial encara no té accés a serveis moderns d'electricitat i 3.000 milions de persones depenen de la fusta, el carbó, el carbó vegetal o les deixalles d'origen animal per cuinar i escalfar el menjar.

7. <https://ourworldindata.org/future-population-growth>.

- L'energia és el factor que contribueix principalment al canvi climàtic i representa al voltant del 60% de totes les emissions mundials de gasos amb efecte d'hivernacle.
- El 2015, el 17,5% del consum final d'energia va ser d'energies renovables.
- Aquests són algunes de les metes per a l'energia el 2030:
 - Garantir l'accés universal a serveis energètics assequibles, fiables i moderns.
 - Augmentar considerablement la proporció d'energia renovable en el conjunt de fonts energètiques.
 - Duplicar la taxa mundial de millora de l'eficiència energètica.
- Aigua neta i sanejament (ODS 6)
 - Tres de cada deu persones no tenen accés a serveis d'aigua potable i sis de cada deu no tenen accés a instal·lacions de sanejament gestionades de forma segura.
 - Les dones i les nenes són les encarregades de recollir aigua al 80% de les llars sense accés a aigua corrent.
 - L'escassetat d'aigua afecta més del 40% de la població mundial i es preveu que aquest percentatge augmenti. Més de 1.700 milions de persones viuen actualment en conques fluvials en què el consum d'aigua supera la recàrrega.
 - Més del 80% de les aigües residuals resultants d'activitats humanes s'aboquen als rius o al mar sense cap tractament, fet que provoca la seva contaminació.
 - Aproximadament el 70% de totes les aigües extretes dels rius, llacs i aqüífers s'utilitzen per al reg.
 - Aquests són algunes de les metes per a la gestió de l'aigua el 2030:
 - Aconseguir l'accés universal i equitatiu a l'aigua potable a un preu assequible per a tots, i l'accés a serveis de sanejament.
 - Millorar la qualitat de l'aigua reduint la contaminació i eliminant l'abocament.
 - Implementar la gestió integrada dels recursos hídrics a tots els nivells, fins i tot mitjançant la cooperació transfronterera, segons escaigui.

7.7. Pacte Verd Europeu

L'11 de desembre de 2019, es va presentar el Pacte Verd Europeu⁸ com a part de l'estratègia de la Comissió per aplicar l'Agenda 2030 i els objectius de desenvolupament sostenible de les Nacions Unides.

El Pacte Verd vol donar resposta als reptes del clima i del medi ambient. Són múltiples els impactes ambientals provocats per l'ésser humà: escalfament global, canvi climàtic, contaminació de boscos i oceans, així com l'amenaça a la biodiversitat (de vuit milions d'espècies al planeta, un milió està en risc d'extinció).

Aquest pacte proposa transformar la Unió Europea en una societat equitativa, amb una economia moderna, dissociada dels usos de recursos, **sense emissions netes de gasos amb efecte d'hivernacle el 2050**.

Els objectius del Pacte Verd Europeu són els següents, tenint en compte el finançament i que ningú quedi enrere (transició justa):

8. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es.

- Un major nivell d'ambició climàtica de la UE per al 2030 i 2050.
- Subministrament d'energia neta, assequible i segura.
- Mobilització de la indústria en pro d'una economia neta i circular.
- Ús eficient de l'energia i els recursos en la construcció i renovació d'edificis.
- Cap a una contaminació zero en un entorn sense substàncies tòxiques.
- Preservació i restabliment dels ecosistemes i la biodiversitat.
- «De la granja a la taula»: un sistema alimentari just, saludable i respectuós amb el medi ambient.
- Acceleració de la transició cap a una mobilitat sostenible i intel·ligent.

Un terç dels 1,8 bilions d'euros d'inversions del pla de recuperació Next Generation EU⁹ i el pressupost de set anys de la UE finançaran el Pacte Verd Europeu.

El pla de recuperació Next Generation EU preveu invertir més de 800.000 milions d'euros a Europa per sortir de la crisi causada per la pandèmia del virus COVID-19. Aquests fons serviran per construir una Europa més ecològica, digital i resilient.

9. https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_es.

