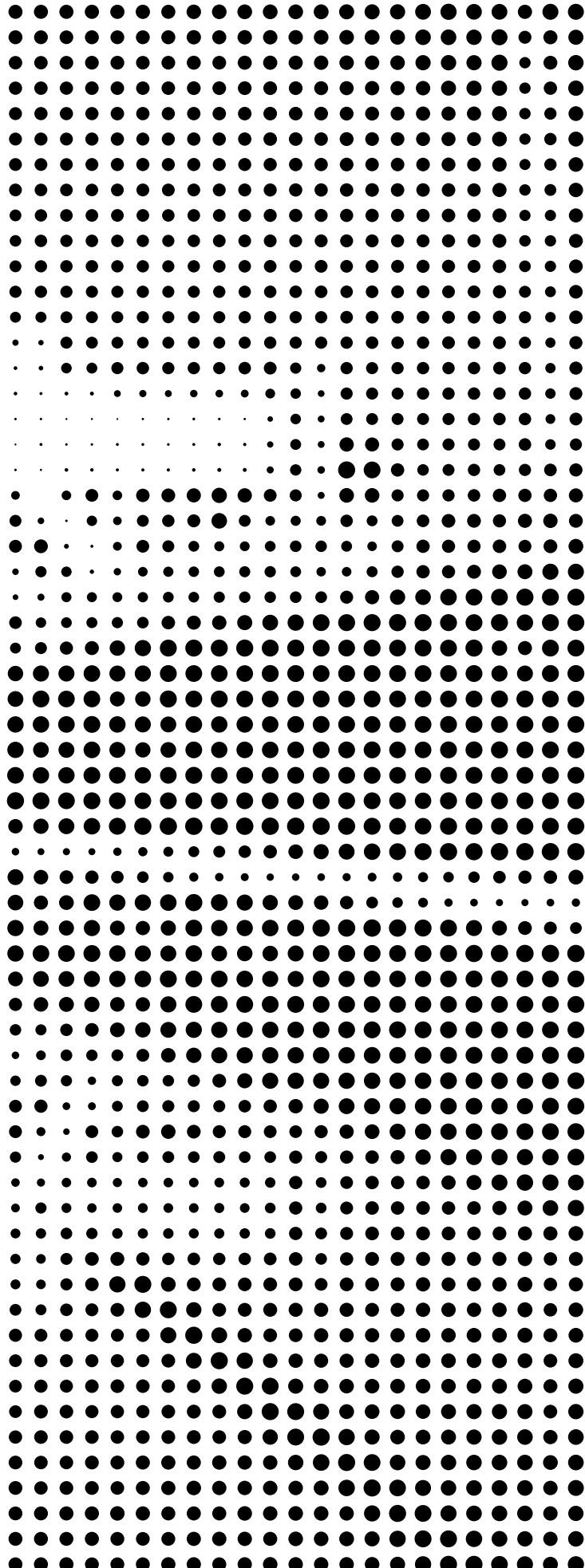




L'energia a les instal·lacions esportives



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 6



Generalitat de Catalunya
Institut Català d'Energia

L'energia a les instal·lacions esportives



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 6



Generalitat de Catalunya
Institut Català d'Energia





L'energia a les instal·lacions esportives



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 6



Generalitat de Catalunya
Institut Català d'Energia

Biblioteca de Catalunya - Dades CIP

L'Energia a les instal·lacions esportives

2a ed: Col·lecció Quadern pràctic 6

Versió rev. i actualitzada de l'ed. de 1998

Bibliografia:

Institut Català d'Energia

II. Col·lecció: Col·lecció Quadern pràctic 6

1. Instal·lacions esportives-Consum d'energia

2. Instal·lacions esportives-Estalvi d'energia

Catalunya 725.89:620.9 (467.1)



© Generalitat de Catalunya

Departament d'Empresa i Ocupació

Institut Català d'Energia

gencat.cat/icaen

2a. edició: Barcelona, setembre de 2012.

Aquesta obra és una versió revisada i actualitzada

de la publicació *L'energia a les instal·lacions esportives*

editada per l'Institut Català d'Energia el desembre de 1998.

Dipòsit legal: B. 28304-2012.

Contingut tècnic:

Albert Salas, Institut Català d'Energia.

Manel Sant Martí i Núria Valero, ISUNO.

Coordinació i edició:

Institut Català d'Energia.



Versió electrònica:

http://gencat.cat/icaen/publicacions/06_installacions_esportives.pdf

Disseny i maquetació:

Oxigen, comunicació gràfica

Avís legal:

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



Índex

Índex

Pròleg

0. Autoavaluació

- 0.1. Quin és el consum tipus d'un centre esportiu
- 0.2. Indicadors energètics: com mesurar el consum d'una instal·lació
 - 0.2.1. Informació a preparar abans de començar l'autoavaluació
 - 0.2.2. Càlcul del consum d'energia final
 - 0.2.3. Càlcul del consum d'energia primària
 - 0.2.4. Indicadors per a l'autoavaluació
- 0.3. Punt de partida: Què s'està fent bé i en què es pot millorar
 - 0.3.1. Autoavaluació d'instal·lacions "AMB piscina calefactada"
 - 0.3.2. Autoavaluació d'instal·lacions "SENSE piscina calefactada"
 - 0.3.3. Exemple de com autoavaluar una instal·lació
- 0.4. Pla de millora energètica: prioritats i passos a seguir
 - 0.4.1. Identificació d'actuacions potencials de millora energètica segons resultat d'autoavaluació i segons tipus d'instal·lació
 - 0.4.1.1. Instal·lacions AMB piscina calefactada
 - 0.4.1.2. Instal·lacions SENSE piscina calefactada
 - 0.4.2. Nivells de seguiment energètic possibles en una instal·lació esportiva
- 0.5. Com es pot maximitzar el retorn de la inversió en estalvi energètic: Quins són els capítols de la guia que seran clau per aconseguir-ho?
 - 0.5.1. Mesures per a consumir l'energia de manera més eficient
 - 0.5.2. Mesures aplicades al disseny per a reduir la demanda energètica

1. Introducció

- 1.2. Unitats energètiques
- 1.3. Consum energètic a les instal·lacions esportives
- 1.4. Cost econòmic de l'electricitat
- 1.5. Cost ambiental de les fonts energètiques
- 1.6. Característiques de l'aire humit
- 1.7. Característiques tèrmiques dels materials

2. Criteris de confort

- 2.1. Introducció
- 2.2. El confort tèrmic
- 2.3. Qualitat de l'aire
- 2.4. El confort visual

3. Disseny arquitectònic

3.1. Tipologia de les instal·lacions esportives

3.2. Consideracions generals

3.3. Normativa sobre limitació de la demanda tèrmica i certificació energètica

3.4. Emplaçament de l'edifici

3.4.1. Factors geogràfics

3.4.2. Factors climàtics

3.4.3. Factors urbanístics

3.5. Consideracions arquitectòniques

3.5.1. Orientació de l'edifici

3.5.2. Forma de l'edifici

3.5.3. Color de l'edifici

3.5.4. Sistemes de captació solar passiva

3.5.5. Ventilació de l'edifici

3.6. Inèrcia tèrmica

3.7. Aïllament tèrmic

3.7.1. Materials d'aïllament

3.7.2. Disposició de l'aïllament i obertures

3.8. La condensació

3.9. Il·luminació natural

3.9.1. Factor de llum diürna

4. Tecnologies d'ús racional de l'energia

4.1. Equips productors de calor convencionals

4.1.1. Caldera

4.1.2. Bomba de calor

4.2. Cogeneració i microcogeneració

4.2.1. Tecnologia disponible

4.2.2. Dimensionament i paràmetres del sistema

4.2.3. Integració al sistema

4.2.4. Normativa

4.2.5. Consideracions econòmiques

4.3. Energia solar tèrmica

4.3.1. Tecnologia disponible

4.3.2. Integració al sistema

4.3.3. Dimensionament i paràmetres del sistema

4.3.4. Normativa

4.3.5. Consideracions econòmiques

4.4. Ús de la biomassa sòlida

4.4.1. Tecnologia disponible

4.4.2. Dimensionament i paràmetres del sistema

- 4.4.3. Integració al sistema
- 4.4.4. Normativa
- 4.4.5. Consideracions econòmiques
- 4.5. Bombes de calor geotèrmiques**
 - 4.5.1. Tecnologia disponible
 - 4.5.2. Dimensionament i paràmetres del sistema
 - 4.5.3. Integració al sistema
 - 4.5.4. Normativa
 - 4.5.5. Consideracions econòmiques
- 4.6. Tractament de l'aire**
 - 4.6.1. Ventilació
 - 4.6.2. Emissors de calor
 - 4.6.3. Recuperadors de calor
 - 4.6.4. Refrigeració
- 4.7. Aigua calenta sanitària**
 - 4.7.1. Producció
 - 4.7.2. Distribució
- 4.8. Tecnologies eficients d'il·luminació**
 - 4.8.1. Làmpades
 - 4.8.2. L·luminàries
 - 4.8.3. Equips auxiliars
 - 4.8.4. Regulació i control
 - 4.8.5. Gestió i manteniment energètic
 - 4.8.6. Estudi luminotècnic
 - 4.8.7. Normativa
- 4.9. Bescanviadors d'aigua-aigua**
- 4.10. Variadors de freqüència**
- 4.11. Energia solar fotovoltaica**
- 4.12. Fred activat tèrmicament (fat)**
 - 4.12.1. Tecnologia disponible d'absorció
 - 4.12.2. Dimensionament i paràmetres del sistema
 - 4.12.3. Normativa
 - 4.12.4. Consideracions econòmiques
- 4.13. Sistema de gestió tècnica i monitorització de les instal·lacions**
 - 4.13.1. Sistemes de regulació i control
 - 4.13.2. Monitorització energètica i sistema de gestió energètica
 - 4.13.3. Normativa: programa de gestió energètica i monitorització de consums
- 5. Pavellons i sales**
- 5.1. Criteris de confort**
 - 5.1.1. Confort tèrmic

5.1.2. Qualitat de l'aire

5.1.3. Confort visual

5.2. Disseny arquitectònic

5.3. Càlcul de la despesa energètica

5.3.1. Despesa en calefacció

5.3.2. Despesa en aigua calenta sanitària

5.3.3. Despesa en il·luminació

5.4. Instal·lacions

5.4.1. Ventilació

5.4.2. Calefacció

5.4.3. Aigua calenta sanitària

5.4.4. Il·luminació

5.5. Avaluació de mesures

5.5.1. Calefacció de l'espai esportiu

5.5.2. Energia solar tèrmica en la producció d'aigua calenta sanitària

5.5.3. Enllumenat

6. Piscines cobertes

6.1. Criteris de confort

6.1.1. Confort tèrmic

6.1.2. Qualitat de l'aire

6.1.3. Confort visual

6.2. Disseny arquitectònic

6.2.1. Tipologies de cobertors mòbils

6.3. Càlcul de la despesa energètica

6.3.1. Despesa en la calefacció del vas de la piscina

6.3.2. Despesa en el tractament de l'aire

6.4. Instal·lacions

6.4.1. Mesures sobre l'aigua del vas

6.4.2. Tractament de l'aire

6.4.3. Il·luminació

6.5. Avaluació de mesures

6.5.1. Calefacció de la piscina: vas més aire

6.5.2. Energia solar tèrmica per a l'aigua calenta sanitària
i escalfament del vas de piscina

6.5.3. Enllumenat

7. Instal·lacions a l'aire lliure

7.1. Criteris de confort

- 7.1.1. Confort tèrmic
- 7.1.2. Qualitat de l'aire
- 7.1.3. Confort visual

7.2. Disseny arquitectònic

7.3. Càlcul de la despesa energètica

- 7.3.1. Despesa en la calefacció del vas de la piscina

7.4. Instal·lacions

- 7.4.1. El vas de la piscina
- 7.4.2. Il·luminació

7.5. Avaluació de mesures

- 7.5.1. Energia solar tèrmica en la producció d'aigua calenta sanitària
- 7.5.2. Enllumenat

8. Implantació de serveis energètics en instal·lacions esportives

8.1. Àrees d'actuació de les ESE

8.2. Principals actors

8.3. Tipologies de contracte

8.4. Aplicació de les ESE en instal·lacions esportives

- 8.4.1. Possibilitat d'externalització de serveis energètics
- 8.4.2. Factors a considerar en un contracte amb una ESE
- 8.4.3. Exemples d'aplicació de contractes ESE en centres esportius

Annex

Annex 1. Normativa energètica en desenvolupament

- Annex 1.1. Certificació energètica per a edificis construïts
- Annex 1.2. Edificis de zero energia (nzeb) per als anys 2018 i 2020
- Annex 1.3. Designació d'un gestor energètic i etiquetatge energètic mínim de l'edifici
- Annex 1.4. Possible revisió de la imposició dels productes energètics

Annex 2. La climatologia de catalunya

- Annex 2.1. Introducció
- Annex 2.2. Tipus de clima a catalunya
- Annex 2.3. Paràmetres meteorològics
 - Annex 2.3.1. Paràmetres derivats dels mesuraments de la temperatura
 - Annex 2.3.2. Dades referents al vent
 - Annex 2.3.3. Determinació de la radiació solar incident sobre superfícies inclinades

Bibliografia



Pròleg

Els centres esportius presenten unes característiques que els posicionen com a actors clau en l'àmbit de la promoció de l'estalvi i l'eficiència energètica. En primer lloc, presenten un consum energètic elevat i una complexitat tecnològica en el seu metabolisme energètic que permet que hi conflueixin un ample ventall de solucions tècniques. En segon lloc, destaca la proximitat del centre esportiu amb els ciutadans i per tant la seva capacitat de difondre missatges de divulgació i conscienciació en l'àmbit de l'estalvi i eficiència energètica.

El conjunt de centres esportius de Catalunya es troben distribuïts de forma anàloga a la distribució de la població i presenten, de forma conjunta, un elevat potencial d'estalvi i de sensibilització ciutadana. Concretament, segons dades del cens d'equipaments esportius de Catalunya, actualment hi ha un total de 35.424 espais esportius. En conseqüència, existeix un parc d'edificis amb ús esportiu que té un pes específic significatiu per optimitzar el consum energètic mitjançant l'explotació diària o a través de rehabilitacions. Cal remarcar també l'existència d'un potencial de futurs equipaments esportius, on s'han de plantejar prioritats com la minimització del consum energètic o l'impacte ambiental. En aquest sentit, pel conjunt d'edificis existents i també pels futurs, destaca el sistema d'etiquetatge de centres esportius que promou la Generalitat de Catalunya per a la certificació de la qualitat ambiental del centre esportiu, TES/3021/2011, de 19 de desembre, per la qual s'estableixen els criteris ambientals per a l'atorgament del distintiu de garantia de qualitat ambiental als centres esportius.

Des de l'Institut Català d'Energia, en col·laboració amb el Consell Català de l'Esport, la Diputació de Barcelona i INDESCAT, Cluster de la indústria de l'esport de Catalunya, s'ha realitzat la present guia partint com a reedició d'una guia anterior: "L'energia a les instal·lacions esportives" (Generalitat de Catalunya, 1998). L'objectiu d'aquesta publicació és esdevenir una eina de treball de referència per a la promoció de l'eficiència energètica en centres esportius, i està destinada principalment als col·lectius de tècnics que intervenen en el disseny, construcció i explotació d'aquestes instal·lacions.



0. Autoavaluació: com es pot millorar el consum energètic?

El consum energètic dels centres esportius és el resultat de la interacció del disseny del centre esportiu, el comportament dels usuaris, el manteniment o renovació dels equips i la gestió operativa del centre. En conseqüència, la millora de l'eficiència del centre esportiu es basa en una conjugació adequada de múltiples factors, de manera que no hi ha una solució única que es pugui anar repetint a tots els centres i tipologies. És necessari realitzar un estudi de la casuística de cada centre per oferir una solució adequada a la propietat.

Aquesta part de la guia es defineix com una guia d'autoavaluació energètica. És a dir, una pauta per a identificar, en pocs passos i de manera qualitativa, on cal posar l'accent en la cerca de solucions per a millorar l'eficiència energètica, establint el període de retorn de la inversió com a indicador clau de la viabilitat tècnica i econòmica de cada solució.

L'autoavaluació proposa un índex de continguts de la segona part de la guia. S'indica en quins capítols, el lector trobarà, per a cada àmbit de consum identificat, un ventall de tecnologies que permetran a la propietat, al gestor i/o a l'equip tècnic que dissenya el centre definir les millors solucions per a cada realitat.

Aquesta guia s'estructura de la manera següent:

- **Quin és el consum d'un recinte esportiu tipus**

Es defineixen les tipologies de recinte esportiu i es mostra el consum estàndard de cadascuna de les instal·lacions de l'equipament.

- **Indicadors energètics: com mesurar el consum d'una instal·lació**

En aquest apartat es planteja al lector una metodologia per a desenvolupar un conjunt de variables o indicadors que, en pocs passos i partint d'informació coneguda, li permetran caracteritzar de manera qualitativa el comportament energètic de la seva instal·lació.

- **Punt de partida: què s'està fent bé i en què es pot millorar**

Partint dels indicadors del centre mateix, s'ofereix la possibilitat de comparar-lo amb un col·lectiu de centres de referència i avaluar, comparativament, quins són els principals àmbits de millora que té.

- **Pla de millora energètica: prioritats i passos a seguir**

Un cop identificats els àmbits de millora es prioritzen les possibles actuacions per a cadascun dels àmbits i es mostren els capítols de la guia on s'exposa el ventall tecnològic que hi ha per a cada actuació. En aquest apartat també es mostra quins són els diferents nivells de seguiment energètic que es pot realitzar en una instal·lació esportiva, des d'un nivell més bàsic de seguiment de factures d'energia, fins al nivell més complet d'implantar un Sistema de Gestió Energètica (SGE).

- **Com es pot maximitzar el retorn de la inversió en estalvi energètic: quins són els capítols de la guia que seran clau per aconseguir-ho.**

En aquest apartat es presenten propostes de solucions de millora energètica; d'una banda, d'estalvi d'energia i, de l'altra, de sistemes de producció d'energia. Per a cada solució s'aporta una estimació orientativa del seu període de retorn.

0.1. Quin és el consum d'un centre esportiu tipus

Les necessitats energètiques d'un centre esportiu responen als requisits que presenta l'operativa de les instal·lacions esportives però també, i de manera especialment remarcable, als requisits de confort dels seus usuaris.

La Guia d'eficiència energètica a les instal·lacions esportives diferencia entre tres tipus de recintes esportius per tenir necessitats i/o tecnologies energètiques diferents:

- Pavellons i sales.
- Piscines cobertes.
- Instal·lacions a l'aire lliure.

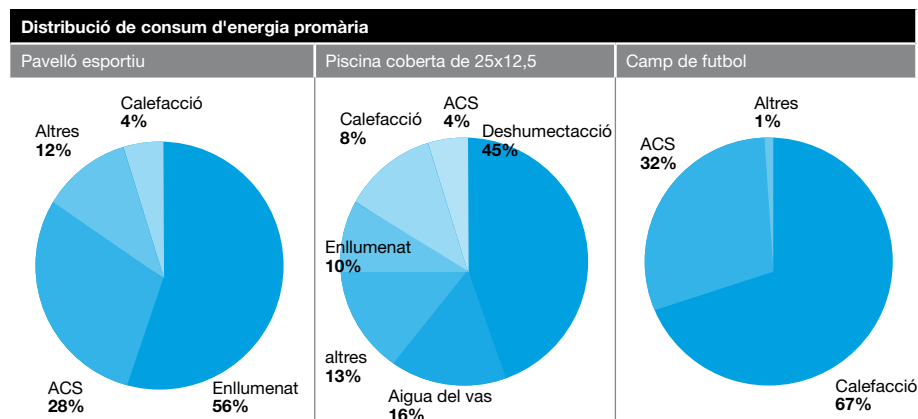
Cal considerar que tipificar el percentatge de consum d'energia segons el servei ofert (calefacció, aigua calenta sanitària, enllumenat...) i obtenir ràtios de consum és una tasca difícil, ja que cada instal·lació esportiva té unes peculiaritats diferenciadores com ara: la localització, les dimensions i els espais esportius oferts, l'arquitectura associada, l'eficiència i tipus d'instal·lacions, les fonts energètiques emprades, les hores anuals d'utilització, la freqüència d'ús, la conscienciació i costums dels usuaris, la gestió energètica. Aquestes consideracions influeixen en el consum energètic de les instal·lacions esportives i en dificulten la comparació. No obstant, tot i l'elevat nombre de variables a considerar, a continuació es descriu una metodologia per tal de definir un indicador del consum energètic de cada centre de manera qualitativa.

En primer lloc, per tal d'obtenir l'energia que consumeix un centre esportiu, cal considerar que l'energia final tèrmica i elèctrica no es pot sumar directament i, per tant, a fi de simplificar el càlcul i poder treballar amb l'agregació dels dos tipus d'energia, es transformen ambdues en energia primària d'acord amb els factors oficials de la Taula 0.1.

Taula 0.1. Factors de conversió per a electricitat. Font: IDAE; dades de l'any 2009. Publicat el novembre de 2010.

Font energètica	Factor d'energia primària
Electricitat	2,28
Gas natural	1,07
Butà i propà	1,05
Gasoil	1,12

Taula 0.2. Distribució orientativa de consum d'energia primària segons tipus de recinte esportiu.



En segon lloc, a fi de definir les principals tipologies de consum dels centres esportius, s'han analitzat els principals perfils de consum energètic dels centres esportius. D'acord amb la taula 0.2 s'estableixen tres tipologies de centres esportius. No obstant, al llarg del document només se n'estudiaran dues: centres amb piscina i centres sense piscina, ja que a la pràctica, la majoria dels centres no presenten un perfil de consums propi d'una tipologia pura sinó que són una combinació de diferents tipologies i el factor clarament diferenciador pel que fa al consum energètic és la presència o no d'una zona d'aigües climatitzada.

En tercer lloc, amb la finalitat de comparar i avaluar el consum energètic dels centres esportius de Catalunya, amb dades reals i representatives de la combinació d'usos i tipus de recintes que solen donar-se als centres catalans, s'ha realitzat un mostratge de dades energètiques de centres esportius arreu de Catalunya.

La confecció de les figures que es presenten als apartats següents s'ha realitzat a partir d'aquest mostratge, pel qual es va confeccionar un qüestionari energètic amb aquesta finalitat, i complementat amb dades energètiques de centres esportius facilitades per la Diputació de Barcelona.

0.2. Indicadors energètics: com mesurar el consum d'una instal·lació

El primer pas per saber com reduir el consum energètic, és identificar quant s'està consumint. Per tant, cal idear un procediment de mesurament del consum d'un centre esportiu que permeti comparar els consums entre diferents centres.

En aquest apartat es planteja una metodologia que permet al lector, a través de les dades que té del seu centre, com la superfície i el consum energètic que aporten les factures de les companyies distribuïdores, sintetitzar tota aquesta informació en un conjunt de variables que li permetin avaluar el comportament energètic de la seva instal·lació.

Aquesta metodologia se centra en calcular un indicador energètic global: la relació entre consum d'energia i un paràmetre característic del tipus d'instal·lació.

A continuació s'explica com calcular l'indicador energètic de la seva instal·lació esportiva, d'acord amb els passos següents:

- Preparació de la informació.
- Càlcul del consum d'energia final.
- Càlcul del consum d'energia primària.
- Càlcul del paràmetre característic segons tipus d'instal·lació.

0.2.1. Informació a preparar abans de començar l'autoavaluació

El primer punt és caracteritzar com és el centre esportiu. En funció de la tipologia de la instal·lació es necessita identificar la superfície total d'espai esportiu característic, segons s'indica a la taula següent.

Instal·lacions AMB piscina climatitzada	Instal·lacions SENSE piscina climatitzada
Superfície de làmina d'aigua de piscina climatitzada, independentment del seu ús (professional, lúdic, spa...).	Superfície d'espai esportiu de pistes i sales interiors i exteriors, excepte dels recintes de piscina.

Taula 0.3. Paràmetre característic segons tipus d'instal·lació esportiva.

Aquestes superfícies s'expressen en metres quadrats, i seran utilitzades en l'autoavaluació que es realitza al capítol següent "Punt de partida: què s'està fent bé i en què es pot millorar"

El segon, és aconseguir les factures o el registre de subministraments energètics. Preferentment les factures durant un any sencer, en què el centre hagi funcionat en condicions normals.

Important: la dada necessària no és el cost, sinó el consum energètic i/o quantitat de combustible.

- Electricitat: expressat en kWh.
- Gas natural: expressat en kWh o m³.
- Gasoil: expressat en litres.
- Propà: expressat en kg o m³.

Finalment, si es disposa d'alguna instal·lació de generació d'energia, cal estimar-ne la producció. Preferentment s'aconsella utilitzar les dades d'un registre de producció durant un any sencer en què el centre hagi treballat en condicions normals.

0.2.2 Càlcul del consum d'energia final

• Consum elèctric

En el cas de l'electricitat, segons el tipus de tarifa que es tingui contractat, i segons la manera de presentar la factura de la comercialitzadora, es pot trobar un valor només per al consum d'energia i/o desglossat en diferents períodes. Això es representa a la Figura 0.1, amb cercles blau fosc i blau clar, respectivament, per al cas d'una tarifa amb tres períodes diferents de tarifa.

Figura 0.1. Exemple de factura elèctrica i localització del terme d'energia elèctrica

Terme Potència			
POTENCIA P1	21,250 kW	x	109,7621 cent.€/kW
POTENCIA P2	28,500 kW	x	65,8573 cent.€/kW
POTENCIA P3	21,250 kW	x	43,9048 cent.€/kW
Terme d'energia			
ENERGIA P1	810,00 kWh	x	13,8293 cent.€/kWh
ENERGIA P2	2722,00 kWh	x	10,8922 cent.€/kWh
ENERGIA P3	664,00 kWh	x	7,1635 cent.€/kWh
Total Energia	4196,00 kWh		
EXCÉS DE REACTIVA Excess de Reactiva segons el Preatge de l'Empresa Distribuïdora			
BASE IMPOSABLE I.E.E. Base Imposable Impost Elèctric: 508,46			
LLOGUER COMPTADOR Lloguer Empresa Distribuïdora			

- Sumar l'energia elèctrica consumida durant un any, i escriure el total en aquesta taula.

Total anual	kWh
Electricitat	
Total (EF1)	

- **Gas natural** (excepte el consumit per a cogeneració)

En el cas del gas natural, segons la manera de presentar la factura de la comercialitzadora, el consum de gas natural es pot trobar expressat en kWh (PCS) i/o en Nm³ (m³). Això es representa a la Figura 0.2, amb cercles blau clar i blau fosc, respectivament.

Contractes	Quantitat	Preu	Import €
Consum gas	44.950 kWh	0,0407228 €	1.830,49
Descompte consum gas	1.830,49 €	6,00%	-109,83
Terme fix	0,953425 mesos	66,48 €	63,38
Total gas natural			1.784,04
Base imposable			1.784,04
IVA 18%			321,13

Informació lectures / consum			
Lectura actual:	real	06.08.10	252.539 m ³
Lectura anterior:	real	08.07.10	248.661 m ³
Consum m ³ :			3.878 m ³
Conversió: 1 m ³ = 11,591 kWh			
Consum kWh:	3.878 m ³ x 11,591		44.950 kWh

Figura 0.2. Exemple de factura de gas natural i localització del terme d'energia.

Escollir una de les opcions següents:

- **A)** Si es tenen les unitats en kWh PCS (tal com apareix a la factura), multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna.

Mètode A: unitats en kWh PCS a la factura			
Total anual	kWh PCS	Multiplica	kWh PCI
Gas natural Total (EF2)		x 0,902	

- **B)** Si es tenen les unitats en Nm³, multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna.

Mètode B: unitats en Nm ³ a la factura			
Total anual	Nm ³	Multiplica	kWh PCI
Gas natural Total (EF2)		x 11	

- **Gasoil**

La dada necessària de la factura és el volum de gasoil consumit (dm³ o litre). Multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat

Total anual	dm ³ /l	Multiplica	kWh PCI
Gas natural Total (EF3)		x 10	

- **Propà**

Escollir una de les opcions següents:

- **A)** Si es tenen les unitats en kg, multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna..

Mètode A: unitats en kg a la factura			
Total anual	kg	Multiplica	kWh PCI
Propà Total (EF4)		x 13	

- **B)** Si es tenen les unitats en m³, multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna.

Mètode B: unitats en m ³ a la factura			
Total anual	m ³	Multiplica	kWh PCI
Propà Total (EF4)		x 30	

- **Cogeneració (CHP)**

Escollir una de les opcions següents:

- **A)** Si es té la calor útil generada pel cogenerador (normalment aigua calenta), en kWh, multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna.

Mètode A: unitats en kWh de calor generat			
Total anual	kWh útil	Multiplica	kWh PCI
CHP Total (EF5)		x 2,5	

- **B)** Si es té el gas natural consumit pel cogenerador en kWh PCS, multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna.

Mètode B: unitats en kWh a la factura			
Total anual	kWh PCS	Multiplica	kWh PCI
CHP Total (EF5)		x 0,902	

- **C)** Si es té el gas natural consumit pel cogenerador en Nm³, multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna.

Mètode C: unitats en m ³ a la factura			
Total anual	Nm ³	Multiplica	kWh PCI
CHP Total (EF5)		x 11	

0.2.3 Càlcul del consum d'energia primària

Finalment, la seqüència de càlcul a seguir per tal d'obtenir l'energia primària del seu centre és la següent:

- Omplir la primera columna de la Taula 0.4 i la Taula 0.5 amb les cel·les calculades a l'apartat anterior. El color de les cel·les correspon a les respectives cel·les de l'apartat anterior.
- Multiplicar cadascun dels valors pel valor de la segona columna i omplir la tercera columna.
- Sumar cadascun dels termes d'energia primària.

En cas de no tenir alguna de les fonts energètiques especificades, deixar en blanc la casella corresponent.

Finalment, a partir de les dades calculades a les cel·les "EP Electricitat" (Taula 0.4) i "EP Tèrmica" (Taula 0.5), es calcula l'energia primària total.

Les dades que s'utilitzaran en l'autoavaluació del capítol següent són "EP Electricitat", "EP Tèrmica" i "EP Total".

Font energètica	Energia final (kWh)	Multiplica	Energia primària (kWh)
Electricitat total (EF1)		x 2,28	EP Electricitat:

Taula 0.4. Conversió d'energia final a energia primària per a energia elèctrica.

Font energètica	Energia final (kWh)	Multiplica	Energia primària (kWh)
Gas natural total (EF2)		x 1,07	
Gasoil total (EF3)		x 1,12	
Propà total (EF4)		x 1,05	
CHP total (EF5)		x 0,386	
Cal sumar tota la columna d'energia primària (EP tèrmica= EF2*1,07 + EF3*1,12 + EF4*1,05 + EF5*0,402)			EP Tèrmica:

Taula 0.5. Conversió d'energia final a energia primària per a energia tèrmica.

Taula 0.6. Càlcul de l'energia primària total.

Taula 0.7. Paràmetres necessaris per a autoavaluació segons tipus d'instal·lació.

	Energia primària (kWh)
EP Electricitat	
EP Tèrmica	
Cal sumar tota la columna d'energia primària (EP Total= EP Electricitat + EP Tèrmica)	EP Total:

0.2.4. Indicadors per a autoavaluació

	Instal·lacions AMB piscina climatitzada	Instal·lacions SENSE piscina climatitzada
Indicador energètic	EP Total (energia primària total)	EP Total (energia primària total)
	EP Electricitat (energia primària electricitat)	
	EP Tèrmic (energia primària tèrmica)	
Paràmetre característic de superfície	Superfície de làmina d'aigua de piscina climatitzada, independentment del seu ús (professional, lúdic, spa...).	Superfície d'espai esportiu de pistes i sales interiors i exteriors, excepte dels recintes de piscina.

0.3. Punt de partida: què s'està fent bé i en què es pot millorar

En aquest capítol es presenten unes gràfiques per a autoavaluació energètica segons el tipus d'instal·lació:

- “AMB piscina climatitzada”.
- “SENSE piscina climatitzada”.

Les gràfiques permeten comparar els ratis de la instal·lació avaluada amb els resultats obtinguts per centres similars (benchmark), i el consum típic d'una instal·lació tipus.

Per treballar amb aquests gràfics, es distingeixen unes zones en el gràfic que indiquen el grau d'eficiència energètica de la instal·lació, segons el codi de colors següent:

- Zona 3: Instal·lació eficient, amb potencial de millora baix.
- Zona 2: Instal·lació amb potencial de millora energètica
- Zona 1: Instal·lació que necessita urgentment l'aplicació de mesures d'eficiència energètica

A part de les zones definides anteriorment, hi ha dues zones on el diagnòstic és més complex:

A part de les zones definides anteriorment, hi ha dues zones on el diagnòstic és més complex:

- **Zona 5:** no es pot concloure si la instal·lació és o no és eficient. Això es deu a la gran quantitat de factors que intervenen en el comportament energètic d'aquest tipus d'instal·lacions esportives, especialment en instal·lacions amb superfícies de làmina d'aigua fins 1.000 – 1.500 m². En aquests casos seria necessari un diagnòstic energètic o auditoria energètica en detall (veure l'apartat “4.2. Nivells de seguiment energètic possibles en una instal·lació esportiva”)

- **Zona 4:** Si una instal·lació cau en aquesta zona, és molt probable que s'hagi comès algun error en el càlcul de la superfície de làmina d'aigua calefactada i/o d'energia primària.

En el capítol 4 es proporciona indicacions sobre els punts de consum on enfocar-se a l'hora d'empendre actuacions de millora energètica segons el tipus d'instal·lació. A més, s'afina en la interpretació dels gràfics, especialment en la combinació dels dos gràfics per a les instal·lacions del tipus “AMB piscina climatitzada”.

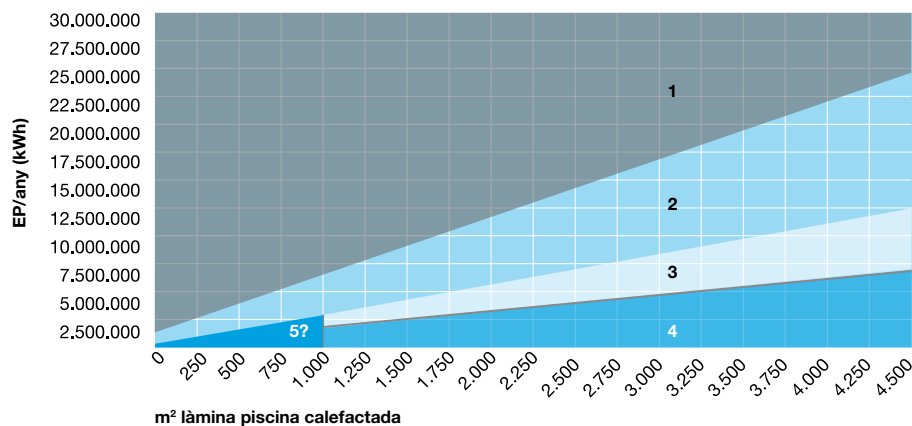
En el capítol 5 es mostra una taula amb possibles mesures de millora energètica, tot indicant el tipus de font energètica i punt de consum amb el que es relaciona la mesura, segons els punts definits al capítol 4.

Les gràfiques d'auto avaluació han estat confeccionades a partir de dades reals mitjançant un qüestionari confeccionat per a aquest propòsit i enviat a instal·lacions esportives arreu de Catalunya.

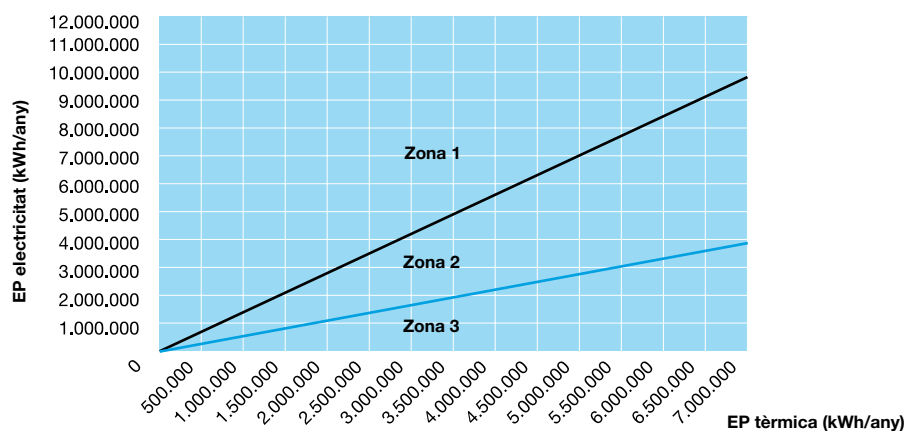
Després de revisar els qüestionaris rebuts i de treure els no representatius, la mostra és de 29 instal·lacions per al grup “amb piscina” i de 7 per al grup “sense piscina”.

En la seva majoria es tracten d'instal·lacions que pertanyen a un clima d'hivern tipus “C” (equivalent al municipi de Barcelona) segons la classificació del Codi Tècnic de l'Edificació, havent-hi alguna instal·lació de tipus “D” (equivalent al municipi de Lleida). És a dir, independentment de la ubicació geogràfica del seu recinte l'auto avaluació li donarà una avaluació del seu centre esportiu com si aquest es trobés dins de la zona climàtica “C”. En conseqüència si la seva instal·lació es troba dins d'una zona climàtica que no sigui la “C”, consideri com indicativa la classificació del consum energètic de la seva instal·lació.

0.3.1. Autoavaluació d'instal·lacions "AMB piscina climatitzada"

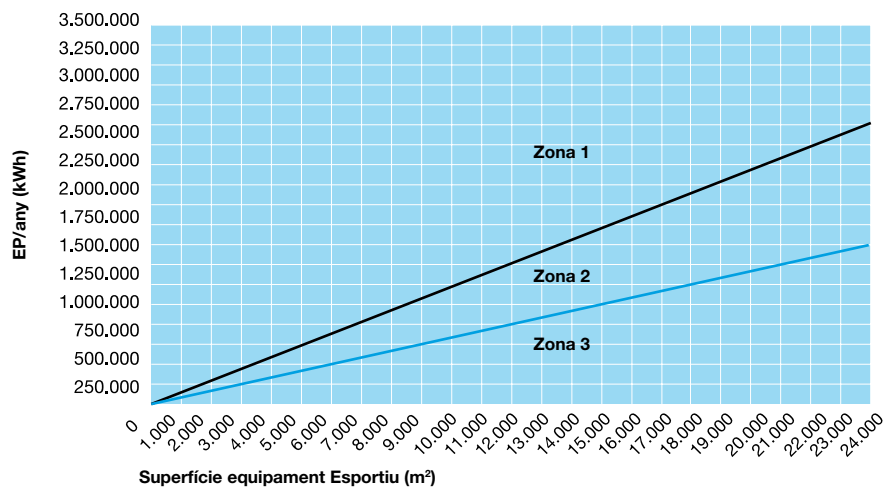


1. Necessitat urgent de millorar l'eficiència energètica
2. S'ha de millorar l'eficiència energètica
3. Instal·lació eficient



- Zona 1. Necessitat urgent de millorar l'eficiència energètica
- Zona 2. S'ha de millorar l'eficiència energètica
- Zona 3. Instal·lació eficient

0.3.2. Autoavaluació d'instal·lacions "SENSE piscina climatitzada"



- Zona 1. S'ha de millorar l'eficiència energètica
- Zona 2. S'ha de millorar l'eficiència energètica
- Zona 3. S'ha de valorar el cas concret per saber si és eficient o si necessita millorar

0.3.3. Exemple de com fer l'autoavaluació d'una instal·lació

Dades de partida

Es té un centre amb les instal·lacions de piscina climatitzada següents:

- Piscina 1: 25 m x 12 m.
- Piscina 2: 25 m x 8 m.
- Piscina 3: 50 m x 23 m.

Els consums energètics d'un any sencer i representatiu d'aquesta instal·lació són:

- 1.100.000 kWh d'electricitat.
- 4.700.000 kWh de gas natural (sumat directament de les factures).

Càlcul de la superfície de làmina d'aigua climatitzada

Això significa que les superfícies de làmina d'aigua climatitzada són:

- Piscina 1: $25 \times 12 = 300 \text{ m}^2$
- Piscina 2: $25 \times 8 = 200 \text{ m}^2$
- Piscina 3: $50 \times 23 = 1.150 \text{ m}^2$
- Superfície total de làmina d'aigua climatitzada: $300 + 200 + 1.150 = \mathbf{1.650 \text{ m}^2}$

Càlcul de l'energia primària

• Consum elèctric

Escollir una de les opcions següents:

- Sumar l'energia elèctrica consumida durant un any i escriure el total en aquesta taula.

• Gas natural

Escollir una de les opcions següents:

Total anual	kWh
Electricitat Total (EF1)	1.100.000

- **A)** Si es tenen les unitats en kWh PCS (tal com apareix a la factura), multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna.

Mètode A: unitats en kWh PCS a la factura			
Total anual	kWh PCS	Multiplica	kWh PCI
Gas natural (EF2)	4.700.000	x 0,902	4.239.400

- **B)** Si es tenen les unitats en Nm³, multiplicar pel factor de la segona columna i escriure el resultat a la tercera columna.

Mètode B: unitats en k Nm ³ a la factura			
Total anual	Nm ³	Multiplica	kWh PCI
Gas natural (EF2)		x 11	

Font energètica	Energia final (kWh)	Multiplica	Energia primària (kWh)
Electricitat total (EF1)		x 2,28	EP Electricitat: 2.508.000

Font energètica	Energia final (kWh)	Multiplica	Energia primària (kWh)
Gas natural total (EF2)	4.239.400	x 1,07	4.536.158
Gasoil total (EF3)		x 1,12	
Propà total (EF4)		x 1,05	
Cal sumar tota la columna d'energia primària (EP tèrmica= EF2*1,07 + EF3*1,12 + EF4*1,05)			EP Tèrmica: 4.536.158

Taula 0.8. . Conversió d'energia final a energia primària per a energia elèctrica.

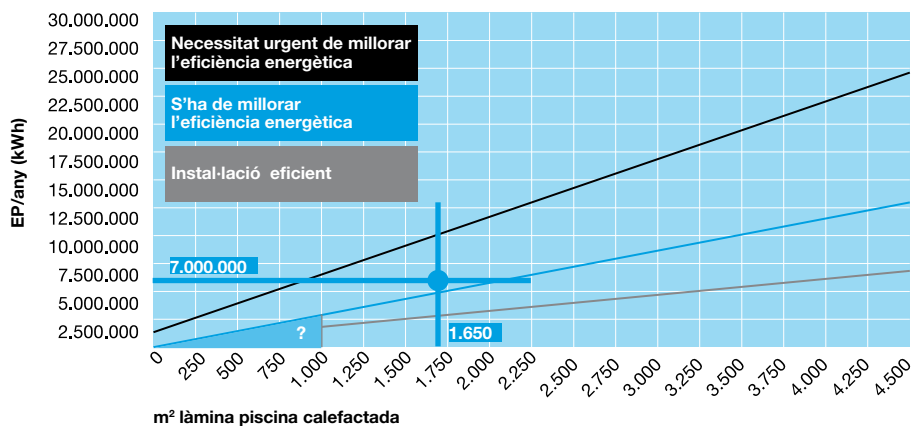
Taula 0.9. . Conversió d'energia final a energia primària per a energia tèrmica.

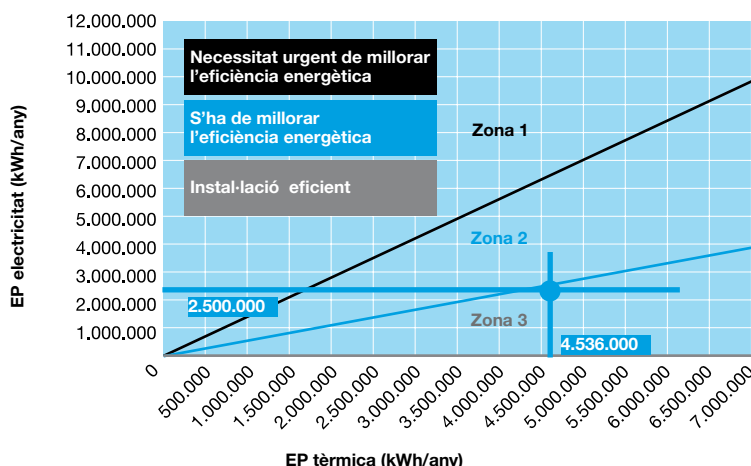
Taula 0.10. . Càlcul de l'energia primària total.

	Energia primària (kWh)
EP Electricitat	2.508.000
EP Tèrmica	4.536.158
Cal sumar tota la columna d'energia primària (EP Total= EP Electricitat + EP Tèrmica)	EP Total: 7.044.158

Taula 0.11. . Paràmetres necessaris per a autoavaluació per a instal·lació amb piscina climatitzada.

Instal·lacions AMB piscina climatitzada		
Indicador energètic	EP Total (energia primària total)	7.044.158
	EP Electricitat (energia primària electricitat)	2.508.000
	EP Tèrmic (energia primària tèrmica)	4.536.158
Paràmetre característic de superfície	Superfície de làmina d'aigua de piscina climatitzada, independentment del seu ús (professional, lúdic, spa...).	1.650 m²





0.4. Pla de millora energètica: prioritats i passos a seguir

Prioritats: A partir dels indicis identificats en el capítol anterior i del coneixement dels consums típics del primer capítol, es proporciona una llista de les propostes d'actuacions de millora i el capítol de la guia que desenvolupa cadascuna d'aquestes mesures.

Passos a seguir: Al llarg de la segona part d'aquest capítol es mostren també quins són els diferents nivells de seguiment energètic que es poden dur a terme en una instal·lació esportiva, des d'un nivell més bàsic de seguiment de factures d'energia, fins al nivell més complet d'implantar un Sistema de Gestió Energètica (SGE).

0.4.1. Identificació d'actuacions potencials de millora energètica segons resultat d'autoavaluació i segons tipus d'instal·lació

Les figures que representen l'energia primària total i la superfície esportiva característica, aporten una visió qualitativa de la prioritat d'emprendre accions per a millorar el comportament energètic de la instal·lació. A la Taula 0.12 s'indiquen els principals punts de consums segons tipus d'instal·lació, així com el tipus de consum d'energia (elèctrica o tèrmica), i el capítol de la guia on es parla de la tecnologia relacionada amb aquests punts de consum. La prioritització segons resultat de l'autoavaluació, es presenta als apartats que vénen a continuació.

0.4.1.1. Instal·lacions AMB piscina climatitzada

A la Taula 0.13 es mostren els punts de consum principal ordenats per prioritat d'actuació de l'1 al 5 (1: Màxima prioritat i 5: Mínima prioritat), segons el resultat obtingut al segon gràfic, on es compara el consum d'energia primària (EP) d'electricitat amb l'energia primària tèrmica ("AMB piscina climatitzada – EP elec / EP term").

0.4.1.2. Instal·lacions SENSE piscina climatitzada

Per al cas de les instal·lacions sense piscina climatitzada, no es presenta el gràfic de comparació de consum entre energia primària d'electricitat i tèrmica ja que, en aquest cas, la variabilitat d'aquesta ràtio no té perquè significar un mal funcionament d'un dels dos tipus en el consum d'una font o altra.

(*) L'ACS i l'escalfament d'aigua dels vasos de les piscines, majoritàriament es realitza mitjançant combustible (gas natural, propà...), però és possible fer-ho mitjançant bomba de calor, la qual consumeix electricitat.

La prioritat d'actuació de millores energètiques sobre els consums principals en instal·lacions sense piscina climatitzada es mostra a la Taula 0.14.

Segons el cas concret d'instal·lació, és possible que tinguin altres punts de consum rellevants, principalment elèctrics, especialment l'aire condicionat que, en cas d'estar implantat, s'hauria de considerar.

Tipus de centre	Priorització de consums	Font energètica		Capítol de la guia on es descriu el ventall de tecnologies per a ser més eficient en aquest consum
		Electricitat	Tèrmica (combustible)	
AMB piscina climatitzada	Deshumectació	x		4.1.2.3; 4.6; 4.13; 6.4.2.1; 6.5
	Escalfament aigua vas de piscina	(*)	x	4.1; 4.13; 6.1.1.1; 6.3.1; 6.4.1; 6.5; 7.3; 7.4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.12
	Enllumenat	x		3.5; 3.9; 4.8; 4.13; 5.1.3; 5.3.3; 5.4.4; 5.5 6.1.3; 6.4.3; 6.5; 7.1.3; 7.4.2; 7.5
	ACS	(*)	x	4.1; 4.7; 4.13; 5.3.2; 5.4.3; 5.5; 6.5; 7.5; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.12
	Calefacció	x	x	3.6; 3.7; 4.1; 4.6; 4.13; 5.1.1; 5.1.2; 5.3.1; 5.4.1; 5.4.2; 5.5; 6.1.1.2; 6.1.2; 6.3.2; 6.4.2; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.12
SENSE piscina climatitzada	Enllumenat	x		3.5; 3.9; 4.8; 4.13; 5.1.3; 5.3.3; 5.4.4; 5.5; 7.1.3; 7.4.2; 7.5
	ACS	(*)	x	4.1; 4.7; 4.13; 5.3.2; 5.4.3; 5.5; 7.5; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.12
	Calefacció	x	x	3.6; 3.7; 4.1; 4.6; 4.13; 5.1.1; 5.1.2; 5.3.1; 5.4.1; 5.4.2; 5.5; 7.1.1; 7.1.2; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.12

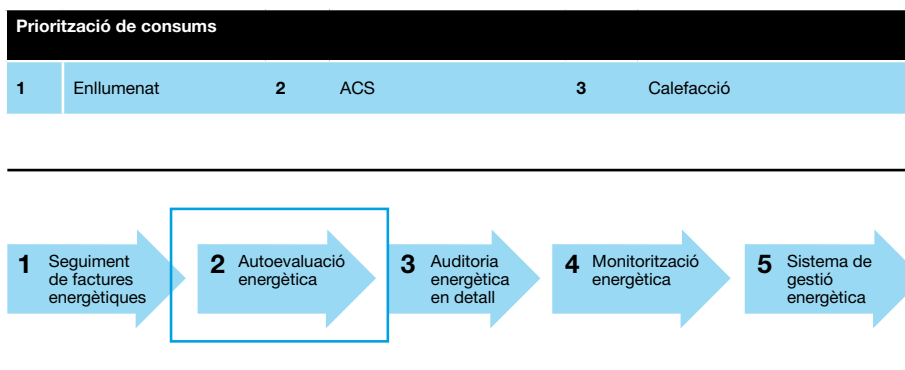
Taula 0.12 Priorització de consums

Taula 0.13 Priorització d'actuacions de millora energètica per a instal·lacions AMB piscina climatitzada

Resultat de la figura "amb piscina climatitzada – EP elec / EP term"	Priorització de consums	
Zona 1: S'ha de millorar l'eficiència d'energia elèctrica	1	Deshumectació
	2	Enllumenat
	3	Calefacció
	4	Escalfament aigua vas de piscina
	5	ACS
Zona 2: Importància similar de l'energia elèctrica i tèrmica	1	Deshumectació
	2	Escalfament aigua vas de piscina
	3	Enllumenat
	4	ACS
	5	Calefacció
Zona 3: S'ha de millorar l'eficiència d'energia tèrmica	1	Escalfament aigua vas de piscina
	2	ACS
	3	Calefacció
	4	Deshumectació
	5	Enllumenat

Taula 0.14. Priorització d'actuacions de millora energètica per a instal·lacions SENSE piscina climatitzada.

Figura 0.3 Nivells de seguiment energètic.



0.4.2 Nivells possibles de seguiment energètic en una instal·lació esportiva

El consum energètic és una part significativa de l'estructura de costos en instal·lacions esportives en general, i molt especialment en les instal·lacions amb piscines climatitzades.

Per aquest motiu, és determinant plantejar una seqüència de treball per tal d'incorporar un sistema de seguiment energètic. A la Figura 0.3 es mostren, a mode d'indicació, diferents nivells de seguiment energètic, ordenats del nivell més bàsic fins al més complet i es mostra amb quina etapa es correspon aquesta autoavaluació.

Seguiment de factures energètiques. És el seguiment periòdic i continuat d'un registre de les factures dels subministraments energètics, tant del consum econòmic total i dels diferents termes facturats (energia reactiva, potència, excés de potència, consum d'energia...) com dels seus valors: potència en kW, energia reactiva en kVarh, l'energia en kWh, m³ o kg de combustible, etc.

L'autoavaluació energètica. És important que els responsables de les instal·lacions siguin conscients del pes del consum energètic en l'explotació de les seves instal·lacions, i també és molt important que tinguin una referència amb la qual comparar-se i identificar potencials punts de millora.

Un dels objectius principals de la guia d'autoavaluació és aportar eines de referència per tal de poder realitzar aquesta decisió.

Auditoria energètica en detall. És a dir; realitzar una "radiografia energètica" de la instal·lació esportiva, estudiant en profunditat la instal·lació particular, els seus consums, la facturació, les instal·lacions, les característiques dels equipaments, etc., identificant els punts de millora i presentant una avaluació tècnica i econòmica de mesures energètiques. Pot incloure algun tipus de mesura puntual (anàlitzador de combustió, de xarxes elèctriques, cabals, termografia, etc.).

Aquesta ha de ser realitzada per una persona o empresa especialitzada en eficiència energètica i amb gran coneixement de les instal·lacions esportives. Aquesta guia obre un ventall de solucions a aplicar a cada instal·lació, però no realitza una anàlisi detallada de la viabilitat de la implantació d'aquestes solucions a cada centre esportiu.

Monitorització energètica. És d'especial importància per a centres amb consums importants d'energia, instal·lacions complexes, que hagin sofert ampliacions i modificacions significatives, etc. En una auditoria energètica no es pot arribar a una

assignació de consums 100% reals ja que és un estudi fonamentat en la facturació energètica, estudi de les instal·lacions i el coneixement del comportament energètic de les instal·lacions esportives. L'única manera d'arribar a una assignació 100% real és mitjançant una monitorització energètica (comptadors, dataloggers i programari de gestió).

A les instal·lacions amb potencials actuacions de millora energètica que requereixen una inversió considerable, també seria molt positiu disposar de la monitorització energètica, per tal de poder realitzar l'avaluació tècnica i econòmica més acuradament, a més de poder analitzar els resultats d'implantació de l'actuació.

En aquesta etapa, la principal aportació del guia d'eficiència energètica a les instal·lacions esportives, és la descripció dels paràmetres principals que regeixen el comportament de les principals tecnologies implantades en la transformació d'energia en centres esportius (instal·lacions de clima, il·luminació, ventilació...). D'aquesta manera, es possibilita la selecció de variables a monitoritzar per tal de poder percebre el comportament de la instal·lació.

La implantació d'un Sistema de Gestió Energètica. Aquesta fa ús de la monitorització energètica i de l'auditoria energètica, però va més enllà. Es tracta d'un sistema procedimentat, amb personal i pressupost assignat, amb un pla i objectius energètics concrets. És un sistema de seguiment i millora continua, implantant mesures d'eficiència energètica que requereixen inversió, experimentant amb mesures basades en canvis de comportament, etc.

En cas de voler-ho certificar, ja s'ha publicat la norma internacional ISO 50.001 que engloba la EN 16.001 més antiga.

En aquest nivell, la informació tècnica de la Guia permet, d'una banda, aportar idees en la definició d'objectius de reducció i, d'altra banda, minimitzar un sistema d'indicadors que poden permetre realitzar el seguiment del pla, comparant la millora de l'eficiència energètica del centre esportiu al llarg del temps.

Externalització de serveis energètics (ESE)

Encara que al diagrama anterior no hi apareix com a nivell de seguiment energètic, s'ha cregut convenient parlar de l'existència de les Empreses de Serveis Energètics (ESE).

Sovint, el manteniment de les instal·lacions està externalitzat a una empresa instal·ladora o mantenidora. De la mateixa manera, les empreses de serveis energètics s'encarreguen de l'explotació i manteniment de les instal·lacions energètiques, però amb una gran diferència: les ESE normalment s'encarreguen de la inversió i implantació de les mesures de millora energètica, ja que el seu benefici depèn de la reducció de la factura energètica del centre. Al capítol 8 del guia d'eficiència energètica a les instal·lacions esportives es tracta aquest tema amb més profunditat.

0.5. Com es pot maximitzar el retorn de la inversió en estalvi energètic: Quins són els capítols de la guia que seran clau per aconseguir-ho?

0.5.1. Mesures per a consumir l'energia de manera més eficient

Mesura / Descripció ¹	Tipus de consum que redueix	Capítol guia	Inversió	PRI (període de retorn de la inversió)	PRI (període de retorn de la inversió)
Seguiment facturació: Negociació preu -potència contractada – consumida – energia reactiva		1.4	Depèn de l'acció necessària, podent ser de 0 €		0 – 2 anys
Instal·lació de sistemes de comptabilització de consums	Energia tèrmica Energia elèctrica	4.13		5% (20% si s'implanta un Sistema de Gestió Energètica amb accions)	3-5 anys*
Control del set-point climatització: (estances generals): <21°C en calefacció i >26°C en refrigeració Espai esportiu: 12-18°C a l'hivern Vestuaris: 20-22°C Vas piscina: 25-26 Recinte piscina: 26-28	Energia tèrmica i Energia elèctrica	2.2 5.1.1 5.4.2 6.1.1. 7.1.1	0	Espai interior: la disminució d'1°C comporta un estalvi del 7-8% Piscina interior: l'evaporació augmenta en un 15 % per un pas de la temperatura de l'aigua de 27°C a 28°C Piscina exterior: l'augment de 2°C comporta un augment d'un 70 % del consum d'energia.	0 anys
Instal·lació de caldera de baixa temperatura	Energia tèrmica	4.1.1.	50-60 €/kW instal·lat	4%	2 – 4 anys
Caldera de condensació	Energia tèrmica	4.1.1.	60-85 €/kW instal·lat	10% respecte caldera convencional 8% respecte caldera de baixa temperatura	2 – 4 anys
Caldera de biomassa sòlida	Energia tèrmica	4.1.1.2 4.4	250 – 500 €/kW instal·lat per a una potència de fins 500 kW 150 – 250 €/kW per una potència fins 1 MW	Estalvi d'energia primària de quasi el 100%	6-9 anys
Energia solar tèrmica per a ACS i escalfament del vas de piscina	Energia tèrmica	4.3 5.3.2 6.3.1.2 6.5.2 7.5.1	1.400 €/m² captador instal·lat	30-70% (100% escalfament piscina exterior)	
Energia solar fotovoltaica	Energia elèctrica	4.11	4 – 4,5 €/kWp	100%	12 anys
Cogeneració i microcogeneració	S'aplica a energia tèrmica, però s'estalvia en energia elèctrica	4.2	1.000 i 1.600 €/kWe instal·lat	Estalvi d'energia primària del 30%	4 - 6 anys
Bomba de calor geotèrmica	Energia elèctrica	4.5	Sistema de bescanvi geotèrmic vertical 800 – 1000 €/kW instal·lat.	30%-50%	10 anys (vida útil 30-50 anys)

Les caselles que porten un asterisc depenen molt de la definició del projecte i del cas particular d'aplicació, per la qual cosa caldria fer una avaluació concreta de la instal·lació.

Mesura / Descripció¹	Tipus de consum que redueix	Capítol guia	Inversió	PRI (període de retorn de la inversió)	PRI (període de retorn de la inversió)
Fred activat tèrmicament (FAT): refrigeració per absorció * Refrigeració solar: solar tèrmica més unitat d'absorció * Trigeneració: Cogeneració més unitat d'absorció	Energia elèctrica	4.12	Unitat absorció: 500 i 1.400 €/kWfred Unitat absorció + plaques solars: 3.000 – 4.500 €/kWfred	95%	
Variació del cabal d'aire exterior mínim de ventilació en funció del nombre de persones presents. Per exemple, mitjançant sonda CO ₂	Energia tèrmica (i E. Elèctrica)	2.3 4.6.1 5.3.1.3 5.4.1	1.500 €/unitat de control més afegir al sistema de control	30-55%	Mesos a 3 anys
Instal·lació d'UTA amb recuperadors de calor al sistema de tractament d'aire	Energia tèrmica Energia elèctrica	4.6.3	UTA amb recuperador: 15.000 plaques, i 21.000 rotatiu per a 15.000 m³/h	Recuperador de plaques 50-60% Recuperador rotatiu 70-80%	
Instal·lació d'UTA amb recuperadors de calor i free-cooling	Energia tèrmica Energia elèctrica	5.3.4.1	UTA amb recuperador plaques i free-cooling: 16.000 UTA amb recuperador rotatiu i free-cooling: 23.000		
Ús de làmpades eficients com els halogenurs metàl·lics i la tecnologia LED	Energia elèctrica	4.8.1 5.3.3	Depèn del tipus de làmpada	50%-80%	1 a 4 anys
Ús de balasts electrònics per a fluorescents, de descàrrega (halogenurs, vapor de sodi) i halògens de baixa tensió (12V)	Energia elèctrica	4.8.3 5.3.3.1	25 €/balast per a fluorescent 2x58W	15-25%	1-2 anys
Control de la il·luminació: * control horari i per dates * regulació en funció de la llum natural (cèl·lula fotoelèctrica i balast electrònic amb regulació) * Detecció de moviment i de presència * Temporitzadors * Zonificació	Energia elèctrica	4.8.4 5.4.4 6.4.3 7.4.2	* Control horari: sistema de gestió * balast electrònic amb regulació: 70€ per a fluorescent 2x58W Detector de presència: 60 € Cèl·lula fotoelèctrica: 150€	50-75%	1 a 4 anys

Mesura / Descripció¹	Tipus de consum que redueix	Capítol guia	Inversió	PRI (període de retorn de la inversió)	PRI (període de retorn de la inversió)
Manteniment: neteja de les lluminàries, substitució de làmpades i revisió	Energia elèctrica	4.8.5.	*	25-50%	Menys de 3 anys
Variadors de freqüència en motors de bombament d'aigua, ventilació o compressió	Energia elèctrica	4.10.	500 €/kW per a variadors de 1,5 a 5 kW i d'uns 200 €/kW per a variadors de potència major a 5 kW	Fins 70%	2 anys
Manta tèrmica a les piscines	Energia tèrmica (Energia elèctrica en l'estalvi de deshumectació)	6.3.1 6.4.1.2 6.5.1 7.4.1.1	70 €/m² làmina d'aigua (manta + sistema de recollida)	25-50%	2-3 anys
Limitadors de cabal i airejadors en dutxes i rentamans	Aigua (energia elèctrica i tèrmica)	4.7.2.3	N.D.	50%	1 any
ESE: Empreses de Serveis Energètics	Energia tèrmica Energia elèctrica*	8	0	*	0 anys

0.5.2. Mesures aplicades al disseny per a reduir la demanda energètica

Mesura / Descripció¹	Capítol Guia
Correcta orientació de l'edifici: l'orientació ideal és la que ofereix l'eix principal d'est a oest	3.5.1
Factor de forma petita (grau de compacitat gran) però en equilibri entre les accions tèrmiques, estètiques i d'il·luminació natural: • Construir edificis de base allargada d'est a oest (general). • Clima fred: edifici compacte i cúbic. • Clima temperat: forma allargada en direcció EO, amb plantes en forma de U, T, H, X... • Clima càlid i sec: edifici tancat cap a l'exterior i obert a l'interior amb patis ombrejats i humits. • Clima càlid i humit: grans obertures al nord, protegides del sol durant l'estiu.	3.5.2
Escollir el color adequat per a l'edifici en funció del clima de l'emplaçament: • Zones càlides: colors naturals clars. • Zones fredes, humides i amb poca insolació: colors foscos. Per a bona il·luminació interior, paviment, coberta i paramenta lateral amb colors clars i mats.	3.5.3
Aprofitament de l'energia solar mitjançant sistemes de captació solar passius: • Sistemes de guany directe. • Sistemes de guany separat (tipus hivernacle).	3.5.4
Disseny de l'edifici per a un aprofitament màxim de la ventilació natural i induïda.	3.5.5

Mesura / Descripció ¹	Capítol Guia
Dimensionament adequat del gruix dels murs de l'edifici: • Elevada inèrcia tèrmica en instal·lacions d'ús regular. • Aïllament del mur col·locat per la part exterior. • Possibilitat de semi-soterrar part de la instal·lació esportiva.	3.5.6
Aïllament als tancaments i obertures.	3.7 5.5
Aïllament situat a l'exterior dels tancaments opacs per a evitar els ponts tèrmics.	3.5.3
Aïllament perimetral vertical exterior a les soleres.	3.5.4
Orientació de les obertures de forma que rebin la màxima quantitat de radiació solar a l'hivern i mínima a l'estiu. És preferible que les obertures es trobin al sud i que estiguin protegides. D'altra banda, cal que les que se situïn, tinguin un major grau d'aïllament.	3.5.5
Minimitzar les infiltracions mitjançant els tancaments: ús de materials per a obertures amb coeficient baix de transmissió, major gruix de material aïllant i ús de cambra d'aire.	3.7.2.1
Control solar: voladís, brisoleis, vidres amb baix factor solar.	3.7.2.3.2
Disseny que minimitzi les infiltracions paràsites d'aire.	3.7.2.3.1
Disseny de l'edifici que minimitzi la formació de condensacions.	3.8
Disseny de l'edifici per a un aprofitament màxim de la llum natural.	3.9
Altres: disseny arquitectònic en general.	5.2 6.2 7.2
Tipus de cobertors mòbils en piscines.	6.2.1
Piscina exterior: superfícies del vas de color fosc.	7.2



1. Introducció i definicions bàsiques

1.1. Introducció

L'esport a Catalunya, tant en l'àmbit amateur com en el professional, gaudeix d'una reconeguda tradició històrica en moltes disciplines esportives. Actualment, i segons dades del Cens d'Equipaments Esportius de Catalunya, hi ha 13.271 instal·lacions esportives que apleguen un total de 34.956 espais esportius i 22.925 espais complementaris, el 53% dels quals són de titularitat pública. Tot i aquestes xifres, les previsions del Pla director d'instal·lacions i equipaments esportius de Catalunya (PIEC) estableixen que, a fi de complementar la Xarxa Bàsica, resten per construir més de cinc-centes instal·lacions més: pistes d'atletisme, piscines cobertes, pavellons, sales esportives, camps poliesportius i pistes poliesportives.

Es disposa, en conseqüència, d'un conjunt actual d'edificis amb un pes específic prou significatiu, on es pot optimitzar el consum energètic en l'explotació diària o en les rehabilitacions que s'ha previst fer. Hi ha, a més, un potencial de futurs equipaments esportius, en el disseny dels quals s'haurien ja de plantejar com a prioritaris aspectes de minimització del consum energètic i de l'impacte ambiental. Aquesta publicació ofereix criteris en aquesta línia, donant elements per integrar-se en un objectiu més ampli i ambiciós basat a tendir cap al desenvolupament sostenible.

És en aquest marc general on arquitectura i enginyeria han de treballar conjuntament en una nova visió que integri aspectes de minimització de l'impacte ambiental i del consum energètic de manera global en totes les fases de la vida d'un edifici: projecte, construcció, ús i desconstrucció.

Convé remarcar que, en el període d'explotació de l'edifici, és de gran importància planificar adequadament els recursos humans i financers de manteniment, per instaurar un sistema de manteniment preventiu i predictiu i, així, augmentar la vida de l'edifici i les instal·lacions i disminuir el consum energètic.

A més, la instal·lació de comptadors energètics i d'aigua, així com de sistemes de control d'accessos, permet obtenir un coneixement acurat del funcionament de les instal·lacions, els consums energètics i, consegüentment, dels costos associats.

Fig. 1.1.
Pavelló municipal
de Banyoles.



1.2. Unitats energètiques

A totes les branques de la tècnica és obligat internacionalment l'ús de les unitats del Sistema Internacional (SI). Malgrat això, la tradició en el camp de les aplicacions de l'energia tèrmica és la d'emprar unitats derivades de la calor (cal).

El sistema SI està basat, pel que fa a les unitats energètiques, en les unitats fonamentals següents:

Magnituds fonamentals Unitat

Longitud	Metre (m)
Massa	Quilogram (kg)
Temps	Segon (s)
Temperatura	Grau (K)

Tota la resta d'unitats derivades es defineixen en funció d'aquestes. La unitat de força és el newton (N), que és igual a $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$. La unitat d'energia és el joule (J), que és el treball realitzat per la força d'un newton quan desplaça el seu punt d'aplicació un metre en la mateixa direcció: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$. La unitat de mesurament del treball i de la calor, que són formes d'energia, és el joule.

La unitat de flux de calor que mesura la quantitat de calor transportada per unitat de temps, té unitats de potència, de manera que, en el sistema, sí que es fa servir el watt (W), que és: $1 \text{ watt (W)} = 1 \text{ joule per segon (J/s)} = 1 \text{ N} \cdot \text{m/s}$.

Magnituds fonamentals Unitat

Força	Newton (N) = $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
Energia	Joule (J) = $\text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$
Potència	Watt (W) = $\text{J/s} = \text{N} \cdot \text{m/s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$

A la pràctica, s'empra el quilowatt hora (kWh), unitat d'energia que equival a 3.600 kJ. La potència en aquest sistema tradicional té unitats d'energia tèrmica o calor transportada per hora (kcal/h).

Les relacions bàsiques que permeten passar de la unitat d'energia i flux de calor en el sistema SI (Sistema Internacional) a la unitat tradicional, són:

Energia

Unitat	Equivalència
Joule (J)	0,239 cal
Caloria (cal)	4,184 J
Quilowatt hora (kWh)	3.600 KJ
Tèrmia (th)	1.000 Kcal
Frigoria (fg)	1 Kcal

Potència

Unitat	Equivalència
Watt (W)	0,868 kcal/h
Quilocaloria/hora (kcal/h)	1,163 W

Font energètica	Factor d'energia primària
Electricitat	2,28
Gas natural	1,07
Butà	1,05
Propà	1,05
Gasoil	1,12

Taula 1.1. Factors de conversió per a electricitat.. Font: IDAE; dades de l'any 2009. Publicat el novembre de 2010.

L'energia final (EF); electricitat i consums de combustibles tipus (gas natural, gasoil, biomassa, energia solar tèrmica, etc.), no es pot sumar directament. Per a poder tenir una idea de la intensitat energètica total, és necessari convertir aquestes energies finals en energies primàries (EP) mitjançant uns factors oficials, publicats per l'IDAE (Taula 1.1) (Institut per a la Diversificació i l'Estalvi d'Energia).

1.3 Consum energètic a les instal·lacions esportives

Des del punt de vista individual cal comentar que les instal·lacions esportives, per les característiques d'ús que les defineixen, són un consumidor d'energia important. Els motius són principalment el gran consum d'aigua calenta sanitària, els grans volums d'aire que s'ha de condicionar, els estrictes requeriments higiènics i les ocupacions puntuals elevades.

Per a una determinada tipologia d'instal·lació esportiva, tipificar el percentatge de consum d'energia segons el servei ofert (calefacció, aigua calenta sanitària, enllumenat...) i obtenir ràtios de consum és una tasca difícil, ja que cada instal·lació esportiva té unes peculiaritats diferenciadores com ara: les dimensions i els espais esportius oferts, l'arquitectura associada, l'eficiència i tipus d'instal·lacions, les fonts energètiques emprades, les hores anuals d'utilització, la freqüència d'ús, la conscienciació i costums dels usuaris, la gestió energètica. Aquestes consideracions influeixen en el consum energètic de les instal·lacions esportives i en dificulten la comparació.

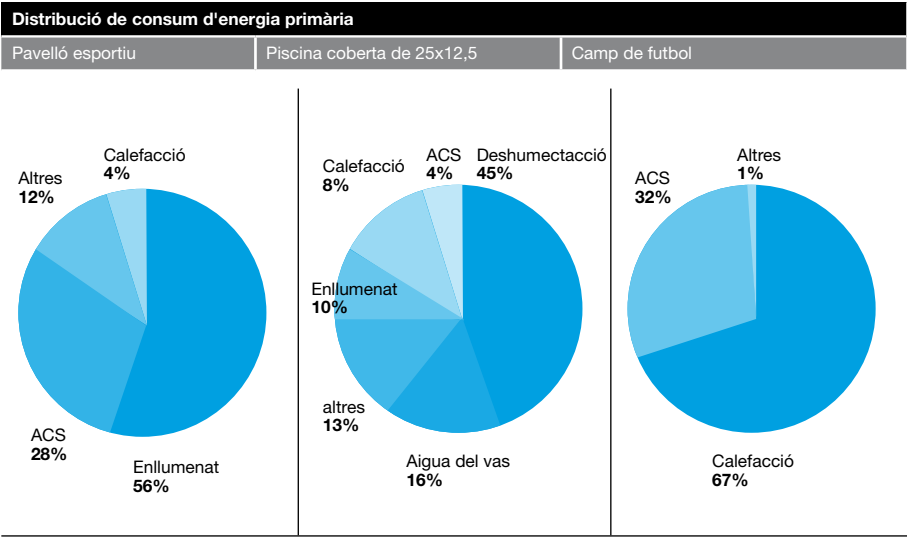
Partint d'aquesta base i des d'un punt de vista orientatiu, es mostra a la Taula 1.2 la ràtio de consum d'energia final (electricitat i gas natural) en un pavelló esportiu, una piscina coberta i una instal·lació a l'aire lliure; i, a la Taula 1.3, es mostra el desglossament del consum d'energia primària pels diferents conceptes.

Taula 1.2. Ràtio de consum d'energia final segons el tipus de recinte esportiu.

Ràtio consum anual d'energia final			
Energia final	Pavelló esportiu	Piscina coberta de 25x12,5	Camp de futbol
Electricitat	17 MWh/m²	292 MWh/m² làmina d'aigua	23 MWh/m²
Gas natural	23 MWh/m²	2.022 MWh/m² làmina d'aigua	14 MWh/m²

Taula 1.3. Distribució de consum d'energia primària segons tipus de recinte esportiu.

Taula 1.4. Tarifes d'accés actuals. Font: Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç. Secretaria d'Estat de l'Energia.



Tarifes de baixa tensió (U ≤ 1 kV)	Tarifes d'alta tensió (U > 1 kV)
Tarifa 2.0 A: tarifa simple (1 o 2 períodes horaris i potència contractada ≤ 10 kW).	
Tarifa 2.1 A: tarifa simple (1 o 2 períodes horaris i potència contractada >10 kW i ≤ 15 kW).	Tarifa 3.1 A: Tarifa específica (3 períodes horaris i potència contractada ≤ 450 kW).
Tarifa 3.0 A: tarifa general (3 períodes horaris).	Tarifes 6: Tarifes generals per a alta tensió (6 períodes horaris i 5 graons de tensió).

1.4. Cost econòmic de l'electricitat

Les tarifes d'accés d'electricitat que hi ha al mercat lliure són les que es mostren a la Taula 1.4. L'estructura de les tarifes té una fórmula composta per un terme de potència, un terme d'energia activa i, si escau, un terme d'energia reactiva. Aquests termes s'obtenen de la manera següent:

- **Energia activa:** el terme de facturació d'energia activa serà el sumatori resultant de multiplicar l'energia consumida i mesurada pel comptador a cada període tarifari pel preu del terme d'energia corresponent. El terme de facturació d'energia activa es facturarà mensualment, incloent l'energia consumida en el mes corresponent a cada període tarifari.
- **Facturació de potència:** per a cadascun dels períodes tarifaris aplicables a les tarifes, es contractarà una potència, aplicable durant tot l'any. El terme de facturació de potència serà el sumatori resultant de multiplicar la potència a facturar en cada període tarifari pel terme de potència corresponent. La determinació de la potència a facturar es realitzarà en funció de les potències contractades en cada període tarifari i, si escau, depenent de cada tarifa, les potències realment demandades en el mateix període durant el període de facturació considerat.
- **Energia reactiva:** a totes les tarifes es pagarà un recàrrec per excés de reactiva quan aquesta sigui superior al 33% de l'energia activa amb $\cos \phi < 0,95$. N'estan exempts el tercer període a les tarifes 3 i el sisè període a les tarifes 6. Per a les tarifes 2, es pagarà excés de reactiva a partir del 50% del consum d'energia activa.

1.5. Cost ambiental de les fonts energètiques

Amb l'elecció adequada de la font energètica, de la tarifa associada i amb un ús racional de l'energia a l'edifici i a les instal·lacions per assolir les condicions de confort desitjades, s'obtenen estalvis econòmics anuals importants. La lectura mediambiental d'aquest estalvi econòmic és un estalvi energètic (de combustible o electricitat) i, en conseqüència, una reducció de les emissions de contaminants a l'atmosfera, i de gasos d'efecte hivernacle (GEH) en les quantitats que es mostren a la Taula 1.5.

Aquestes reduccions d'emissions preveuen les emissions derivades de l'ús final d'energia als centres esportius.

Pel que fa a l'electricitat, aquest terme canvia anualment, ja que hi ha diferents fonts productores possibles (combustibles fòssils, hidràulica, nuclear, RSU, eòlica, cicles combinats, cogeneració, solar fotovoltaica, etc.), amb una representativitat en el percentatge de producció elèctrica que varia any rere any.

Una instal·lació esportiva, independentment d'haver estat concebuda per minimitzar el consum energètic ha d'harmonitzar un abastament energètic tan diversificat com sigui possible (electricitat, combustibles i energies renovables) per minimitzar l'impacte ambiental i els costos d'explotació derivats. En aquest sentit es desaconsellen les solucions tot elèctriques.

Fig. 1.2. Tarifes elèctriques de baixa i alta tensió (març 2011).
Font: ICAEN, Generalitat de Catalunya

Taula 1.5. Reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle per estalvi energètic.

Baixa tensió				
2.0A (<=10kW) 2.0A (<=10kW)	Terme potència: €/kW i any Terme energia activa: €/kW	16,633129 0,055479	* *	
		Període 1	Període 2	
2.0DHA (<=10kW) 2.0DHA (<=10kW)	Terme potència: €/kW i any Terme energia activa: €/kW	16,633129 0,072123	16,633129 0,011096	* *
2.1A (<=15kW) 2.1A (<=15kW)	Terme potència: €/kW i any Terme energia activa: €/kW	29,694435 0,072123		
		Període 1	Període 2	
2.1DHA (<=15kW) 2.1DHA (<=15kW)	Terme potència: €/kW i any Terme energia activa: €/kW	29,694435 0,068471	29,694435 0,012114	
		Període 1	Període 2	Període 3
3.0A (<=15kW) 3.0A (<=15kW)	Terme potència: €/kW i any Terme energia activa: €/kW	13,171455 0,057035	7,902873 0,038228	5,268582 0,014198

Alta tensió						
	Període 1	Període 2	Període 3	Període 4	Període 5	Període 6
Terme de potència (€/kW i any)						
3.1A (<=450kW) >1kV i=36kV	23,541922	14,517671	3,329068	-	-	-
6.1 (<450kW) >1kV i=36kV	16,268690	8,141386	5,958142	5,958142	5,958142	2,718489
6.2 >36kV i=72,5kV	14,011190	7,011658	5,131370	5,131370	5,131370	2,341263
6.3 >72,5kV i=145kV	13,157223	6,584306	4,818619	4,818619	4,818619	2,198565
6.4 >145kV	9,855481	4,932008	3,609411	3,609411	3,609411	1,646847
6.5 connexions internacionals	9,855481	4,932008	3,609411	3,609411	3,609411	1,646847
Terme d'energia (€/kW)						
3.1A (<=450kW) >1kV i=36kV	0,039922	0,035520	0,021737	-	-	-
6.1 (<450kW) >1kV i=36kV	0,069642	0,052010	0,027715	0,013793	0,008908	0,005577
6.2 >36kV i=72,5kV	0,023232	0,017350	0,009247	0,004600	0,002971	0,001860
6.3 >72,5kV i=145kV	0,018746	0,014000	0,007460	0,003711	0,002397	0,001502
6.4 >145kV	0,009807	0,008135	0,004664	0,002648	0,001710	0,001178
6.5 connexions internacionals	0,009807	0,008135	0,004644	0,002648	0,001710	0,001178
Terme de facturació d'energia reactiva:						
Per a $\cos \phi < 0,95$ i fins $\cos \phi = 0,80$0,041554 €/kVarh						
Per a $\cos \phi < 0,80$0,062332 €/kVarh						

Font energètica	Factor d'emissió de GEH
Electricitat ¹	0,350 t CO ₂ /MWh
Gas natural ²	2,15 kg CO ₂ /Nm ³
Butà ²	2,96 kg CO ₂ /kg
Propà ²	2,94 kg CO ₂ /kg
Gasoil ²	2,79 kg CO ₂ /l

(1) Factor d'emissió en punt de consum (BT) de l'any 2009. Publicat el novembre de 2010 per l'IDAE.
(2) Actualització del factor d'emissió de març de 2011 de l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic.



Figura 1.3. Piscines Picornell.



Figura 1.4. Palau Municipal d'Esports de Badalona.

1.6. Característiques de l'aire humit

L'atmosfera en què vivim és constituïda per una mescla d'aire sec i vapor d'aigua. El pes d'aquest darrer element és inferior al 3 % del pes del conjunt, fins i tot en els climes més humits. La seva influència sobre el benestar de les persones és, però, fonamental, ja que intervé en el procés de sudoració.

La psicrometria és la ciència que estudia les propietats termodinàmiques de la mescla airevapor. Per tant, dedica la seva atenció a tot allò que es relaciona amb les necessitats ambientals humanes i tecnològiques. El coneixement del comportament de l'aire humit és essencial per a l'anàlisi del disseny dels dispositius de condicionament d'aire i l'estudi de les càrregues energètiques implicades.

Per facilitar la comprensió dels diferents termes que intervenen en l'equilibri aire-vapor es defineixen seguidament alguns paràmetres.

Llei de Dalton

Segons aquesta llei, la pressió total d'una mescla de diferents gasos és igual a la suma de les pressions parcials que cada component exerciria si, en igualtat de temperatura, ocupessin per ells mateixos tot el volum que ocupa la mescla.

Com s'ha esmentat, l'aire atmosfèric és una mescla d'aire sec i de vapor d'aigua. Aleshores, es pot aplicar aquesta llei:

$$P = P_a + P_v$$

En què:

P : pressió atmosfèrica.

P_a : pressió parcial de l'aire sec.

P_v : pressió parcial del vapor d'aigua (normalment s'anomena pressió de vapor).

La pressió de saturació (P_{vs}) és la pressió de vapor d'una mescla quan aquesta està saturada.

Aire saturat

Es diu que, a una certa temperatura, l'aire és saturat quan no pot contenir més vapor d'aigua. En aquest cas, la pressió parcial del vapor en la mescla és igual a la pressió de saturació corresponent a la temperatura a la qual es troba l'esmentada mescla. Si s'augmenta la proporció de vapor d'aigua, s'arriba a la condensació o a la formació de boira.

Temperatura o punt de rosada Tr

Si una mescla d'aire i vapor d'aigua es refreda a pressió constant, la temperatura a la qual es produeix la saturació s'anomena punt de rosada.

Temperatura seca T

És la temperatura mesurada per un termòmetre en un recinte on les parets i l'aire estiguin a la mateixa temperatura.

Per mesurar la temperatura seca en un recinte on les parets no estan a la mateixa temperatura que l'aire, es fa una pantalla al bulb del termòmetre amb un cilindre de metall polit, separat a una distància aproximada d'un metre, de manera que el bulb estigui en contacte amb l'aire ambient sense rebre la calor que radien els murs.

Temperatura humida T'

És la que s'obté amb un termòmetre, el bulb del qual és voltat d'una capa de cotó humit. L'aire ambient que ha de tenir una velocitat que oscil·la entre 2 i 4 m/s, provoca l'evaporació de l'aigua de la capa de cotó i, per tant, un descens de la temperatura. L'evaporació originada és conseqüència de les condicions de temperatura i humitat de l'aire ambient.

Humitat absoluta X

S'anomena també humitat específica i es defineix com la quantitat de vapor d'aigua (expressada en kg) que conté un kg d'aire sec.

La seva expressió analítica és:

$$X = 0,662 \cdot P_v / P - P_v$$

En què:

X: humitat específica (kg de vapor/kg d'aire sec).

P_v: pressió parcial del vapor d'aigua.

P: pressió atmosfèrica.

Humitat relativa P

Es defineix com la relació percentual entre la pressió parcial del vapor d'aigua i la pressió de saturació de l'esmentat vapor corresponent a la temperatura seca de la mescla.

$$P = P_v / P_{vs} \cdot 100 \text{ (11\%)}$$

En què:

P: humitat relativa (%).

P_v: pressió parcial del vapor (kg/m²).

P_{vs}: pressió de saturació del vapor d'aigua a la temperatura seca de la mescla (kg/m²).

Entalpia H

La variació d'entalpia, per a sistemes que evolucionen a pressió constant, defineix la calor absorbida o cedida durant un procés.

L'entalpia, per a unes condicions concretes, de l'aire humit és la suma de l'entalpia de l'aire més l'entalpia del vapor d'aigua, i es calcula així.

$$H = H_a + X \cdot H_v$$

En què:

H: entalpia de l'aire humit refent a un kg d'aire sec (kJ/kg aire sec).

H_a : entalpia de l'aire sec (kJ/kg aire sec).

X: humitat absoluta (kg vapor aigua/kg aire sec).

H_v : entalpia del vapor d'aigua (kJ/kg vapor d'aigua).

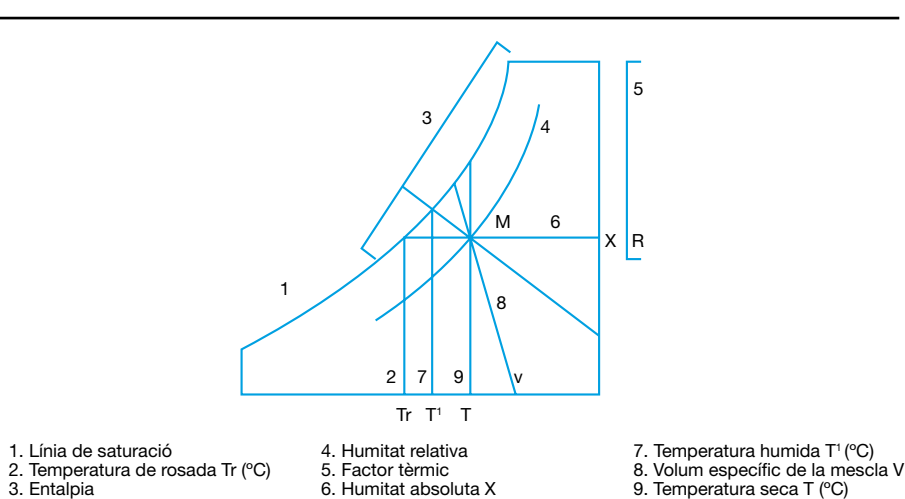


Figura 1.5. Dreta: Representació del diagrama psicromètric. Esquerra: Magnituds relatives a la mescla aire-vapor.

El diagrama psicromètric

Al diagrama psicromètric, representat a la Figura 1.5 dreta, es mostra una representació gràfica per a la pressió atmosfèrica d'algunes de les unitats anteriors, i permet el càlcul del balanç energètic si es produeixen canvis en les condicions de l'aire. Les temperatures seques es troben sobre l'eix d'abscisses, mentre que les humitats absolutes són sobre l'eix d'ordenades. A la Figura 1.5 esquerra s'esquematitza com es realitzen les lectures per a unes condicions donades (punt M).

L'entalpia de saturació es llegeix a l'escala 3 de la Figura 1.5 esquerra. L'entalpia de l'aire en el punt M es considerarà igual a la de saturació, tot i que hi ha un valor de desviació (que s'inclou en altres àbacs) que sempre és molt petit i que normalment no cal tenir en compte.

A la part dreta del diagrama hi apareix la relació entre la calor sensible i la total, absorbides o cedides per l'aire durant un procés donat.

La determinació de la temperatura de rosada i la de la temperatura humida (T_r i T' respectivament) també s'il·lustren a la Figura 1.5 esquerra.

1.7. Característiques tèrmiques dels materials

En aquest apartat es comenten els principals paràmetres que defineixen tèrmicament els tancaments dels edificis.

El fet de conèixer-los és important ja que serveix per a mesurar la despesa energètica que es necessita per aconseguir un determinat confort tèrmic en l'edificació pròpiament dita de les instal·lacions esportives i, per tant, permet preveure les possibles accions a entomar per tal de reduir la despesa esmentada.

Conductivitat tèrmica λ

És la propietat que quantifica la capacitat d'un material de transmetre calor a través seu. La seva magnitud depèn clarament de l'estat (sòlid, líquid o gas), però també de la temperatura, la densitat, la porositat, la característica metàl·lica, el contingut d'humitat, el diàmetre de fibra, la grandària dels porus i el tipus de gas que hi ha a l'interior. En un element de cares planes i paral·leles de gruix unitari (paret, sostre, etc.), és la quantitat de calor que travessa una unitat de superfície durant un segon, quan entre ambdues cares hi ha una diferència de temperatura d'un grau.

Aquesta magnitud ve donada en $W/m \cdot ^\circ C$.

Coefficient de transmissió superficial de calor H

És la potència que travessa una unitat d'àrea en contacte amb un fluid a causa de la convecció, radiació i conducció; dividida per la diferència entre les temperatures entre la superfície del material i el fluid.

Es mesura en $W/m^2 \cdot ^\circ C$ i el seu valor depèn de diferents factors com el moviment del fluid, la geometria, les rugositats de la superfície i les temperatures de l'ambient i del material.

Conductància tèrmica C

És la quantitat de calor transmesa en règim estacionari a través de la unitat de superfície de gruix e , dividida per la diferència de temperatura entre les dues cares.

La conductància tèrmica depèn del material, i la conductivitat es refereix a la unitat de gruix

$$C = \lambda / e \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ C\text{)}$$

En què:

λ : conductivitat tèrmica ($W/m \cdot ^\circ C$).

e : gruix del material (m).

Resistència tèrmica R

La resistència tèrmica interna és l'invers de la conductància tèrmica:

$$R_{\text{interna}} = e / \lambda \text{ (m}^2 \cdot ^\circ C / W\text{)}$$

Per a superfícies es té

$$R_{\text{superficial}} = 1/h / (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W})$$

La utilitat d'aquest coeficient apareix quan la calor travessa un element format per diferents capes (paret composta). Aleshores, la resistència del conjunt és la suma de les resistències parcials.

Resistència tèrmica total R_T

És la suma de les diferents resistències superficials i de la resistència tèrmica interna del tancament en estudi:

$$R_T = 1/h_e + e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + \dots + 1/h_a \text{ (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C / W)}$$

En què:

R_T : resistència tèrmica total ($\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C/W}$).

$1/h_e$: resistència tèrmica superficial externa ($\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C/W}$).

$1/h_a$: resistència tèrmica superficial de la cara interior ($\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C/W}$).

e_1/λ_1 : resistència tèrmica interna de la capa 1 ($\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C/W}$).

e_2/λ_2 : resistència tèrmica interna de la capa 2 ($\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C/W}$).

Coefficient de transmissió de calor K

El coeficient de transmissió de calor o de transmissió tèrmica és l'invers de la resistència tèrmica total.

Considerant un tancament amb cares planes isoterms que separa dos ambients diferents, el coeficient de transmissió tèrmica és el flux de calor per unitat de superfície i per grau de diferència de temperatura entre ambdós ambients.

$$K = \frac{1}{1/h_e + e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + \dots + 1/h_a} \text{ (W/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}.$$

Coefficient mitjà de transmissió de calor K_m

És la mitjana aritmètica ponderada dels coeficients de transmissió tèrmica K d'una superfície de tancament, incloent tant les parts massisses com les obertures. La seva unitat és $\text{W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$.

$$K_m = K_a \cdot S_a + K_b \cdot S_b + \dots + K_n \cdot S_n / S_a + S_b + \dots + S_n$$

Evolució de la temperatura a l'interior dels elements del tancament

A causa de la diferència entre les temperatures de l'aire als dos costats d'un mur, es produeix un flux de calor des de la part més calenta cap a la més freda. La magnitud d'aquest bescanvi depèn directament de la resistència tèrmica que presenti l'element esmentat.

En estat estacionari, aquest flux de calor produeix un gradient de temperatura en el tancament. Per a determinar aquesta evolució en un mur format per diferents capes, s'ha d'utilitzar, per a cadascuna d'elles, l'equació 1.11.

$$\Delta T = (T_a - T_e) \cdot e_i / \lambda i / R_T (^\circ\text{C})$$

En què:

ΔT : caiguda de temperatura ($^\circ\text{C}$).

T_a : temperatura de l'ambient interior ($^\circ\text{C}$).

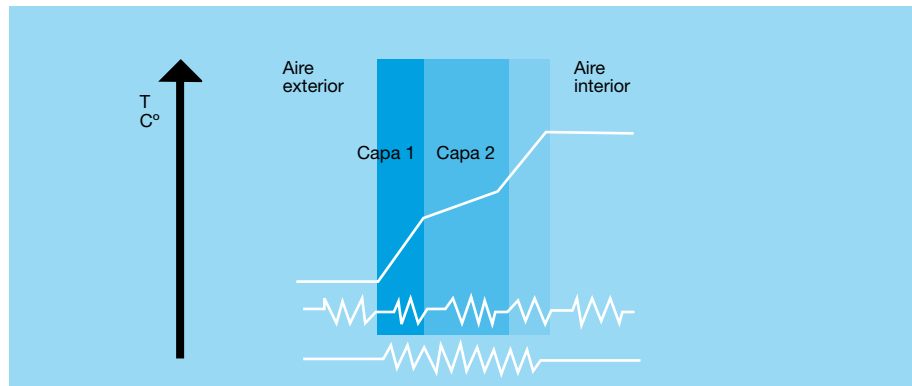
T_e : temperatura exterior ($^\circ\text{C}$).

R_T : resistència tèrmica total del tancament ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$).

$e_i/\lambda i$: resistència tèrmica de la capa "i" ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$).

A la Figura 1.6 es pot veure la representació gràfica que permet calcular l'evolució de la temperatura d'un element format per diferents capes, en què les que disposen de més resistència tèrmica són les que ofereixen un pendent més elevat i, per tant, un aïllament millor.

Figura 1.6. Evolució de la temperatura a través d'un element del tancament.





2. Criteris de confort

2.1. Introducció

De manera general, es pot definir el confort com l'absència de tot allò que pot constituir molèstia per a un individu i és precisament en aconseguir les condicions de confort quan es genera una gran part de les despeses d'explotació d'una instal·lació esportiva.

Ja que s'ha de destinar una part important dels recursos a garantir la confortabilitat de la instal·lació, s'han de conèixer quines són les condicions en les quals les persones es troben còmodes tèrmicament, ambientalment i visualment.

No obstant això, el coneixement d'aquestes dades topa amb la dificultat afegida que la sensació de confort de les persones, com totes les sensacions humanes, és absolutament subjectiva i varia d'un individu a un altre, la qual cosa fa del tot impossible establir unes condicions absolutes de confort.

2.2. El confort tèrmic

L'equilibri tèrmic entre el cos humà i el seu entorn és una de les principals exigències perquè la persona assoleixi el benestar físic. Les condicions en què s'obté aquest equilibri depenen de la conjugació de diferents factors, alguns d'ells de caràcter individual, com el grau d'activitat, el vestuari, etc., i d'altres, que són funció de l'ambient exterior, com la temperatura ambient, les radiacions, la humitat, els moviments d'aire, etc.

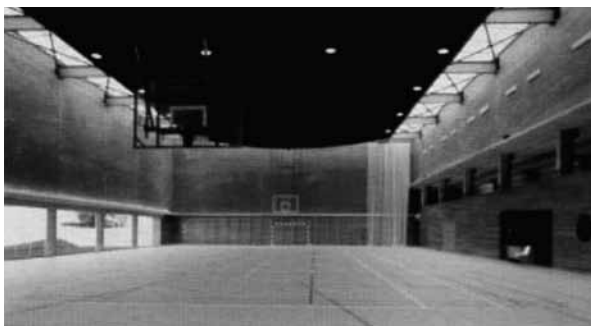


Figura 2.1. Pavelló del CAR de Sant Cugat.

Figura 2.2. Als espais tancats dels centres esportius, les condicions ambientals hi determinen el nivell de confort. INEFC de Barcelona

Figura 2.3. A les piscines cobertes, l'evaporació de l'aigua de la piscina és un factor fonamental que cal controlar per a mantenir uns nivells òptims d'humitat ambiental.



El cos produeix energia a través del seu propi metabolisme. Aquest fenomen és el procés pel qual l'aliment absorbit es combina amb oxigen i genera l'energia necessària per formar nous teixits i per al funcionament dels diferents òrgans (contracció dels músculs durant el treball, activitat involuntària dels òrgans interns: circulació de la sang, respiració, secreció interna de les glàndules, etc.).

L'energia produïda també depèn de l'activitat que es porta a terme quan es realitza un esforç: només una part de l'energia generada s'utilitza per a fer el treball mecànic, la resta es transforma en calor.

Aquesta producció de calor interna compensa les pèrdues cap a l'exterior, sempre i quan la temperatura interior del cos es mantingui estable. Quan l'equilibri no s'obté, la temperatura dels òrgans interns augmenta o disminueix, segons si la pèrdua de calor és més petita o més gran que la producció, fins que s'estableix un nou equilibri a un nivell diferent, o bé el cos pateix un col·lapse.

El bescanvi de calor entre el cos i el seu entorn es produeix per convecció amb l'aire ambient i per radiació amb les superfícies que l'envolten. A més, la calor es dissipa del cos per evaporació de la transpiració i de l'aigua que contenen els pulmons.

Totes aquestes variants de bescanvi de calor es regeixen per lleis purament físiques, però hi ha també altres mecanismes fisiològics que permeten al cos regular la taxa de producció de calor i els processos de pèrdua, de manera que es pugui mantenir l'equilibri. Aquests mecanismes són: la taxa de distribució de la sang, el metabolisme i la taxa sudorífica, independentment de l'adaptació conscient del vestuari a les condicions de l'ambient.

La relació entre el vestuari de les persones, l'activitat que duguin a terme i la temperatura òptima que ha de tenir l'ambient on fan l'activitat, es mostra a la Figura 2.4. En abscisses es representa la resistència tèrmica del vestit (clo) i en ordenades, la taxa metabòlica que il·lustra l'activitat (met).

Les àrees ombrejades de la Figura 2.4. informen sobre l'interval acceptable dins el qual es troba la temperatura òptima. És evident que aquest interval és superior quan més intensa sigui l'activitat i més aïllat vagi l'individu. A tall d'exemple, un esportista amb una resistència tèrmica del vestuari de 0,3 clo, realitzant gimnàstica amb un nivell d'activitat de 3 met, necessitaria una temperatura de confort de 20°C.

A la Taula 2.1 i a la Taula 2.2 s'apunten els diferents valors d'aquestes taxes per a cada situació.

La diferència de temperatura entre l'alçada del cap i la dels turmells és un factor important que influeix en la sensació de confort de la persona, tal com es mostra a la Figura 2.5. Sempre cal vetllar per l'homogeneïtat de la temperatura ambient dins els locals.

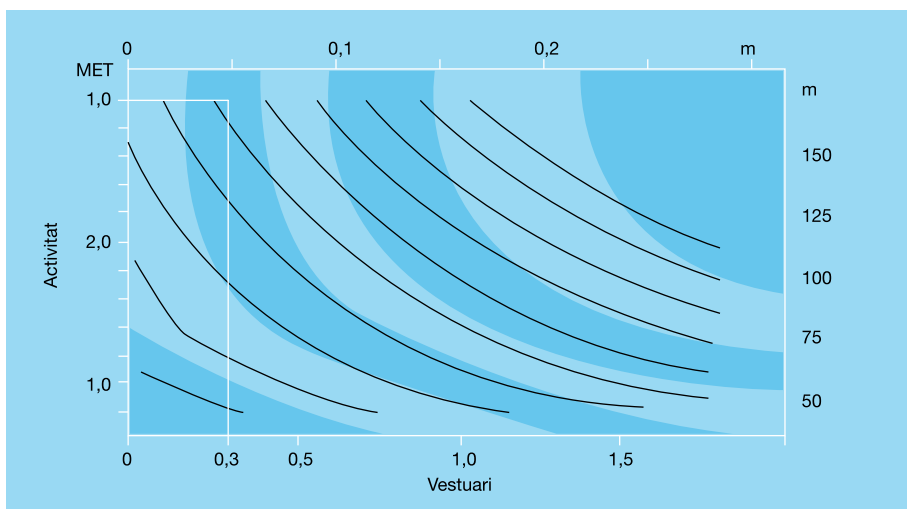


Figura 2.4. Relació entre el vestuari de les persones, la seva activitat i la temperatura òptima de confort.

Vestuari	m ² ·°C/W	clo
Individu nu	0	0
Vestit de bany	0,015	0,1
Pantalons curts i samarreta	0,045	0,3
Vestuari lleuger d'estiu	0,08	0,5
Vestuari lleuger de treball	0,11	0,7
Vestuari d'hivern per a l'interior dels edificis	0,16	1,0
Vestuari d'hivern per a exterior	0,23	1,5
Vestuari exterior per a zones molt fredes (Pirineu)	0,46	3,0

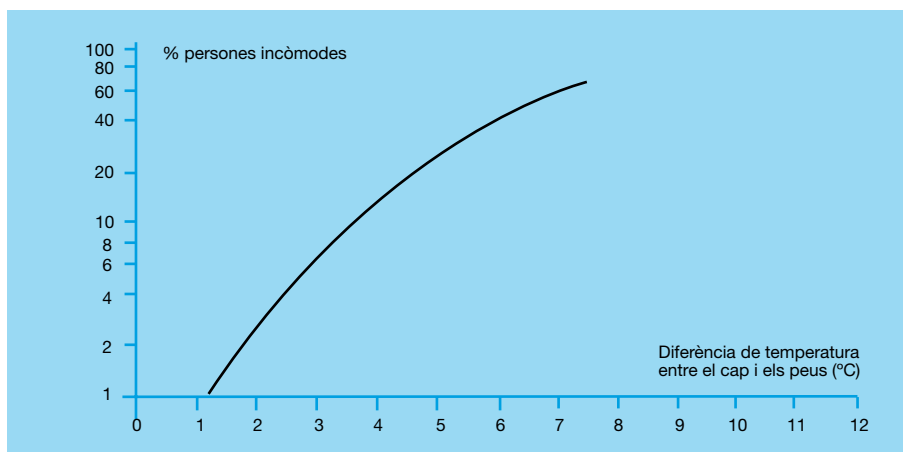
Taula 2.1. Valors de la resistència tèrmica de diferents tipus de vestits. Font: Thermal comfort requirements; P.O. Fanger; Laboratory of Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark. 1983.

Taula 2.2. Taxa metabòlica de les diferents activitats. Font: Spaziosport. Dossier energia. Tavola rotonda; Comitato Olimpico Italiano. 1982.

Activitat	Taxa metabòlica	
	m ² ·°C/W	clo
Persona asseguda	0	0
Caminant		
a 4 km/h	116	2
a 8 km/h	290	5
Caminant (en pujada)		
pendent del 5% a 4 km/h	168	2,9
pendent del 5% a 4 km/h	278	4,8
Gimnàstica	145 a 191	2,5 a 3,3
Ball	110 a 209	1,9 a 3,6
Tennis	220	3,8
Esquaix	348	6
Bàsquet	371	6,4
Lluita	406	7

Figura 2.5. Relació entre la diferència de temperatura entre el cap i els peus i el percentatge de gent incòmoda.

Taula 2.3 Condicions interiors de disseny per a activitats metabòliques sedentàries.
Font: Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis (RITE). 2009



Estació	Temperatura operativa (°C)	Humitat relativa (%)
Estiu	23 a 25	45 a 60
Hivern	21 a 23	40 a 50

La diferència de temperatura entre l'alçada del cap i la dels turmells és un factor important que influeix en la sensació de confort de la persona, tal com es mostra a la Figura 2.5. Sempre cal vetllar per l'homogeneïtat de la temperatura ambient dins els locals.

En una instal·lació esportiva es porten a terme activitats diferents. A la mateixa sala hi ha persones practicant l'esport i espectadors en actitud sedentària. Naturalment, atesa la finalitat d'aquests tipus d'instal·lacions, cal assolir les exigències de confort dels esportistes, procurant que la zona especialment dedicada als espectadors ofereixi unes condicions de comoditat properes a llurs necessitats.

El Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis (RITE), pel que fa referència a les exigències ambientals i de confortabilitat, fixa uns intervals de temperatura de confort propis d'activitats sedentàries, així com el procediment de càlcul per a activitats metabòliques superiors.

El RITE, a més, limita la temperatura a l'interior dels establiments habitables condicionats, situats en edificis i locals destinats als usos següents: administració, comercials, concurrència pública, espectacles públics, restauració i transport de persones.

La temperatura en recintes calefactats no podrà ser superior a 21°C i en recintes refrigerats no serà inferior a 26°C quan s'usi energia convencional per a climatitzar-los, independentment de les condicions de disseny dels equips. Aquestes condicions estaran referides al manteniment d'una humitat relativa compresa entre el 30 i el 70%.

Aquestes limitacions no afecten els locals que justifiquin el manteniment de determinades condicions ambientals o disposin de normativa específica.

2.3. Qualitat de l'aire

L'aire sec és una mescla de gasos constituïda aproximadament per un 78 % en volum de nitrogen, un 21 % d'oxigen i el percentatge restant, per altres gasos (argó, anhi-

drid carbònic, neó, etc.).

L'aire humit és una mescla binària d'aire sec i de vapor d'aigua, la proporció en pes de cadascun dels quals ve donada per la humitat absoluta.

La importància de la renovació de l'aire interior d'un recinte tancat rau en la necessitat de regular la concentració de contaminants d'aquest aire, generats pels processos que es desenvolupen a l'interior.

Amb l'aire de ventilació, el que s'assoleix és diluir les substàncies contaminants amb la introducció d'aire exterior i, eventualment, aire de retorn per mitjans mecànics o naturals.

Les concentracions màximes de contaminants de l'aire exterior admeses perquè la seva qualitat sigui considerada acceptable per la ventilació, vénen fixades pel Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en Edificis (RITE) i la norma UNE-EN 13779:2007 i es mostren a la Taula 2.4.

A la Taula 2.6 s'indiquen els cabals d'aire exterior mínims requerits per a disposar d'una qualitat acceptable d'aire als locals. Aquests valors els fixa el RITE en funció de la qualitat requerida d'aire (Taula 2.5), segons UNE-EN 13779:2007.

En llocs amb ocupació humana regular s'utilitza el paràmetre de cabal per persona, mentre que el cabal per unitat de superfície s'utilitza per a locals amb ocupació humana no permanent com, per exemple, els magatzems.

Concentracions màximes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
SO ₂	50 (mitjana 1 any) – 125 (màxima 24h)
NO ₂	40 (mitjana 1 any) – 200 (màxima 1h)
Ozó (O ₃)	120 (màxim 8h)
PM ₁₀	40 (mitjana 1 any) – 50 (màxim 24h)

Taula 2.4. Concentracions màximes.

Taula 2.5. Categories de qualitat de l'aire interior (IDA).

Taula 2.6. Cabals d'aire exterior.

Categoria	Descripció
IDA 1	Aire d'òptima qualitat: hospitals, clíniques, laboratoris i llars d'infants.
IDA 2	Aire de bona qualitat: oficines, residències, sales de lectura, museus, sales de tribunals, aules d'ensenyament (i similars) i piscines.
IDA 3	Aire de qualitat mitjana: edificis comercials, cinemes, teatres, sales d'actes, habitacions d'hotels i similars, restaurants, cafeteries, bars, sales de festes, gimnasos, locals per a l'esport (excepte piscines) i sales d'ordinadors.
IDA 4	Aire de qualitat baixa.

Tipus de local	Cabal per persona (l/s)		Cabal per m ² (l·m ² /s)		Altres (l·m ² /s)	
	Interval tipus	Valor per defecte	Interval tipus	Valor per defecte	Interval tipus	Valor per defecte
IDA 1	> 15	20	NA	NA	-	-
IDA 2	10 - 15	12,5	> 0,7	0,83	-	-
IDA 3	6 - 10	8	0,35 – 0,7	0,55	-	-
IDA 4	< 6	5	< 0,35	0,28	-	-
Banyes(*)	-	-	-	-	> 1,4	3
(*) Cabal d'aire d'extracció						

Per a locals amb elevada producció de contaminants (piscines, restaurants, etc.), el RITE recomana utilitzar el mètode de la dilució. Per a piscines climatitzades, l'aire exterior de ventilació necessari per a la dilució dels contaminants serà de $2,5 \text{ l/s-m}^2$ de superfície de làmina d'aigua i platja. A aquest cabal, caldrà afegir-hi el necessari per a controlar la humitat relativa.

S'aconsella que les instal·lacions esportives disposin de mecanismes automàtics que permetin variar el cabal d'aire exterior mínim de ventilació en funció del nombre de persones presents.

2.4. El confort visual

La qualitat de la il·luminació d'una instal·lació esportiva natural, artificial o mixta, ha de garantir una visió ràpida, còmoda i segura. Els paràmetres que ho permetran són el nivell d'il·luminació, l'enlluernament, la temperatura de color i l'índex de reproducció cromàtica.

Nivell d'il·luminació

Conegut també com la intensitat d'il·luminació, indica la quantitat d'energia lluminosa que incideix per unitat de superfície. Constitueix un paràmetre fonamental per a donar prou contrast entre el fons, els esportistes i la pilota o objecte de joc. La seva unitat de mesura és el lux.

La majoria de pràctiques esportives han de poder ser divisades des de totes les direccions i, és, per tant, molt important el nivell d'il·luminació tant horitzontal com vertical.

Un bon contrast en el propi cos dels esportistes és essencial perquè se'ls pugui reconèixer i identificar. Això tan sols s'assolirà quan els plans verticals estiguin prou il·luminats, o sigui, quan la il·luminació vertical sigui l'apropiada.

A la pràctica, la il·luminació vertical que requereixen els jugadors i els espectadors s'aconsegueix automàticament en la majoria dels casos complint les exigències d'il·luminació horitzontal i, per això, la il·luminació vertical és només un criteri de disseny quan s'ha de preveure una retransmissió per televisió.

Per a la majoria dels esports és adient una il·luminació horitzontal de 300 a 750 lux, depenent de si l'activitat és d'entrenament o de competició, valors que es mostren de manera orientativa a la Taula 2.7 segons la tipologia de la dependència. Aquests valors s'han de multiplicar per 1,25 per tal de tenir en compte un cert envelliment així com un cert grau de brutícia de les làmpades. A més, en les instal·lacions en funcionament, el nivell d'il·luminació no hauria d'estar mai per sota del 80 % dels valors de la taula.

A la pràctica, és molt difícil aconseguir que tots els punts d'un recinte tinguin el mateix nivell d'il·luminació. Aquesta diferència entre els nivells d'il·luminació que tenen els diferents punts d'una sala es mesura mitjançant la uniformitat mitjana, que és el quocient entre el nivell d'il·luminació mínim i el nivell d'il·luminació mitjà que hi ha en una sala.

Una bona uniformitat del nivell d'il·luminació és important per tal d'evitar problemes d'adaptació de l'ull. Si la uniformitat d'un recinte esportiu no és prou bona, hi ha un cert risc que la pilota (o objecte de joc) o algun jugador (o usuari) no es vegin clarament en determinades posicions del terreny de joc (o recinte).

En activitats esportives, el valor recomanat de la uniformitat, expressat com el

quocient entre el nivell d'il·luminació mínim i el d'il·luminació mitjà, és de 0,5.

Enlluernament

A la majoria dels esports, els esportistes dirigeixen freqüentment la seva mirada cap a dalt. La supressió total d'enlluernament és, per tant, bastant difícil. En tot cas, l'enlluernament es pot reduir a un mínim seguint les mesures següents:

- Fonts de llum amb apantallament.
- Fonts de llum a una alçada adient.
- Controlar el raig de llum amb lluminàries que portin una òptica adient.
- Les fonts d'alta intensitat lumínica hauran d'estar agrupades.

En molts esports, com el futbol, el tennis i el voleibol, és preferible una il·luminació general, amb projectors muntats en files al llarg de les dues bandes laterals. Amb aquesta disposició es redueix el risc d'enlluernament, s'aconsegueix una bona modulació i es proporciona una bona il·luminació vertical.

L'índex que mesura l'enlluernament és l'UGR, que és un índex d'enlluernament unificat.

Temperatura de color i índex de reproducció cromàtica

Ambdues són propietats que caracteritzen les fonts de llum artificial.

Cal no oblidar que es parla d'enllumenat artificial, fet a la mida i a les necessitats de l'home i, per tant, s'han de tenir en compte els aspectes fisiològics i psicològics que pot induir un ambient il·luminat. És per això que no n'hi ha prou si es disposa de la quantitat de llum necessària i disponible al lloc adient, sinó que també s'han de preveure les sensacions i les necessitats de l'usuari del sistema d'il·luminació.

D'una banda, la sensació produïda té una forta relació amb la temperatura de color de la font mesurada en K, i que es qualifica com a càlida: per a tons groguencs (inferior a 3.300 K); freda, per a tons blancs similars als que dona la llum solar (superior a 5.300 K); i neutra, per a tonalitats intermèdies (entre 3.300 i 5.300 K).

La temperatura de color (excepte per a retransmissions) és tan sols una qüestió d'ambientació.

En el cas de filmació, les càmeres no han de tenir problemes amb làmpades de temperatures de color correlacionades entre els 2.000 i els 6.000 K, sempre que les diferències de temperatura de color entre les làmpades no siguin excessivament grans.

En el cas d'instal·lacions exteriors o instal·lacions interiors amb una aportació de llum natural significativa, la temperatura de color de la il·luminació artificial haurà d'estar entre 4.000 K i 6.500 K quan s'utilitzi il·luminació amb projectors durant el dia i el crepuscle. Si no hi ha una aportació de llum natural significativa, llavors l'interval es pot estendre entre 3.000 K i 6.500 K.

D'altra banda, les necessitats relatives a una adequada identificació dels colors dels elements que formen part de l'entorn il·luminat, es determina mitjançant l'índex de reproducció cromàtica (IRC o Ra), també anomenat rendiment en color; s'es-

Tipologia instal·lació	Entrenament (lux)	Competició (lux)
Pavellons, sales i pistes esportives	300 – 500	500 - 750
Piscines	500	750
Camps poliesportius i d'atletisme	200 - 300	500

Taula 2.7. Relacions de nivells d'il·luminació horitzontal. Font: Norma UNE-EN 12193. 2009.

pecífica en tant per cent, atribuint el valor màxim (100%) al que s'obté amb les fonts incandescents. Per tant, com més proper al 100% sigui l'IRC d'una font de llum, millor permetrà distingir els colors dels objectes que il·lumina. Els valors mínims suggerits per l'IRC per a les làmpades en instal·lacions esportives es troben a la Taula 2.8.

Estudiats els condicionants que permeten una correcta qualitat visual amb enllumenat artificial, s'entén la importància de l'aprofitament de la il·luminació natural, que sempre serà de més qualitat i intensitat.

Als capítols específics de tipus d'instal·lació, s'especifiquen amb més detall aquestes característiques segons el tipus d'esport practicat.

Per a les instal·lacions generals, no esportives, la UNE 12464-1:2003 (il·luminació dels llocs de treball en interiors), estableix recomanacions i criteris a seguir per a obtenir la qualitat d'il·luminació correcta a les instal·lacions. Així, defineix uns valors d'il·luminació mantinguda (Em), límit de l'índex d'enlluernament unificat (UGR) i els índexs de rendiment de color (IRC o Ra) mínims per a satisfer les necessitats bàsiques de confort visual, prestacions visuals i seguretat.

A la Taula 2.9 es mostren valors d'aquesta norma d'aplicació en instal·lacions esportives.

Taula 2.8. IRC recomanats en instal·lacions esportives. Font: Norma UNE-EN 12193. 2009

Instal·lació	Modalitat	IRC (%)
Exterior	Entrenament	20 (preferible 40)
	Competició	60
Interior	Entrenament	60
		60

Taula 2.9. Paràmetres d'il·luminació recomanats en diferents espais. Font: UNE 12464-1:2003 Il·luminació dels llocs de treball en interiors.

Tipus d'interior, tasca i activitat	Em (lux)	UGR	Ra	Observacions
Llocs de pública concurrència				
Vestíbuls d'entrada	100	22	80	UGR només si és aplicable
Guarda-robes	200	25	80	
Sales	200	22	80	
Zones de trànsit i àrees comunes d'edificis				
Àrees de circulació i passadissos	100	28	40	-Il·luminació a nivell del terra -Ra i UGR similars en àrees adjacents
Escales, rampes, etc.	150	25	40	T _{cp} 4.000 K
Sales de descans	100	22	80	
Sales d'exercici físic	300	22	80	
Vestidors, serveis	200	25	80	
Infermeria	500	19	80	
Sales de material, sales de mecanismes	200	25	60	-
Sala dels quadres de comptadors	100	22	80	
Magatzems	100	25	60	
				200 lux si ocupat contínuament



3. Disseny arquitectònic

3.1 Tipologia de les instal·lacions esportives

La Secretaria General de l'Esport, dins el Pla director d'instal·lacions i equipaments esportius de Catalunya, ha establert uns mòduls específics per a les diferents instal·lacions esportives de la xarxa bàsica, que són les que permeten l'exercici del dret de tot ciutadà de practicar l'activitat física i esportiva. Cada mòdul té definit amb precisió les mides i marcatges de l'espai esportiu, l'esquema de les circulacions, les superfícies edificades, els espais complementaris per als esportistes, els espais complementaris per als espectadors, i marca els criteris funcionals, constructius i ambientals que ha de reunir la instal·lació.

La Taula 3.1 inclou una breu descripció dels diferents mòduls de la xarxa bàsica.

Aquest llibre es refereix principalment a les instal·lacions convencionals que constitueixen la xarxa bàsica, les que són més freqüents a Catalunya. Es classifiquen en tres grups: els pavellons i sales esportives, les piscines cobertes i les instal·lacions esportives a l'aire lliure, tot i que els criteris exposats són vàlids per a qualsevol instal·lació.

3.2. Consideracions generals

El disseny d'instal·lacions esportives presenta una diferència important respecte d'altres tipus d'edificis. L'espai esportiu té un gran volum al qual s'agreguen els altres espais complementaris més petits.

En el projecte de futures construccions s'haurien d'incorporar mesures d'ús racional de l'energia en el disseny arquitectònic de l'edifici fent, per exemple, que perdi la mínima calor; que en determinats moments pugui aprofitar els guanys solars gratuïts; que es beneficiï al màxim d'una ventilació i il·luminació naturals.

Amb un bon disseny energètic de l'edifici s'assoliran unes necessitats inferiors de potència instal·lada per als diferents tipus d'equipaments (climatització, enllumenat...) amb l'estalvi econòmic que això comporta en la inversió i en l'explotació futura de la instal·lació.

El disseny energètic, des d'un punt de vista arquitectònic, és el resultat de l'acció concurrent de dos factors: les condicions climàtiques del lloc i els requisits funcionals de benestar. La instal·lació esportiva haurà de respondre prioritàriament als objectius següents:

- Evitar les pèrdues de calor en condicions climàtiques fredes i afavorir la refrigeració en les càlides.
- Impedir els guanys de calor en les condicions climàtiques càlides i fer-los màxims en les fredes.
- Controlar les oscil·lacions horàries quan les condicions climàtiques variïn diàriament d'una manera important.

Taula 3.1. Mòduls de les instal·lacions de la xarxa bàsica. Font: Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya.

Tipus	Mòdul xarxa bàsica	Espais esportius del mòdul (m²)	Vestidors	Superfície (m²)	
				Aire lliure	Edificada
Pistes poliesportives	POL-1	608	2	2	150
	POL-2	968	2	2	150
	POL-3	1.408	2	2	150
Pavellons poliesportius	PAV-1	640	2	2	1.000
	PAV-2	1.012	4	4	2.000
	PAV-3	1.215	6	6	2.500
Sales esportives	SAL-1	200	2	2	350
	SAL-2	250	2	2	400
	SAL-3	350	2	2	500
Camps poliesportius	CAM-1	4.560	2	2	150
	CAM-2	6.615	4	4	450
	CAM-3	8.322	5	5	500
Piscines cobertes	PCO-1	Làmina d'aigua 312,5	5	5	1.600
	PCO-2	Làmina d'aigua 387,5	6	6	2.000
	PCO-3	Làmina d'aigua 622,5	8	8	2.600
Camps d'atletisme	ATL-1	3.200	2	2	150
	ATL-2	15.300	4	4	450
	ATL-3	16.400	5	5	500

- Ventilar els diferents espais.
- Oferir il·luminació natural als espais interiors amb els nivells i orientacions adequats i minimitzar la pèrdua del nivell de confort tèrmic dels recintes.

En aquest sentit, és necessari considerar el règim d'utilització de les instal·lacions esportives i les condicions internes que s'han de mantenir en cadascun dels períodes d'obertura i tancament al públic.

L'arquitectura bioclimàtica optimitza les relacions energètiques de l'edifici amb el medi ambient que l'envolta, mitjançant un disseny constructiu propi.

Els principals factors que considera aquest tipus d'arquitectura són els següents:

- L'emplaçament.
- L'orientació, la forma i el color de l'edifici.
- La capacitat tèrmica i la inèrcia tèrmica dels materials que la formen.
- L'aïllament tèrmic.
- La distribució de les obertures i el control solar que tinguin.
- Els sistemes de captació solar passiva.

3.3. Normativa sobre limitació de la demanda tèrmica i certificació energètica

Des de la Unió Europea, s'ha estat promovent l'eficiència energètica en edificis. L'any 2002 es va aprovar l'EPBD, la Directiva d'eficiència energètica en edificis (D 2002/91/CE). Aquesta directiva té una sèrie d'objectius que els Estats membres han

de complir. En el cas d'Espanya es tradueix en el següent:

- Limitació de la demanda energètica per a edificis nous i rehabilitats: CTE – HE1.
- Certificació energètica per a edificis nous i rehabilitats RD 47/2007.

A més, a Catalunya s'ha de complir el Decret d'ecoeficiència (Decret 21/2006).

D'altra banda, hi ha altres normatives que estan en desenvolupament, i que s'expliquen més detalladament a l'Annex 1:

- Certificació energètica per a edificis construïts (nou RD previst per al 2013).
- Edificis de zero energia (NZEB) per als anys 2018 i 2020.
- Designació d'un gestor energètic i etiquetatge energètic mínim de l'edifici.
- Possible revisió de la imposició dels productes energètics a partir de l'any 2013.

Limitació de la demanda energètica: Codi Tècnic de l'Edificació CTE - HE1

En edificis de nova construcció o ampliacions de més de 1.000 m² que renovin més del 25% dels tancaments, serà obligatori complir la normativa que estableix el Codi Tècnic de l'Edificació "CTE H1: Limitació de la demanda energètica" pel que fa a l'envolupant de l'edifici.

En general, estableix que:

"Els edificis disposaran d'una envolupant de característiques tals que limiti adequadament la demanda energètica necessària per assolir el benestar tèrmic en funció del clima de la localitat, l'ús de l'edifici i del règim d'estiu i d'hivern, així com per les seves característiques d'aïllament i inèrcia, permeabilitat a l'aire i exposició a la radiació solar, reduint el risc d'aparició d'humitats de condensació superficials i intersticials que en puguin perjudicar les característiques i tractant adequadament els ponts tèrmics per a limitar les pèrdues o guanys de calor i evitar-hi problemes higrotèrmics".

El CTE estableix 12 zones climàtiques mitjançant una lletra corresponent a la severitat climàtica d'hivern i un nombre corresponent a la severitat climàtica d'estiu. A l'Annex 2 s'indiquen les zones climàtiques de Catalunya.

La caracterització i quantificació de les exigències de demanda tèrmica que estableix el CTE consten de tres termes:

- **Demanda energètica:** el CTE fixa valors límits, segons la zona climàtica, dels paràmetres característics que defineixen l'envolupant tèrmica (transmitància dels diferents tipus de tancaments, factor solar de vidres, obertures i llurnes).

- **Condensacions:** caldrà limitar les condensacions superficials i intersticials que es produeixin als tancaments i particions interiors que componen l'envolupant tèrmica de l'edifici. La humitat relativa mitjana mensual a les esmentades superfícies cal que sigui inferior al 80%, i la màxima condensació anual acumulada no serà superior a la quantitat d'evaporació possible en el mateix període. A l'apartat "3.8. La condensació" es fa incís en aquests aspectes.

- **Permeabilitat a l'aire:** la permeabilitat a l'aire dels tancaments que limiten els espais habitables dels edificis ve limitada pel clima de la localitat on s'ubiquen, segons la zonificació climàtica establerta. A les zones climàtiques A i B la permeabilitat serà inferior a 50 m³/h·m² i per a les zones C, D i E, inferior a 27 m³/h·m².

Per a habitatges i petit terciari, es pot optar entre dues metodologies per a comprovar aquest compliment: opció simplificada i opció general. Per a instal·lacions esportives, les quals formen part de gran terciari, cal comprovar-ho mitjançant l'opció general.

En l'actualitat aquest mètode general de càlcul es realitza amb un programa informàtic oficial de referència, que rep el nom de LIDER (Limitació de la Demanda Energètica), i que està disponible per a la lliure utilització.

A banda de la limitació de la demanda energètica, el Codi Tècnic de l'Edificació també estableix una cobertura d'energia solar mínima per a la producció d'ACS i per a la climatització de piscines cobertes, en funció de la zona climàtica. Això s'amplia a l'apartat "Energia Solar Tèrmica" del capítol 4.

Decret d'ecoeficiència (Decret 21/2006)

Els paràmetres d'ecoeficiència relatius a la limitació energètica són els següents:

- Tancaments de l'edifici: coeficient mitjà de transmissió $K_m = 0,70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- Obertures de façanes i cobertes d'espais habitables: coeficient mitjà de transmissió $K_m = 3,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- Obertures de façanes i cobertes orientades a sud-oest ($\pm 90^\circ$): han de disposar d'un element o d'un tractament protector situat a l'exterior o entre dos vidres, de manera que el factor solar S de la part envidrada de l'obertura sigui igual o inferior al 35%.

Taula 3.2. Solucions constructives i puntuacions del Decret d'ecoeficiència (D 21/2006).

Solució constructiva	Punts
Construcció de façana ventilada en l'orientació sud-oest ($\pm 90^\circ$):	5
Construcció de coberta ventilada.	5
Construcció de coberta enjardinada.	5
Utilització de sistemes preindustrialitzats, com a mínim, en el 80% de la superfície de l'estructura.	6
Utilització de sistemes preindustrialitzats, com a mínim, en el 80% de la superfície dels tancaments exteriors.	5
En el cas d'edificis d'habitatges, en què el 80% d'aquests rebin en l'obertura de la sala, 1 hora d'assolament directe entre les 10 i les 12 hores solars durant el solstici d'hivern.	5
Reduir el coeficient mitjà de transmissió tèrmica K_m dels diferents tancaments verticals exteriors en un 10% respecte al paràmetre fixat abans $0,70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.	4
Reduir el coeficient mitjà de transmissió tèrmica K_m dels diferents tancaments verticals exteriors en un 20% respecte al paràmetre fixat abans $0,70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.	6
Reduir el coeficient mitjà de transmissió tèrmica K_m dels diferents tancaments verticals exteriors en un 30% respecte al paràmetre fixat abans $0,70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.	8
Disposar d'un sistema de reaprofitament de les aigües pluvials de l'edifici.	5
Disposar d'un sistema de reaprofitament de les aigües grises i pluvials de l'edifici.	8
Utilització, com a mínim, d'un producte obtingut del reciclatge de residus (residus de la construcció, pneumàtics, residus d'escumes, etc.) per a subbases, paviments, panells aïllants i altres usos.	4
En cas que hi hagi una fase de demolició prèvia, reutilització dels residus petris generats en la construcció del nou edifici.	4
Que les diferents entitats privatives de l'edifici disposin d'una ventilació creuada natural.	6
Utilització d'energies renovables per a obtenir la climatització (calefacció i/o refrigeració) de l'edifici.	7
Enllumenat d'espais comunitaris o d'accés amb detectors de presència, sempre que al sistema d'enllumenat emprat no l'afecti l'encesa i apagada sovintejada.	3
Als edificis d'habitatges, quan les obertures dels tancaments exteriors, sobreexposats o exposats segons NRE-AT/87, i sense perjudici del que dictamina l'annex 9 de la Llei 16/2002, de 28 de juny, disposin de solucions de finestra, doble finestra o balconeres en què el conjunt (marcs + envidraments) tinguin un aïllament mínim a so aeri R de 28 dBA.	4
Als edificis d'habitatges, quan els elements horitzontals de separació de propietats o usuaris diferents, així com també les cobertes transitables, disposin de solucions constructives en què el nivell d'impacte normalitzat L_n en l'espai subjacent no sigui superior a 74 dBA.	5

El Decret d'ecoeficiència també estableix una aportació solar mínima (explicat a l'apartat "Energia Solar Tèrmica" del capítol 4), i defineix uns paràmetres d'ecoeficiència relatius als materials i sistemes constructius, dels quals s'ha d'obtenir una puntuació global mínima de 10 en la construcció de l'edifici, mitjançant la utilització d'alguna/es de les solucions constructives mostrades a la Taula 3.2.

3.4. Emplaçament de l'edifici

Els principals factors que influeixen en l'emplaçament d'una edificació poden ser geogràfics, climàtics o urbans.

3.4.1. Factors geogràfics

Els principals són la latitud i la topografia. De la latitud depèn la intensitat de la radiació solar. En la relació entre l'emplaçament i la topografia es poden distingir els aspectes següents respecte de les possibles col·locacions de la instal·lació esportiva:

- **En pla:** només influeixen microfactors (boscors, carrers, estanys, etc.).
- **En un cim:** és bo en climes temperats on el règim de vents no sigui especialment rigorós.
- **En una vall:** és una bona col·locació en zones de clima sec i càlid, car les valls són, en general, llocs ombrejats i humits. Es pot dir el mateix si l'edificació és emplaçada als vessants nord o llevant d'una muntanya.
- **En un vessant a ponent:** és una mala situació tant en climes càlids i secs com en climes freds, puix que gaudeix de poca insolació.
- **En un vessant a migdia:** és un lloc òptim per a climes temperats i freds, ja que rep radiació solar durant la major part del dia.

La proximitat de vegetació és també un paràmetre topogràfic a tenir en compte segons el tipus de clima. En zones temperades i fredes s'aconsella que hi hagi arbres de fulla caduca a la vora de l'edifici, ja que produeixen ombra a l'estiu i permeten l'entrada de radiació solar a l'hivern.

Per a tot tipus de situació climàtica, la vegetació protegeix dels vents fent que no toquin l'edifici amb tanta força i redueix, doncs, les pèrdues de calor per convecció en aquesta zona.

3.4.2. Factors climàtics

A l'Annex 2 es tracten els diferents climes que es donen a Catalunya així com els valors de les variables més importants que els caracteritzen.

En un mateix clima es poden donar zones concretes en què les condicions variïn en funció de paràmetres topogràfics, com les valls, les muntanyes, els boscors, els llacs, etc. En aquest cas es diu que s'estableix un microclima que ve determinat per:

- Intensitat de la radiació solar rebuda pel terra.
- Intensitat de la radiació d'ona llarga emesa pel terra que depèn de la transparència de l'atmosfera (boires, pol·lució, vegetació frondosa).
- Capacitat d'emmagatzematge tèrmic del terra. Si és gran, la calor rebuda durant el dia és tornada durant la nit, i no es produeix aquesta restitució si la capacitat és petita.
- Els moviments de l'aire, que depenen de la variació de la seva densitat.
- Les irregularitats del terreny, que produeixen diferents orientacions, inclinacions i temperatures per a una mateixa zona.

Taula 3 3. Influència qualitativa de factors en el microclima que afecten la instal·lació esportiva.

Tipus d'interior, tasca i activitat	Em (lux)	UGR	Ra	Observacions
Increment d'alçada	Disminució	Disminució	Increment	Increment
Proximitat d'una massa d'aigua	Disminució a l'estiu	Increment	Disminució	Increment
Proximitat d'una massa forestal	Increment a l'hivern	Increment	Disminució	Disminució
Ciutat	Disminució	Disminució	Disminució	Disminució per edificació irregular
Camp	Increment	Increment	Increment	Increment per edificis alineats
Emplaçament a vessant nord	Disminució	Increment	Disminució	Increment
Emplaçament a vessant sud	Disminució	Disminució	Increment	Increment dels vents fred
Emplaçament a vessant est	Increment	-	Increment al matí	-
Emplaçament a vessant oest	-	-	Disminució a la tarda	-
Emplaçament en una depressió	-	Increment	Disminució al matí	-
Sala dels quadres de comptadors	Disminució	22	Increment a la tarda	Disminució
Magatzems	100	25	Disminució	60

- L'existència de boscos redueix l'aportació de radiació i afavoreix l'evaporació. Durant la nit reté l'emissió de calor del terra, de manera que el microclima és fresc de nit i càlid de dia.

- L'existència de superfícies líquides que són sempre fredes. De dia, perquè reflecteixen part de la radiació incident i perquè s'hi produeix una gran evaporació, i de nit, perquè recullen les masses d'aire fred en estar situades normalment a les depressions.

3.4.3. Factors urbanístics

A les ciutats s'originen certes condicions que modifiquen el clima dominant i produeixen el microclima urbà.

Aquestes condicions són:

- El relleu del conjunt, que determina la situació de la capa límit dels vents de manera que, com més accidentat sigui, més disminueix la convecció a nivell del terra.

- La disposició de les edificacions. Les disposicions ben alineades afavoreixen la canalització dels vents i augmenten l'evaporació. Una disposició irregular actua de barrera contra els vents.

- Disminució de l'albedo (potència reflectora d'un cos il·luminat) a causa de la menor reflectància del terra i de la major emissivitat de calor, pel fet que tant les superfícies enquitranades com els edificis tenen una gran conductivitat. D'altra banda, la radiació es reflecteix successivament en les superfícies dels edificis i queda finalment atrapada a nivell del terra.

- La producció de calor per part de les indústries, els habitatges i les oficines.

- La mineralització del terra i la reducció de la coberta vegetal que alteren el balanç hídric.

La Taula 3 3 mostra qualitativament la incidència de factors en el microclima que afecta la instal·lació esportiva.



Figura 3 1. Façana sud del Pavelló Municipal de Montgat amb lames de protecció solar.

3.5. Consideracions arquitectòniques

El disseny de la instal·lació esportiva des del punt de vista d'orientació, forma, color i captació solar, ha de passar per una anàlisi de les condicions climàtiques exteriors que l'envolten, la qual permeti valorar i quantificar l'acció solar i del vent.

3.5.1. Orientació de l'edifici

La influència de l'exposició solar i dels vents sobre la instal·lació esportiva és més o menys gran en funció de l'orientació. Des del punt de vista d'exposició solar per a edificacions d'instal·lacions esportives en latituds com les que caracteritzen Catalunya, l'orientació ideal és la que ofereix l'eix principal d'est a oest.

3.5.2. Forma de l'edifici

L'anomenat factor de forma valora la morfologia de l'edifici. Aquest factor és la relació entre la suma de les superfícies dels elements de separació del tancament i el volum que tanquen.

$$F=S/V \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

En què:

S: suma de les superfícies que formen el tancament: les que estan en contacte amb l'aire exterior, les de separació amb altres edificis o locals no escalfats, el sostre o coberta, i les de separació amb el terreny (m²).

V: volum tancat per les esmentades superfícies (m³).

Quan la superfície exposada a l'exterior per un mateix volum és més petita o, en altres paraules, quan l'edifici és més compacte i, per tant, disposa d'un factor de forma més petit, és millor des del punt de vista energètic. Malgrat tot, en analitzar el factor de forma, s'ha de tenir en compte que aquests volums i formes geomètriques han de ser l'hàbitat d'activitats humanes, i això implica unes exigències pel que fa a la il·luminació natural i, per tant, uns condicionants mínims per al disseny d'obertures. S'ha d'adoptar, doncs, una solució intermèdia en què els volums dels edificis no siguin excessivament compactes, sinó la resultant de les accions tèrmiques, estètiques i d'il·luminació.

La forma òptima d'una instal·lació esportiva és la que comporta un forniment d'energia convencional mínim a l'hivern i que guanya un mínim de calor a l'estiu.

En aquest sentit, es pot afirmar que:

- La forma amb base quadrada no és l'òptima.
- Les formes allargades situades de nord a sud funcionen tant a l'estiu com a l'hivern pitjor que la forma quadrada.
- La forma òptima és, en tots els casos, l'allargada situada d'est a oest, car exposa la cara sud, més gran, a la màxima radiació solar durant l'hivern.

Les consideracions apuntades són totes relatives, malgrat que hi ha molts i diferents factors que incideixen sobre la forma que hauria de tenir l'edifici des del punt de vista energètic. Així, en funció del clima, es pot fer esment dels aspectes següents:

- **Clima fred:** edificis compactes, en aquest cas sí que és aconsellable la forma cúbica, perquè tanca un volum superior amb menys superfície.
- **Clima temperat:** formes allargades en direcció est-oest i amb plantes en forma de U, T, H, X, etc. D'aquesta manera, els perllongaments actuen com a aletes refrigèrants, creant ombres i patis.
- **Climes càlids i secs:** els edificis han de tancar-se cap a l'exterior i obrir-se interiorment amb patis ombrejats i humits.
- **Climes càlids i humits:** formes indiferents amb necessitat de grans obertures al nord, ben protegides del sol durant l'estiu. El confort, en aquest cas, s'aconsegueix mitjançant la ventilació.

S'evitaran les formes convexes i reflectants per les molèsties que poden ocasionar al veïnat.

3.5.3. Color de l'edifici

El color de l'edifici també té un efecte energètic i lumínic considerable.

A les zones càlides predominen els edificis construïts amb elements de colors naturals clars. Una paret blanca reflecteix més del 80 % de la radiació que emet el sol.

A les zones fredes, humides i amb poca insolació predominen materials de construcció foscos. Aquests colors foscos permeten que l'edifici capti entorn del 50 % de la radiació que incideix al seu damunt.

El color utilitzat en els paviments, coberta i paraments laterals condiciona en gran manera, el nivell lumínic de l'espai interior. Per a una bona il·luminació cal utilitzar colors clars i superfícies mats amb un bon factor de reflexió i evitar els tons foscos o brillants que produeixen reflexos molestos i redueixen el nivell lumínic.

3.5.4. Sistemes de captació solar passiva

En general, un sistema passiu de calefacció o refrigeració és el que l'efecte de calefacció o refrigeració s'obté i es distribueix dins l'edifici per mitjans naturals.

Les solucions arquitectòniques passives, que es poden aplicar en instal·lacions esportives, es poden agrupar en dos tipologies bàsiques de construcció: guany directe i guany separat.

Sistemes de guany directe

En els sistemes de guany directe, la radiació solar penetra directament a l'edifici. Durant el dia, la radiació solar entra a l'edifici a través de finestres i obertures i escalfa la massa tèrmica i l'aire interior. A la nit, s'aïllen tèrmicament finestres i obertures i la massa tèrmica cedeix la calor conservant les condicions de confort. La Figura 3 2 (dalt) mostra un esquema d'un sistema de guany directe.

El sistema està format per una considerable superfície envidrada orientada a sud, un voladís o un altre element de control solar i elements interiors d'emmagatzema

matge tèrmic. És un sistema d'alt rendiment energètic. L'energia solar captada per cada metre quadrat de finestra contribueix decisivament a la calefacció i il·luminació natural de la instal·lació esportiva.

Sistemes de guany separat

Són els sistemes en els quals la captació solar es produeix en un espai separat de l'edifici; l'exemple més representatiu són els hivernacles.

Un hivernacle és un espai acoblat a l'edifici amb guany directe de calor a través d'una gran vidriera orientada a sud (Figura 3.2, baix).

A causa de la considerable captació solar que aquesta superfície provoca, les temperatures diürnes que s'hi obtenen són elevades. La calor captada pot ser conduïda directament a qualsevol espai de l'edifici o ser emmagatzemada per quan no hi hagi sol. Alhora, l'hivernacle redueix les pèrdues de calor de l'edifici ja que actua com a espai tampó.

La transferència de calor entre edifici i hivernacle es pot realitzar per diferents mètodes: transmissió directa, convecció natural o forçada, conducció a través de les parets i convecció forçada de l'aire cap a un dipòsit de pedres.

3.5.5. Ventilació de l'edifici

Hi ha dos tipus de ventilació que es poden produir sense consum d'energia, la ventilació natural i la induïda.

Ventilació natural

És la forma d'entrada d'aire espontània a través de les obertures de l'edifici, aprofitant el gradient de pressions i diferència de temperatura que hi ha entre l'interior i l'exterior.

La forma més usual de crear moviment d'aire és obrir automàticament les finestres de l'edifici i permetre així que les brises hi penetrin. Cal evitar l'entrada de pols i brutícia que l'aire porta en suspensió i, d'altra banda, procurar que la velocitat de l'aire no sigui molesta per a l'individu, especialment en piscines cobertes.

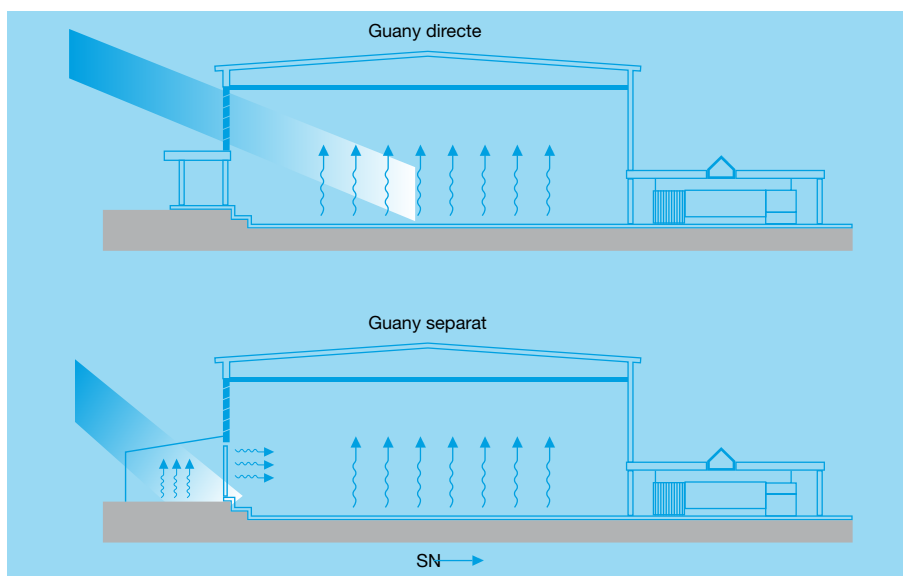
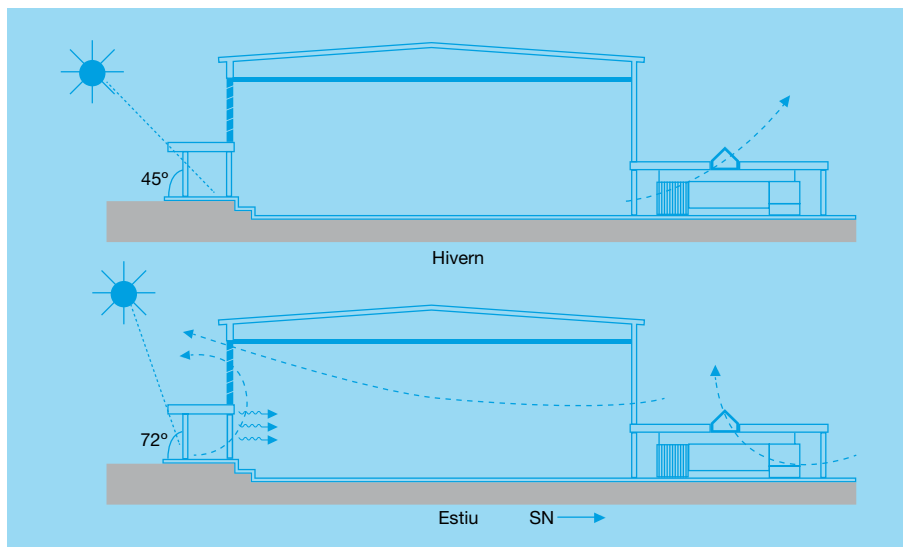


Figura 3.2. Sistema de captació solar passiu.

Figura 3.3. Ventilació transversal



Algunes mesures arquitectòniques per a optimitzar la ventilació natural són aquestes:

- S'han d'evitar els vents forts sempre; els febles poden contribuir a la ventilació natural durant l'estiu. Si es vol aprofitar el vent s'ha de disposar els murs obliquament respecte a la direcció preponderant.
- Disposar les obertures orientades a un vent sec per utilitzar l'evaporació com a medi de refrigeració.
- Situar les obertures a la part alta del recinte ja que és aquí on la velocitat del vent és més elevada.
- Afavorir l'entrada d'aire a través de les finestres creant una zona de sobrepressió davant seu.
- Dimensionar les obertures òptimament per deixar passar el cabal d'aire necessari, tenint en compte la climatologia del lloc.
- Disposar elements deflectors, que desviïn el corrent d'aire cap on sigui més favorable per a una bona ventilació.

Ventilació induïda

L'efecte d'estratificació de l'aire als edificis pot produir ventilació fins i tot quan el vent exterior és en calma. L'aire calent, de menys densitat, ocupa sempre les zones superiors d'una estança, mentre que l'aire més fred resta a nivell del terra. Practicant una obertura a la part superior de l'estança, l'aire calent tendirà a sortir i a ser substituït per aire fresc, que entrarà per una obertura baixa de la mateixa mida.

3.6. Inèrcia tèrmica

La capacitat que té un material per retenir part de l'energia que li arriba, és anomenada capacitat tèrmica i respon al producte de la massa del material per la seva calor específica. Quan la temperatura exterior disminueix, l'element acumulador comença a cedir en forma de calor l'energia emmagatzemada, de manera que el seu comportament s'oposa a la variació de la temperatura.

La inèrcia tèrmica és la quantitat d'energia que ha d'absorbir un edifici per aug-

mentar un grau la seva temperatura. Depèn de la capacitat tèrmica total de l'edificació i es mesura en $\text{kJ}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^3$. Aquesta inèrcia tèrmica, absorbint o cedint calor, aconsegueix unes condicions ambientals interiors més estables. Així, com més inèrcia tingui un edifici més costarà que disminueixi la temperatura interior davant una davallada de la temperatura exterior, o més trigarà a augmentar uns graus la temperatura del recinte davant un augment de la temperatura exterior.

Un edifici es comporta com un sistema dinàmic amb diferents fluxos de calor, els quals depenen de les temperatures locals dels materials que el componen. D'una banda, els murs exteriors estan sotmesos a les oscil·lacions de la temperatura exterior, que es propaguen a través seu amb un cert retard i esmorteïment.

En segon lloc, la massa interior actua atenuant les variacions de la temperatura de l'aire interior, cedint calor quan aquesta disminueix i absorbint-ne en cas contrari.

En el disseny del gruix dels murs és on s'ha d'aprofitar el retard de l'ona tèrmica. Un gruix adient permetrà que la calor captada durant el dia sigui cedida a l'edifici durant la nit. Així, per exemple, un mur de formigó de 30 cm de gruix, sotmès a oscil·lacions tèrmiques diàries, dona un retard de 9,3 hores i un esmorteïment de l'ona tèrmica fins al 9% del valor inicial. D'aquesta manera, si l'oscil·lació màxima de la temperatura exterior és de 10°C , l'oscil·lació màxima de la temperatura a la cara interna del mur és de $0,9^{\circ}\text{C}$.

Els murs d'inèrcia amb un gruix molt considerable són útils quan estan sotmesos a oscil·lacions tèrmiques de llargs períodes (setmanals o estacionals) i la variació aproximada i orientativa és:

- 40 cm de formigó: retard diari.
- 100 cm de formigó: retard setmanal.
- 200 cm de formigó: retard estacional.
- 400 cm de terra: retard estacional.

Interessa una elevada inèrcia tèrmica a les instal·lacions sotmeses a un règim regular d'utilització. En canvi, quan la instal·lació s'usa de manera eventual, el factor més important és la possibilitat d'adequar en poc temps les condicions ambientals, per això la inèrcia tèrmica és perjudicial, ja que obligaria a augmentar la quantitat d'energia necessària per a la calefacció.

Si es vol aconseguir una inèrcia tèrmica que funcioni bé, és important tenir en compte la disposició de l'aïllament tèrmic en el mur. Si està col·locat interiorment, la massa tèrmica no podrà absorbir l'energia que entri al local, de manera que es produirà un sobreescalfament i no hi haurà efecte d'inèrcia tèrmica. L'aïllament, doncs, ha d'estar situat exteriorment.

Es pot considerar en determinats casos el semi-soterrament de part de la instal·lació esportiva, per l'alt retard que ofereix, sempre que no superi els 4 metres.

3.7. Aïllament tèrmic

La pell d'una instal·lació esportiva que separa l'ambient on es practica l'esport del medi exterior, modifica l'efecte directe de les variables climatològiques sobre l'espai interior, de manera que actua com un operador ambiental que transforma la situació externa en la interna. Aquest embolcall es compon per materials opacs i transparents, i el seu efecte tèrmic depèn de gruixos, dimensions i propietats termofísiques.

La transferència de calor es fa mitjançant els processos de conducció, convecció, radiació i els que comporten un canvi de fase (condensació i evaporació). De les pèr-

dues totals de calor d'una instal·lació esportiva, les més importants són les que es produeixen a través de les finestres i la coberta.

La normativa aplicable quant a aïllament tèrmic és principalment el Codi Tècnic de l'Edificació en el seu document bàsic HE1 de limitació de la demanda tèrmica, i el Decret d'ecoeficiència, tal com s'explica a l'apartat 3.3. "Normativa sobre limitació de la demanda tèrmica i certificació energètica".

3.7.1. Materials d'aïllament

Els materials d'aïllament utilitzats més sovint, presenten poques diferències en el seu coeficient d'aïllament. La seva tria és més conseqüència del seu comportament davant la humitat, la radiació solar, les prestacions mecàniques, la solució constructiva, el sistema de muntatge i el seu cost.

Materials enrotllables

Els més coneguts són la fibra de vidre i la llana de roca, que es comercialitzen en rotlles de diverses amplades i gruixos, i poden portar incorporada una barrera anti-vapor. No són inflamables i tenen bones qualitats com a absorbents acústics.

Materials d'injecció

Es tracta generalment d'escumes com la d'urea-formol, limitada en alguns països per la possibilitat d'alliberar gasos tòxics per una incorrecta aplicació, i la de poliuretà que es projecta amb pistoles sobre la superfície. Aquestes escumes són inflamables (M4), i cal disposar-les a l'interior de cambres o en sandvitxos de planxes metàl·liques.

Altres materials d'injecció són també la fibra de vidre aglomerada i altres materials granulars, com ara boletes de poliestirè, de suro de vermiculita i d'altres.

Materials en forma de plaques

Els més utilitzats són el poliestirè (expandit o extrusionat) i el poliuretà. El poliuretà presenta una conductivitat més baixa que el poliestirè però té l'inconvenient de tenir un cost més elevat. Ambdós materials són inflamables i és per això que caldrà protegir-los. Presenten el desavantatge que es degraden amb facilitat. Presenten diferents densitats per tal de resistir els diferents esforços als quals poden ser sotmesos.

Altres materials que es poden trobar al mercat en forma de plaques són el vidre cel·lular, el suro aglomerat i la perlita expandida, utilitzada sobretot en l'aïllament de cobertes.

Materials granulars

Són materials com l'argila expandida que es presenta amb diferents diàmetres. La seva barreja amb el formigó o l'argila permet fabricar elements rígids de tancament aïllants, com blocs de formigó o plaques de formigó o rajoles de ceràmica.

Materials en forma de cilindres

Són fundes de material aïllant elàstic per al revestiment de canonades. Tenen diferents diàmetres interiors per tal d'ajustar-se i diferents gruixos per tal d'assolir un major o menor grau d'aïllament.

1 CTE-DB-SI: seguretat en cas d'incendi.

2 UNE 23727:1990 Assajos de reacció al foc dels materials de construcció. Classificació dels materials utilitzats en la construcció.

3.7.2. Disposició de l'aïllament i obertures

3.7.2.1. Tancaments opacs

Quan l'aïllant està situat a l'interior del mur, aquest embolcall aïllant es trenca per l'estructura dels forjats. Aquests punts sense aïllament o parcialment aïllats constitueixen els anomenats punts tèrmics (vegeu Figura 3.4), llocs preferents de pas del flux de calor. Aquests poden representar del 30% al 90% del total de pèrdues a través dels paraments, sobretot en edificis amb un bon grau d'aïllament.

Amb un aïllament exterior la capa d'aïllant pot ser contínua amb la qual cosa reduïm els punts tèrmics fins a només representar un 15 % del total de les pèrdues a través dels paraments. A més, amb un gruix inferior s'aconsegueixen els mateixos efectes que amb un gruix més gran d'aïllament interior.

La implantació de l'aïllament exterior és una millor solució ja que dota l'edifici d'inèrcia tèrmica, protegeix l'estructura, millora la impermeabilització i és senzilla de reparar. Tot i que el seu cost és superior, se'n garanteix l'amortització a curt termini.

3.7.2.2. Soleres

La millor solució per aïllar les soleres és disposar d'un aïllament perimetral. De les diferents solucions: aïllament vertical interior, aïllament vertical exterior i aïllament horitzontal (Figura 3.5). La solució més avantatjosa és la d'aïllament vertical

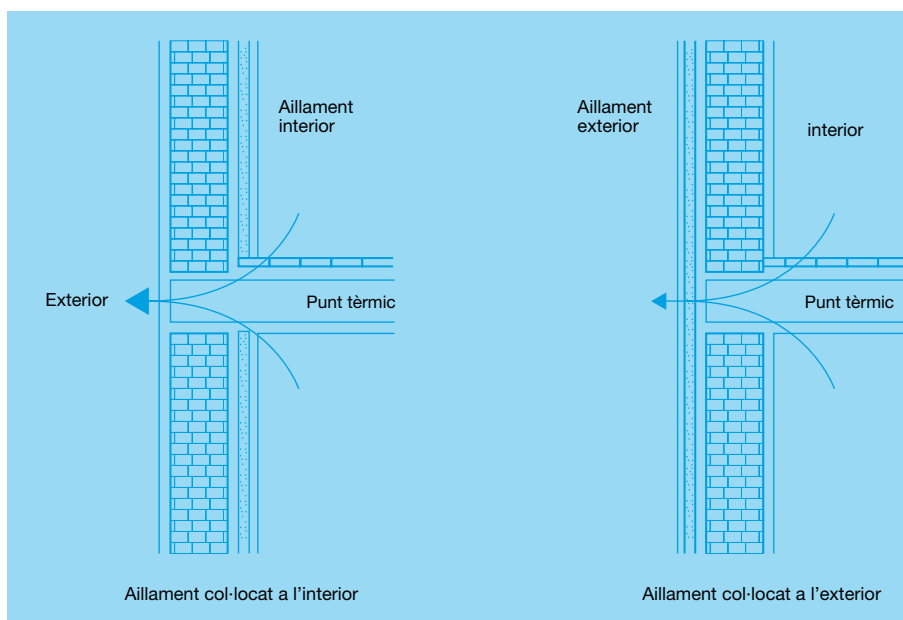
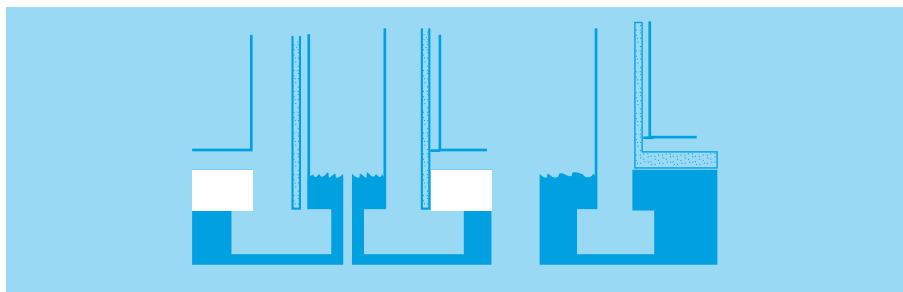


Figura 3 4. Col·locació de l'aïllament.

Figura 3 5. Diferents tipus d'aïllament perimetral.



exterior a causa de l'impediment de formar ponts tèrmics, i de la protecció dels fonaments al xoc tèrmic. És aconsellable disposar una cambra sanitària ventilada per l'aïllament que comporta i que es pot fer servir com a registre d'instal·lacions.

3.7.2.3 Obertures

En els climes temperats, el plantejament energètic del nombre, la mida i la distribució de les obertures d'un edifici, respon a una solució d'equilibri entre la tendència d'obtenir un alt percentatge d'obertura per gaudir de llum natural i guany tèrmic i la de reduir-la, per eliminar les pèrdues de calor i infiltracions que s'hi produeixen.

La utilització dels dobles vidres o materials equivalents d'envidrament, possibilita el fet de poder disposar de més superfície d'envidrament sense augmentar les pèrdues.

A més, la situació relativa de les esmentades obertures practicables (preferentment una d'alta i una de baixa) facilita les ventilacions naturals transversals.

La millor orientació de les obertures és la que rep la màxima quantitat de radiació solar a l'hivern i mínima a l'estiu (per evitar els sobreescalfaments).

Durant els mesos d'hivern, aproximadament el 90 % de l'energia solar incident arriba entre les 9 del matí i les 3 del migdia (hora solar). Convé, doncs, situar les obertures de l'edificació en aquesta àrea assolellada.

En observar el moviment relatiu del sol respecte a la terra es pot apuntar el següent:

- Sud: màxima radiació a l'hivern i mínima a l'estiu. A més, a causa de l'obliquïtat dels raigs solars que incideixen sobre aquesta cara, la transmissió del material translúcid disminueix. En els climes temperats és l'orientació òptima. Variacions de 30° cap a l'est o cap a l'oest no produeixen disminucions importants en la radiació solar rebuda.
- Nord: només hi entra el sol a l'estiu. A l'hivern, és una font de pèrdues sense guanys.
- Oest: el sol de tarda hi entra horitzontal. A l'estiu, quan no n'hi ha necessitat, és dolent. A l'hivern és de molt baix rendiment. És, quasi sempre, menyspreable.
- Est: el sol del matí hi entra horitzontal. És acceptable a l'hivern i a l'estiu.
- Coberta: poca radiació a l'hivern i molta a l'estiu. És molt poc aconsellable tèrmicament, ja que a la coberta és on hi ha més pèrdues, i en piscines provoca condensacions. D'altra banda és la millor manera d'il·luminar de manera natural, raó per la qual les lluernes s'han de construir amb solucions i execucions acurades.

A tall de conclusió, cal remarcar que, respecte al plantejament energètic, és preferible que les obertures se situïn al sud convenientment protegides, per afavorir els guanys tèrmics, i les que se situïn al nord (que aporten llum natural difusa) que s'aïllin correctament.

3.7.2.3.1. Materials

Com a materials d'obertures es presenten el vidre, el policarbonat i el metacrilat.

Vidre

Les vidrieres o finestres permeten aprofitar la llum natural, així com també l'energia solar, però presenten l'inconvenient que a través seu es produeixen grans pèrdues per transmissió de calor que cal evitar.

Utilitzant vidre doble amb cambra d'aire, les pèrdues per transmissió es redueixen a la meitat en relació a un vidre senzill. Si a la cambra d'aire s'introdueix un gas com l'argó, es disminueix sensiblement la conducció i s'assoleix un efecte de reflexió sobre la radiació de longitud d'ona llarga incident des de l'interior. Altres mesures per a fer disminuir el coeficient de transmissió del doble vidre són:

- Aplicar làmines de control solar.
- Fer un tractament en massa o superficial del vidre.

L'estalvi energètic aconseguit amb aquestes mesures pot ser tal que la reducció del flux que s'escapa pot arribar fins a un 70 % respecte a un vidre senzill amb un coeficient de transmissió de calor (K) de 5.6 W/m²°C, tal com es pot veure a la Taula 3.4.

Termoplàstics

Els materials termoplàstics més utilitzats com a materials d'envidrament són el policarbonat (massís o cel·lular) i el metacrilat. Presenten com a avantatge una bona resistència a la ruptura i una facilitat de maneig. Però tenen l'inconvenient de tenir una transmissió alta per a radiació d'energia de longitud d'ona llarga (calor radiada pels sistemes de calefacció) i una manca de resistència als ultraviolats (si no es disposa de làmines protectores). En aquest darrer sentit, les empreses del sector donen garanties de 10 anys per a aquest tipus de productes.

En les obertures és important també la utilització d'elements de tancament mòbils aïllants que permetin l'entrada de llum i calor durant el dia i impedeixin les fuites durant la nit.

Taula 3.4. Valors de K per a diferents tipus de vidre

	Espessor cambra (cm)	K (W/m ² °C)	Estalvi energètic
Vidre senzill	-	5,60	0%
Doble vidre	2	3,36	40%
	8	3,25	42%
	12	3,02	46%
Doble vidre Gas argó	2	2,76	51%
	8	2,65	53%
	12	2,4	57%
Doble vidre Low-E	2	2,55	55%
	8	2,20	60%
	12	1,74	70%
Policarbonat compacte	2	5,7	0%
	6	5,1	9%
Policarbonat cel·lular de doble paret	6	3,5	38%
	8	3,3	41%
	10	3	46%
Policarbonat cel·lular de triple paret	10	2,7	52%
Metacrilat compacte	3	5,5	2%
	5	5,2	7%
Metacrilat cel·lular de doble paret	16	2,9	48%
Metacrilat cel·lular de triple paret	32	1,6	71%

3.7.2.3.2 Control solar

En períodes de forta insolació, les obertures s'han de protegir per a evitar sobreescalfaments i la consegüent sensació de desconfort a l'usuari, i una càrrega addicional sobre el sistema de condicionament d'aire. El control solar consisteix en la limitació de l'entrada d'energia solar.

El control més eficaç el permeten els dispositius de pantalla exterior. S'han de dissenyar coneixent la posició del sol respecte a l'edifici durant les diferents èpoques de l'any.

Els esmentats dispositius de pantalla són controls negatius; és a dir, exclouen el sol. Es poden utilitzar elements ajustables, però són sempre cars. Això no obstant, els elements fixos poden ser dissenyats de manera que el seu rendiment sigui selectiu i deixin passar radiació quan sigui desitjable o n'impedeixin l'entrada quan es puguin provocar sobreescalfaments.

Tot seguit s'apunten diversos mètodes de control utilitzables.

Voladís

A la Figura 3.7 es pot veure un dispositiu de pantalla horitzontal sobre una vidriera encarada al sud. S'exclou el sol a l'estiu, quan és molt alt, però s'admet la radiació a l'hivern, quan el sol és en un angle baix.

Brisoleis

És un dispositiu format per un conjunt de lamel·les orientables i que, depenent de la posició del sol i de les necessitats interiors, s'orienten per deixar passar o no la radiació solar. A les obertures orientades a sud les lamel·les s'han de disposar horitzontalment mentre que a les obertures orientades a oest o est, cal situar-les verticalment.

Vidres reflectants i absorbents

Es poden utilitzar també vidres especials per al control. Els termoabsorbents que tenen propietats d'absorció selectiva, i els termorepellents que tenen propietats de reflexió selectiva.

En la construcció dels vidres absorbents s'hi addicionen òxids metàl·lics de manera que aquests absorbeixen la radiació solar i radien per ambdues superfícies. El que es pretén és que la majoria de radiació s'alliberi cap a l'exterior. D'aquesta manera només entra al local el 71% de l'energia que li arriba. Es potencia aquest efecte amb envidrament doble en què el vidre exterior és l'absorbent. Amb aquesta disposició, només entra al local un 49% de l'energia que li arriba.

Els vidres reflectants s'obtenen adherint a un vidre comú una pel·lícula d'òxid metàl·lic o un altre element reflectant. Així, el vidre incrementa el percentatge d'energia rebutjada i actua com a protector de l'energia solar. El més eficaç és posar la pel·lícula reflectora en la superfície exterior d'un vidre doble, aconseguint així, rebutjar fins a un 79 % de l'energia solar total.

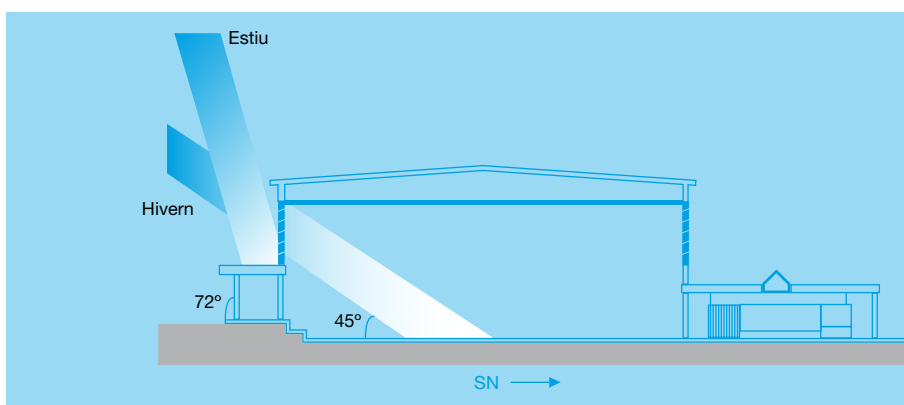
Altres

Altres mètodes de control són el desplegament de porticons d'aïllament mòbil, tendals, cortines, persianes interiors i exteriors, reflectors, arbres de fulla caduca, etc.



Figura 3.6. Esquerra: voladís amb lames de fusta a la Piscina Municipal de Castellar del Vallès... Dreta: voladís i lluernies al Pavelló Municipal de Banyoles.

Figura 3.7. Funcionament d'un voladís.



3.7.2.3.3 Entrades paràsites d'aire

Les infiltracions d'aire són una causa de pèrdues tèrmiques especialment a l'hivern, que cal controlar i minimitzar i depenen de la impermeabilitat dels tancaments, de l'orientació de les dependències, del règim de vents i de les bones o males pràctiques dels usuaris. Les infiltracions poden variar des de zero, en un dia amb temps tranquil a l'estiu, fins a diferents renovacions per hora, en un dia ventós de l'hivern.

La permeabilitat a l'aire d'una obertura és la capacitat de pas de l'aire a través dels bastiments quan hi ha una diferència de pressions entre l'interior i l'exterior. Aquesta permeabilitat s'expressa en m^3 d'aire/h m^2 de tancament.

Segons la permeabilitat a l'aire, els tancaments es classifiquen en les classes A-1, A-2, A-3 (de més a menys infiltracions). En conseqüència, la utilització de tancaments A-2 i A-3 ajudarà a fer disminuir les infiltracions.

Els tancaments d'alumini hauran de disposar de trencament del pont tèrmic.

El CTE HE estableix que a les zones climàtiques A i B la permeabilitat a l'aire serà inferior a $50 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ i per a les zones C, D i E, inferior a $27 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$. A.

Cal assegurar, però, un mínim d'infiltracions, per una qüestió de qualitat de l'aire interior. Això queda definit al CTE-HS, el qual fa referència a la UNE-EN 12207:2000 sobre permeabilitat a l'aire de finestres i portes.

Si no es disposa de l'anterior informació per estimar les infiltracions, es pot utilitzar el mètode de les esclatxes.

En l'equació 3.2 es mostra el cabal d'aire infiltrat en una dependència:

$$Q_f = (\sum f_i \cdot l_i) \cdot R \cdot H$$

En què, fi són els coeficients d'infiltració dels diferents tipus d'escletxa (Taula 3.5.); les Li, respectives longituds de les escletxes; R, un coeficient característic de la dependència que varia entre 0,7 i 0,9 i H, un coeficient característic de l'edifici.

El coeficient R, característic d'un local o dependència, té en compte que l'aire infiltrat per les diferents escletxes exteriors que estan sotmeses a l'aceró del vent, s'exfiltrarà a través de les escletxes exteriors situades a sotavent, o bé a través de les escletxes interiors del local.

El coeficient H característic de l'edifici depèn de la intensitat del vent, del tipus d'edificació i de la situació de l'edifici, tal com es mostra a la Taula 3.6.

Taula 3.5. Coeficients d'infiltració fi.

Taula 3.6. Coeficients H.

Coeficient infiltració (m³/h·m d'escletxa)		
Finestres de fusta o material plàstic	Vidre simple d'hermeticitat normal	3,0
	Vidre doble o vidre simple i finestra hermètica	2,5
	Vidre doble i finestra molt hermètica	2,0
	Doble finestra (ambdues amb hermeticitat normal)	1,9
	Doble finestra (una hermètica i l'altra normal)	1,7
	Doble finestra (ambdues hermètiques)	1,6
	Doble finestra (ambdues molt hermètiques)	1,3
Finestres metàl·liques	Vidre simple amb hermeticitat normal	2,55
	Vidre doble o vidre simple i finestra hermètica	2,20
	Vidre doble i finestra molt hermètica	1,74
	Doble finestra (ambdues amb hermeticitat normal)	5,7
	Doble finestra (una hermètica i l'altra normal)	5,1
	Doble finestra (ambdues hermètiques)	3,5
	Doble finestra (ambdues molt hermètiques)	3,3
Portes interiors ¹	No estanques	5,5
	Estanques	5,2
(¹) Les portes exteriors han de tractar-se com si es tractés de finestres		

Vent	Tipus d'edifici	Situació		
		Protegida	Exposats	Sobreexposats
Normal	Força plantes o una sola planta amb mitgeres	0,80	1,37	2,01
	Una sola planta sense mitgeres	1,14	1,97	2,81
Intens	Força plantes o una sola planta amb mitgeres	1,37	2,01	2,75
	Una sola planta sense mitgeres	1,94	2,81	3,78

Als accessos a la instal·lació esportiva, és important dissenyar-hi uns espais independents, comunicats tant amb l'interior com amb l'exterior mitjançant les respectives portes. Això impedeix que, cada vegada que algú entra o surt s'origini un corrent d'aire directe des del volum escalfat cap a l'ambient extern. D'aquesta manera, es redueixen considerablement les infiltracions paràsites d'aire degudes a les entrades i sortides de gent que constantment es produeixen en la instal·lació esportiva. L'entrada ha d'ésser orientada lluny de la direcció del vent dominant durant l'hivern, o bé dissenyar un element tallavents.

A més, el RITE especifica que els edificis i locals amb accés des del carrer han de disposar d'un sistema de tancament de portes adequat, el qual podrà consistir en un senzill braç de tancament automàtic de les portes, amb la finalitat d'impedir que aquestes romanguin obertes permanentment, amb el consegüent malbaratament energètic per les pèrdues d'energia a l'exterior. Quan es produeix aquest malbaratament, cal que els sistemes de calefacció i refrigeració generin calor i fred consumint energia convencional.

3.8. La condensació

El vapor d'aigua contingut en l'aire d'un local es condensa en els punts dels tancaments quan la temperatura d'aquests és inferior a la temperatura de rosada de l'ambient.

A l'interior d'una instal·lació esportiva hi ha diverses fonts d'humitat, és a dir, mecanismes pels quals s'incrementa la quantitat de vapor d'aigua a l'aire ambient, com ara l'evaporació de l'aigua calenta sanitària, de l'aigua del vas de la piscina i de la mateixa sudoració del metabolisme humà.

La condensació és perjudicial tant des del punt de vista constructiu, ja que malmet els materials, com des del punt de vista energètic, ja que fa augmentar la transmissió de calor dels materials.

És sobretot a les piscines cobertes i vestuaris on s'han de prendre mesures especials en el sentit esmentat car, en aquest tipus d'instal·lacions esportives, la làmina d'aigua genera un gran cabal de vapor d'una manera constant.

Hi ha dos tipus de condensació: la condensació superficial i la intersticial. La condensació superficial consisteix en la condensació sobre les superfícies del tancament, un fenomen que succeeix quan la temperatura d'aquestes superfícies és inferior a la temperatura de rosada de l'ambient. La condensació intersticial es produeix quan, amb la difusió del vapor d'aigua a través dels elements constructius, la temperatura en algun punt intern és inferior a la de rosada de l'aire del local.

Com a prevenció de la condensació superficial es pot millorar l'aïllament tèrmic del tancament.

Els vidres també hauran d'incorporar mesures per a reduir el coeficient de transmissió de calor K com són la cambra d'aire, el tractament superficial o els tancaments aïllants.

Una altra solució és renovar l'aire humit per aire sec procedent de l'exterior. Aquesta mesura comporta una despesa important d'energia en els locals on cal calefatar l'aire abans d'introduir-lo.

La impulsió d'aire calent es pot dirigir cap a la superfície on es produeix la condensació, de manera que aquesta quedi impedita. És molt aconsellable aplicar aquesta mesura quan ens trobem amb grans vidrieres.

Figura 3.8. Pavelló poliesportiu de la Secretaria General de l'Esport.



Taula 3.7. Resistències al vapor de materials laminars. Font: Estalvi d'energia en instal·lacions esportives; Albert Mitjà i Albert Girbal; Generalitat de Catalunya. 1983.

Materials	RV (MN·s/g)
Full d'alumini de 8 micres	4.000
Làmina de polietilè de 0,05 mm	103
Làmina de polietilè de 0,10 mm	230
Làmina de polièster de 25 micres	24
Paper Kraft amb oxiasfalt	9,7
Paper Kraft	0,43
Pintura a l'esfalt	7,5 – 40
Paper vinílic de revestiment	5 - 10

En locals amb molta humitat com els vestuaris, sanitaris, piscines cobertes i sales de musculació cal posar un revestiment impermeable i aparells deshumectadors.

Amb relació a la condensació intersticial, s'ha de remarcar que a les dependències esportives on l'ambient interior presenta humitats molt elevades, cal considerar la col·locació de barreres de vapor a l'interior dels elements que formen el tancament i impedir, d'aquesta manera, el pas del vapor. Aquestes barreres han de situar-se sempre a la part calenta del tancament, car la pressió de vapor és més gran en aquesta zona.

Es pot considerar barrera de vapor el material laminar que disposi d'una resistència al vapor d'aigua entre 10 i 230 MN·s/g. A la Taula 3.7 es poden veure els valors de RV (resistència al vapor) d'un grup de materials.

L'aïllament del terra és necessari ja que sovint la condensació a l'interior dels paraments és afavorida per la presència, en el mateix parament, de l'aigua que, per efecte de capil·laritat ascendeix des dels fonaments. Per tal d'evitar aquest fenomen cal aïllar totalment els murs de l'edifici del terra.

El CTE estableix límits a la condensació que pugui aparèixer a l'envolupant de l'edifici, de tal manera que evitin la formació de fongs a la seva superfície interior.

Per això, a les superfícies interiors dels tancaments que puguin absorbir aigua o susceptibles de degradar-se, i especialment als ponts tèrmics dels mateixos tancaments, la humitat relativa mensual serà inferior al 80%.

Les condensacions intersticials que es produeixen als tancaments i particions interiors que componen l'envolupant tèrmica de l'edifici seran tals que no produeixin una minva significativa en les seves prestacions tèrmiques o representin un risc de degradació o pèrdua de la seva vida útil.

A més, la màxima condensació acumulada en cada període anual no serà superior a la quantitat d'evaporació possible en el mateix període.

3.9. Il·luminació natural

El grau d'il·luminació natural és molt variable i difícil de predir perquè depèn de les condicions atmosfèriques. Tot i així, amb un acurat disseny arquitectònic i artificial, es pot maximitzar aquest aprofitament d'un recinte. Caldrà preveure problemes per les excessives pèrdues, l'envelliment del mobiliari pels rajos ultraviolats i valorar la privacitat de l'activitat que s'hi du a terme.

Cal remarcar des del punt de vista tèrmic que el fet de disposar de massa superfície vidriada (o d'altres materials transparents o translúcids), d'utilitzar un material inadequat o de col·locar-lo en un lloc equivocat, produirà uns excessius guanys o pèrdues de calor que caldrà compensar per la instal·lació de climatització. Per contra, si es minimitza la superfície vidriada, a part del desconfort que es genera en l'usuari per la sensació de no poder-se interrelacionar amb l'exterior, s'augmenta la despesa d'il·luminació.

És per això que, per a obtenir una bona relació entre el confort visual i el tèrmic, és fonamental plantejar-se en el naixement del projecte la correcta orientació de l'edifici, el percentatge ideal d'envidrament, les proteccions solars (Figura 3 10), l'aïllament nocturn...

3.9.1. Factor de llum diürna

El paràmetre que millor caracteritza la il·luminació natural d'un local és el factor de llum diürna (FLD) expressat en percentatge. El factor de llum diürna en qualsevol punt del pla de treball, es calcula a partir de la llum directa que rep de l'atmosfera i dels components que li arriben de les reflexions exteriors (edificis o objectes que estan a l'exterior de la dependència) i reflexions interiors del recinte.

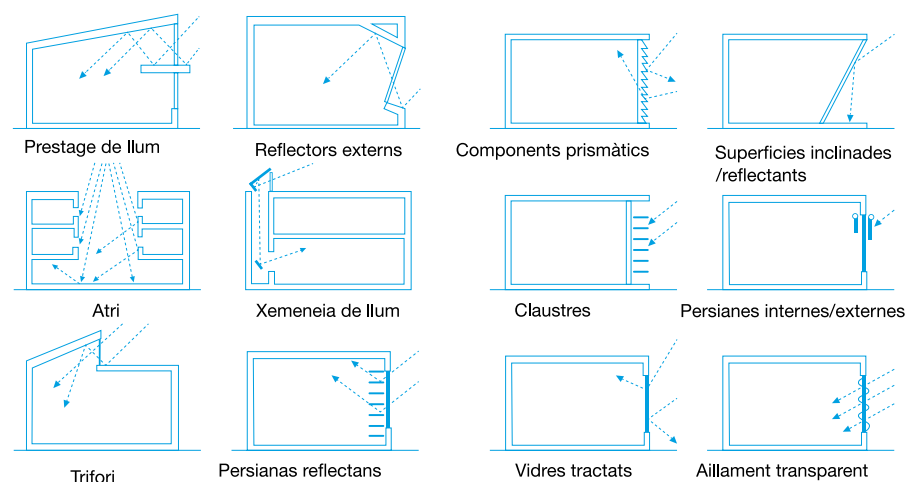


Figura 3 10. Solucions de protecció solar i il·luminació natural.

Per exemple, si es disposa d'un nivell d'il·luminació exterior de 20.000 lux (a les 12 del migdia a l'estiu es poden donar valors de 30.000 lux i a l'hivern de 10.000 lux) i resulta que, en un punt interior, es disposa d'un FLD del 2 %, vol dir que la il·luminació natural que arriba a aquest punt, gràcies als tres components abans citats, és de 400 lux. A la Figura 3.11 es representa la variació del FLD en funció de l'allunyament de la superfície captadora de llum diürna

La distribució de la llum en un edifici depèn de la dimensió i la geometria de les sales, la mida i col·locació de les finestres i les ombres que procedeixen de l'exterior; així com de les característiques de la superfície captadora de llum i del grau de reflexió de les superfícies interiors.

Per a fer un disseny correcte, s'ha de partir dels punts que seran el pla de treball, en aquest cas l'espai esportiu, i per una il·luminació exterior previsible, imposar un percentatge de FLD i d'aquí deduir les dimensions i col·locació de les obertures. Per a instal·lacions esportives es recomana garantir un FLD d'un 2 %, mai inferior a l'1,5 %, ja que a partir d'aquí caldrà posar enllumenat artificial.

Així, en un punt per a garantir un FLD es necessitarà una superfície d'obertura (S) segons es calcula en l'equació 3.3.

$$S_o = S_t \cdot (1 - \rho^2) \cdot \text{FLD} / \tau \cdot \theta$$

En què:

S_o : superfície necessària d'obertures (m^2).

S_t : superfície total de la dependència: terra, portes, finestres i sostre (m^2).

ρ : grau mitjà de reflexió de les superfícies interiors.

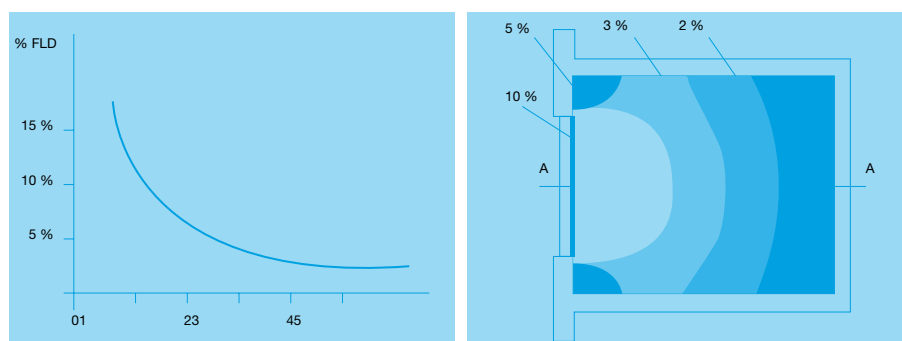
FLD: factor de llum diürna en percentatge.

τ : factor de transmissió de l'obertura (vegeu la Taula 3.8).

θ : és l'angle visible del cel del pla de la finestra, a la meitat d'aquesta, tal com es veu a la Figura 3.12.

Per afavorir una agradable transició dels usuaris (des del punt de vista d'adaptació de la pupila) de l'interior a l'exterior, o a l'inrevés, és convenient que s'aprofiti la il·luminació natural i que la il·luminació general augmenti de dia i disminueixi de nit, amb sistemes que permetin la regulació de la lluminositat o per l'existència de diferents circuits.

Figura 3.11. Valoració del FLD en funció de l'allunyament de l'obertura.



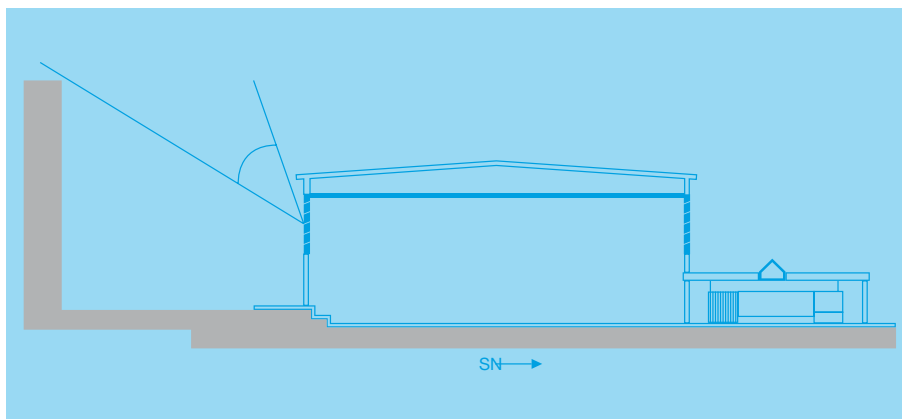


Figura 3.12. Determinació de l'angle θ .

Taula 3.8. Factor de transmissió, reflexió i absorció per diferents superfícies transparents i translúcides, quan el raig lluminós hi incideix perpendicularment. Font: La lumière du jour dans les espaces intérieurs. Association Française de l'éclairage, Editions lux. 1983.

	Transmissió	Reflexió	Absorció
Vidre 3 mm	0,91	0,08	0,01
Vidre 6 mm	0,89	0,08	0,03
Vidre gris 6 mm	0,56	0,05	0,39
Doble vidre	0,82	0,15	0,03
Metacrilat transparent 3 mm	0,90	0,08	0,02
Metacrilat translúcid 3 mm	0,61	0,25	0,15
Fibra de polièster	0,88	0,10	0,02



4. Tecnologies d'ús racional de l'energia

4.1. Equips productors de calor convencionals

Tot i que una instal·lació ben concebuda arquitectònicament pot proveir una part de les necessitats de confort tèrmic, de qualitat de l'aire i d'il·luminació d'una manera natural, calen instal·lacions que complementin o generin les necessitats energètiques de la manera més eficient possible, tecnologies que seran explicades en aquest capítol.

4.1.1. Caldera

La caldera és l'element emprat usualment per a proporcionar la calefacció de les instal·lacions esportives i l'aigua calenta sanitària.

4.1.1.1. Rendiment instantani i estacional

L'eficiència de la caldera es pot definir emprant diversos rendiments, els més importants són: el rendiment instantani i el rendiment estacional.

Per a poder-los identificar és necessari conèixer els conceptes següents:

- **Potència nominal d'una caldera:** és la potència calorífica màxima que pot aportar el combustible que es crema al cremador.
- **Potència útil:** és la potència tèrmica màxima que pot absorbir l'aigua, i respon al producte del cabal de l'aigua per la seva calor específica i pel diferencial de temperatura entre la sortida i l'entrada de la caldera.

La potència útil sempre és inferior a la potència nominal, ja que a la combustió, una part de l'energia que pot alliberar el combustible, es perd.

Les diferents pèrdues de calor que es produeixen durant el funcionament de la caldera són:

- Pèrdues per la xemeneia (per calor sensible i latent dels fums, i per incremats).
- Pèrdues per radiació, convecció i transmissió de la caldera amb el seu entorn.

D'aquestes pèrdues les més importants són les primeres i depenen essencialment del percentatge de CO_2 i de la temperatura dels fums a la xemeneia. Es poden intentar disminuir aquestes pèrdues, ajustant el cremador a l'excés d'aire òptim en funció del tipus de combustible i disminuint tant com es pugui la temperatura de sortida de fums (sempre que el tiratge de la xemeneia sigui el necessari i evitant que es produeixin condensacions de vapor). Tanmateix, és molt convenient adaptar el cremador recomanat pel fabricant de la caldera, atès que l'eficiència òptima de la caldera s'aconsegueix amb un cremador fixat.

Les pèrdues de la caldera amb l'entorn depenen del tipus i dimensió de la caldera, de l'aïllament i també de la seva temperatura; per tant, com més baixa sigui aquesta, més petites seran les pèrdues (Figura 4.2).

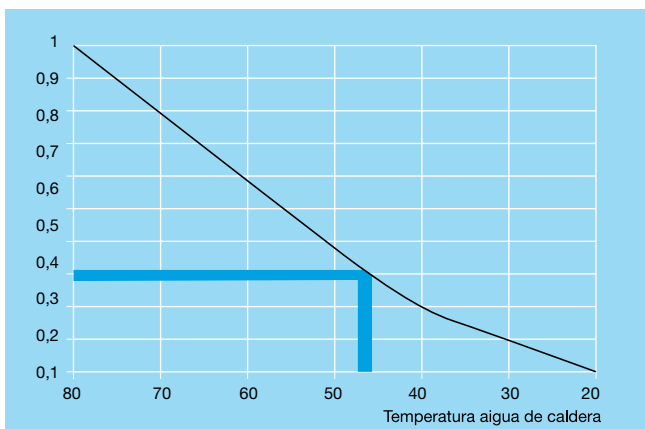


Figura 4.1. Calderes d'alt rendiment a l'IN-EFC de Barcelona.

Figura 4.2. Relació entre les pèrdues per radiació i convecció i la temperatura de servei per a calderes d'alt rendiment. Font: Calderas de baja temperatura; Nieto Berdote, Pedro; Revista "Montajes e instalaciones"; 1994.

Rendiment instantani de la caldera

És el rendiment puntual en les condicions nominals de funcionament. Ve donat per la relació entre la potència útil (és a dir, la potència nominal, menys totes les pèrdues abans esmentades) i la potència nominal.

$$n_i = P_U / P_N$$

En què:

n_i : rendiment instantani.

P_U : potència útil (kW).

P_N : potència nominal (kW).

Però, a part de les pèrdues anteriors que depenen únicament de la caldera, s'han de considerar les pèrdues que es produeixen durant el servei de la caldera:

• Amb la caldera funcionant:

Pèrdues en canonades.

Pèrdues degudes a la regulació.

Pèrdues degudes a l'equilibrat.

• Amb la caldera parada per termòstat:

Pèrdues en canonades.

Pèrdues de la caldera amb el seu entorn.

Pèrdues per refredament de la caldera en circular aire pel circuit de fums.

A causa d'aquestes pèrdues és necessari considerar un altre tipus de rendiment que tinguin en compte no solament l'eficiència de la caldera, sinó que prevegi també la forma com s'utilitza.

Rendiment estacional

És el que realment s'obté d'un generador en una temporada. És inferior a l'instantani, i hi influeix molt el nombre d'engegades i parades del cremador, així com les hores de funcionament.

$$n_e = n_i / 1 + (1/\phi - 1) \cdot qB$$

En què:

n_e : rendiment estacional.

n_i : rendiment instantani.

ϕ : hores de servei de cremador dividit per les hores de disposició del servei de la caldera.

qB : pèrdua mitjana per radiació i convecció.

Expressió que indica la importància de disposar d'un bon rendiment instantani i també d'ajustar les potències de producció a les càrregues de demanda, establint els esglaons de potència (nombre de calderes i nombre de marxés dels cremadors) necessaris per a obtenir un funcionament continu dels cremadors.

Per tant, es veu que el rendiment estacional, que és el que interessa amb vista al consum total de combustible, depèn del rendiment instantani, és a dir, com més baixes siguin les temperatures de sortida de fums de la caldera, de l'aigua de la caldera i de l'aigua de retorn a la caldera, més gran serà aquest rendiment; i, a més, el rendiment estacional depèn també de com es fa funcionar la caldera, és a dir, del repartiment de les càrregues amb el temps i per això, segons el tipus de caldera, interessarà més una distribució o una altra.

4.1.1.2. Tipus de calderes

Les calderes es classifiquen en:

- **Caldera estàndard o convencional:** no està dissenyada per a suportar les condensacions del vapor d'aigua dels fums de combustió, i per tant, ha de treballar amb temperatures de retorn de l'aigua per sobre de les temperatures que poden ocasionar problemes. Això vol dir entre 50°C 170°C depenent del combustible emprat.

De calderes estàndard se'n poden distingir de dos tipus: les d'eficiència normal que treballen amb temperatures de fums inferiors a 240°C i les de més eficiència, amb temperatures de fum més baixes, que poden arribar a estar per sota dels 140°C sense possibilitat de produir-se condensacions.

- **Caldera de baixa temperatura:** pot funcionar continuament amb una temperatura d'aigua d'alimentació entre els 35°C i 40°C. Això s'assoleix amb el disseny dels tubs de fums (doble o triple paret) mantenint-se la temperatura al costat dels fums per sobre del punt de rosada. S'ha d'assenyalar que, en determinades condicions, pot presentar condensacions.

La seva principal aplicació és en instal·lacions que puguin treballar un elevat nombre d'hores a temperatures baixes. D'aquesta manera, les temperatures de l'aigua de la caldera i la dels fums són inferiors i el rendiment de generació estacional augmenta.

- **Caldera de condensació:** està construïda amb material que suporta les condensacions i està dissenyada per a poder condensar de manera permanent una part important del vapor d'aigua que contenen els gasos de combustió, amb la qual cosa s'aprofita la calor latent de vaporització i fa que augmenti el rendiment. En altres paraules, les calderes convencionals i de baixa temperatura poden aprofitar fins el PCI (poder calorífic inferior), mentre que les de condensació poden fer-ho fins el PCS (poder calorífic superior).

El gas natural és el més adequat per a ser utilitzat en calderes de condensació, ja que del procés de condensació es pot recuperar una gran quantitat de calor sense problemes greus per formació d'àcids.

A causa del seu pH àcid (de 3 a 4), a l'aigua de condensació s'hi ha d'instal·lar un filtre bàsic (per exemple, hidròxid de magnesi) per a neutralitzar-la abans de llençar-la al clavegueram.

El Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis (RITE) estableix els rendiments instantanis mínims exigibles a la potència nominal i a una càrrega parcial del 30 % de la nominal. Els fabricants han de garantir aquests valors de rendiments (Taula 4.1) per a totes les calderes noves d'aigua calenta alimentades amb combustibles líquids o gasosos amb potències nominals compreses entre 4 i 400 kW, ambdós valors inclosos. Les calderes de potència superior als 400 kW hauran de disposar d'un rendiment igual o superior a l'exigit per les calderes de 400 kW.

A la Taula 4.2 es mostra el valor de rendiment mínim instantani per a 4 potències diferents compreses entre 70 i 300 kW.

En els darrers anys s'utilitzava un sistema d'identificació basat en estrelles per a caracteritzar el rendiment energètic en una mateixa família (estàndard, baixa temperatura i condensació). Actualment aquest sistema no s'utilitza, però encara es pot trobar en alguns catàlegs de proveïdors. Aquest sistema classificava les calderes amb rendiments creixents d'una estrella a quatre. Actualment s'ha de complir amb el marcatge "CE" assegurant els rendiments mínims segons tipus de caldera. Aquesta nova normativa ja ha exclòs la utilització de les calderes amb una estrella i està previst que ho faci amb les de dues estrelles l'any 2012.

La utilització de combustibles sòlids d'origen fòssil està prohibida a les instal·lacions tèrmiques dels edificis a partir de l'1 de gener de 2012.

Actualment, en instal·lacions esportives, la pràctica habitual és la d'instal·lar calderes de baixa temperatura o de condensació enlloc de calderes estàndard. Alguns proveïdors, de fet, ja no subministren calderes estàndard de les potències citades a la Taula 4.2.

Taula 4.1. Rendiments instantanis mínims exigits per la Directiva Europea 2008/28/CE i RITE.

Tipus de caldera	Rendiment a potència nominal		Rendiment a càrrega parcial (30%)	
	Temperatura mitjana de l'aigua a la caldera (°C)	Expressió del requisit de rendiment (%)	Temperatura mitjana de l'aigua a la caldera (°C)	Expressió del requisit de rendiment (%)
Calderes estàndard (a partir de l'1 de gener 2010)	70	$\geq 84 + 2 \cdot \log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3 \cdot \log P_n$
Calderes estàndard (a partir de l'1 de gener 2012)	70	$\geq 87 + 2 \cdot \log P_n$	≥ 50	$\geq 83 + 3 \cdot \log P_n$
Calderes de baixa temperatura ¹	70	$\geq 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$	40	$\geq 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$
Calderes de gas de condensació	70	$\geq 91 + 1 \cdot \log P_n$	30 ²	$\geq 97 + 1 \cdot \log P_n$

Taula 4.2. Rendiments instantanis mínims exigits per a diferents potències. Font: elaboració pròpia a partir de la Directiva Europea 2008/28/CE i RITE.

Tipus de caldera	70 kW		100 kW		200 kW		300 kW	
	30%	100%	30%	100%	30%	100%	30%	100%
Calderes estàndard (a partir de l'1 de gener 2010)	85,54	87,69	86,00	88,00	86,90	88,60	87,43	88,95
Calderes estàndard (a partir de l'1 de gener 2012)	88,54	90,69	89,00	91,00	89,90	91,60	90,43	91,95
Calderes de baixa temperatura ¹	90,27	90,27	90,50	90,50	90,95	90,95	91,22	91,22
Calderes de gas de condensació ²	98,85	92,85	99,00	93,00	99,30	93,30	99,48	93,48

1 Incloses les calderes de condensació que utilitzen combustibles líquids.

2 Temperatura de l'aigua d'alimentació de la caldera.

En el cas de generadors de calor que utilitzin biomassa, el rendiment mínim instantani exigible a plena càrrega serà del 75%. A l'apartat "4.4. Ús de la biomassa sòlida", s'explica més detalladament aquesta tecnologia.

El manteniment de la temperatura de la caldera obliga a fer arrencades i aturades del cremador. Aquestes són més freqüents en el cas de la caldera convencional que en el de les calderes d'alt rendiment, ja que aquestes últimes poden treballar amb temperatures més baixes.

La càrrega es defineix com la relació entre el nombre d'hores que funciona el cremador per a produir la calor útil necessària i el nombre total d'hores que funciona el cremador durant aquest període.

Quan el generador també subministri calor per a l'aigua calenta sanitària, la relació entre la potència màxima demandada per aquest servei i la potència de la caldera de menor potència de la central tèrmica es recomana que sigui més gran que:

- 0,85, si s'utilitzen calderes estàndard,
- 0,25, si s'utilitzen calderes d'alt rendiment.

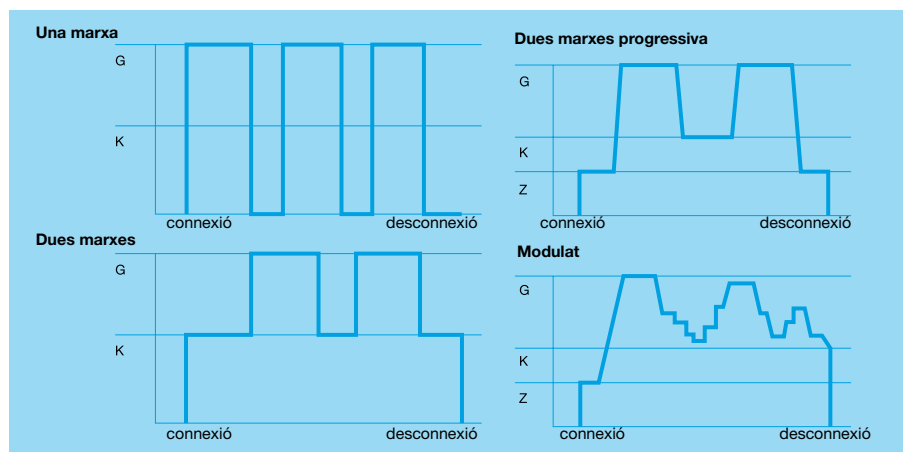
La qual cosa significa que la caldera de mínima potència, en el cas de ser d'alt rendiment, disposarà de més del triple de potència en relació amb una d'estàndard, un fet que afavoreix la reducció d'equips necessaris.

Com ja s'ha comentat és important que el sistema generador de calor s'adapti a les variacions que es produeixen en la demanda. Ja sigui durant les diferents hores del dia o bé al llarg de l'any, de manera que la producció de calor es realitzi durant tant de temps com sigui possible amb un rendiment proper al màxim que es pot aconseguir. És per això necessari disposar de cremadors amb esglaonament de potència, o de generadors en nombre i potència adients a la demanda d'energia tèrmica necessària. En aquest sentit, el RITE fixa que les centrals de producció de calor amb una potència superior a 400 kW hauran de disposar de dos o més generadors. En tots

Taula 4.3. Tipus de regulació del cremador.
Font: Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis (RITE). 2009

Figura 4.3. Tipus de regulació dels cremadors.

Potència tèrmica nominal del generador de calor (kW)	Regulació mínima
$P \leq 70$	Una marxa
$70 < P \leq 400$	Dues marxes
$400 < P$	Tres marxes o modulant



els casos, el projectista haurà d'analitzar el nombre de generadors necessaris, segons el perfil de modulació de la demanda prevista i podrà adoptar una solució diferent a la tipificada sempre que ho justifiqui tècnicament i econòmicament, com succeirà, per exemple, quan s'utilitzin calderes d'alt rendiment.

Els cremadors, segons el mode de funcionament, poden ser d'una marxa, de dues marxas, de tres marxas o modulants. El tipus de regulació serà, com a mínim, el que apareix a la Taula 4.3.

El cremador de tres marxas s'aplica només en el cas d'utilitzar com a combustible el gasoil, mentre que el de dues marxas pot ser progressiu per al cas de gas natural. A la Figura 4.3 es veu el principi de regulació de la potència del cremador en funció dels diferents tipus de funcionament.

La importància dels diferents esglaons de potència dels cremadors, des del punt de vista energètic, rau en el fet que durant les parades, mentre la caldera continua en disposició de servei, les pèrdues en l'envoltant de la caldera perduren, unes pèrdues que seran compensades en l'arrencada següent amb el consegüent sobreconsum de combustible. A més, cada vegada que el cremador rep l'ordre d'encendre, primer realitza un cicle d'escombratge que té com a conseqüència un refredament intern de la caldera, i augmenta també el consum de combustible. L'encesa per etapes afavoreix també que la cambra de combustió no es vegi sotmesa a tanta tensió i redueix també el nivell sonor.

Amb relació a si les calderes han de ser pressuritzades o atmosfèriques, el RITE va prohibir la instal·lació de calderes individuals a gas de tipus atmosfèric a partir de l'1 de gener de 2010.

En el cas d'un funcionament de manera constant, sense massa aturades o si les seves condicions de funcionament no depenen de la temperatura exterior (per exemple en el cas d'utilització per a escalfar el vas d'una piscina), les calderes convencionals donen un bon rendiment.

Si funciona amb moltes intermitències i/o el seu funcionament depèn molt de la temperatura exterior (vas de la piscina més calefacció del recinte) és millor pensar en calderes d'alt rendiment.

Si la demanda d'ACS és important, la utilització de calderes convencionals ens pot obligar a tenir dues calderes: una per a ACS i l'altra per a calefacció, mentre que si es decideix per a una caldera d'alt rendiment, n'hi haurà prou amb una. S'han de considerar també les exigències mínimes d'aportació d'energia solar, renovable o d'energia residual establertes pel CTE-HE4 (més informació a l'apartat "4.3. Energia solar tèrmica").

Val la pena fer esment que la importància de l'elecció d'una bona caldera, no és suficient si no es tria la potència correcta o el seu funcionament no s'optimitza. Per tant, s'han de tenir en compte alguns consells:

- Primerament, s'ha de saber quin combustible es pot elegir (gas natural, GLP, gasoil, etc.).
- És convenient identificar i estudiar acuradament el règim de funcionament que tindrà la caldera, en funció de les diferents activitats (tant de calefacció com d'ACS).
- Val la pena considerar l'interès de separar la calefacció de l'ACS per a garantir el seu servei independentment (avaries, funcionament a l'estiu, etc.).
- Considerar les possibilitats de segmentació en calefacció (tant per ubicació com per hores).
- Seleccionar l'equip generador més adient (considerant la normativa).

- Si la potència de l'equip és molt gran, pot resultar convenient descentralitzar per a cobrir les diferents necessitats (per vas de piscina, per ACS, per calefacció, etc.).
- Pot ser interessant produir l'ACS amb una caldera petita i acumular-la quan no funcionin les instal·lacions.
- La disponibilitat d'espais pot ser determinant a l'hora de decidir el fraccionament de potències o l'acumulació.
- El manteniment preventiu és fonamental; per tant, es controlarà la combustió (composició i temperatura dels fums), es farà la neteja periòdica (cambra de combustió i passos de fums) especialment en el cas de combustible líquid, i es controlaran els aïllaments de les canonades (sobretot en cas de grans llargàries).
- Adoptar una regulació adient, ajustant les temperatures de confort.

4.1.1.3. Regulació i control

Antigament, la regulació del circuit d'aigua es realitzava mitjançant un termòstat a la impulsió, comportant-se com un sistema de tot o res, que generava grans fluctuacions d'energia. Avui dia, però, s'utilitzen dispositius d'acció continua a fi d'obtenir la temperatura precisa, i això representa un estalvi d'energia respecte el sistema tot o res.

De fet, el RITE obliga a dotar les instal·lacions tèrmiques dels sistemes automàtics de control necessaris per a mantenir en els locals les condicions de disseny previstes, ajustant els consums d'energia a les variacions de la càrrega tèrmica. També limita els controls de tipus tot o res a les aplicacions següents relacionades amb la generació de calor:

- Límits de seguretat de temperatura i pressió.
- Control de l'emissió tèrmica de generadors d'instal·lacions individuals.
- Control de la temperatura d'ambient servits per aparells unitaris, sempre que la potència tèrmica nominal del sistema no sigui superior a 70 kW.

Per al cas d'instal·lacions antigues amb una regulació basada en sistemes tot o res, el dispositiu d'acció continua, es pot aconseguir mantenint constant la temperatura de l'aigua a l'entrada del de consum; aleshores l'energia necessària s'aportarà en funció del cabal circulant. Aquest mètode, anomenat de regulació a cabal¹ variable, no és especialment aconsellable ja que la potència tèrmica emesa no és del tot sensible a les variacions de cabal. A més, en el cas de gran demanda de calor, la regulació a cabal constant obliga el circuit primari a treballar a alta temperatura de manera que es poden produir precipitacions de sals en el circuit obert secundari.

La regulació aconsellable és la regulació a temperatura variable, que consisteix a mantenir el cabal d'aigua a través de l'equip consumidor i variar la potència tèrmica a aportar en funció exclusiva de la temperatura de l'aigua. El circuit necessari per dur a terme aquesta regulació (Figura 4.4) utilitza una vàlvula motoritzada de tres vies (barrejadora) seguida d'una bomba d'impulsió, que mescla en diferents proporcions l'aigua que ve del generador amb l'aigua més freda que retorna de la instal·lació, mantenint en tot moment el cabal circulant pels equips consumidors. La vàlvula motoritzada pot comandar-se amb una centraleta de control amb sonda de temperatura exterior i sonda de temperatura d'impulsió per al cas de producció d'aigua calenta, per calefacció o per una sonda de temperatura de l'aigua d'acumulació, en el cas de producció d'aigua calenta sanitària.

¹ Calefacción y agua caliente sanitaria; Santiago Aroca i altres; AMV Ediciones. 1991.

La regulació a temperatura variable pot representar estalvis superiors al 10% si la regulació es fa per termòstat a la impulsió.

En el cas de calderes de baixa temperatura i condensació, la temperatura que cal variar serà la de l'aigua de la caldera. El circuit més desfavorable, en tant que necessita una temperatura superior, s'alimentarà directament de la caldera (en funció d'una sonda exterior de temperatura) sense la vàlvula de tres vies, mentre que tots els altres col·lectors d'impulsió disposaran de tots els elements de la regulació a temperatura variable.

A banda dels elements de regulació i control, el RITE exigeix la instal·lació de sistemes de comptabilització de consums d'energia. A l'apartat "4.13. Sistema de gestió tècnica i monitorització de les instal·lacions", s'exposen aquests requisits.

4.1.1.4 Consideracions de costos

El cost orientatiu d'una caldera de baixa temperatura és aproximadament de 50 a 60 €/kW instal·lat, mentre que el de les calderes de condensació de gas natural és d'uns 60 a 80 €/kW instal·lat. Actualment, per a instal·lacions esportives, les calderes estàndard ja no s'utilitzen.

Els estalvis energètics assolibles calculats mitjançant la diferència entre els rendiments mínims exigibles marcats per la normativa abans esmentada són aproximadament:

- 4%, amb calderes de baixa temperatura respecte de calderes estàndard.
- 10%, amb calderes de condensació respecte de calderes estàndard.
- 8%, amb calderes de condensació respecte de calderes de baixa temperatura.

En el cas d'instal·lar calderes de condensació enlloc de calderes de baixa temperatura, el període de retorn és de 2 a 4 anys. S'ha de considerar que, amb un acurat manteniment, aquestes calderes disposen d'una vida útil entre 15 i 20 anys.

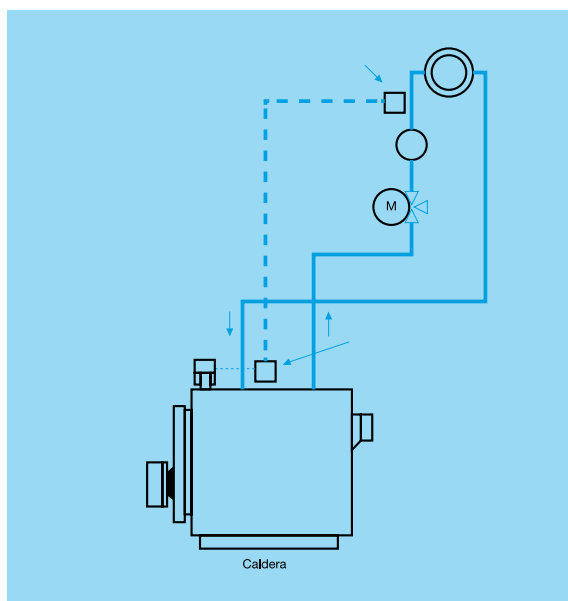


Figura 4.4. Regulació a temperatura variable.

4.1.2. Bomba de calor

La bomba de calor és un element generador de calor i fred, que es pot utilitzar en instal·lacions esportives per a escalfar aire o aigua, i per al cas particular de piscines cobertes, per a deshumidificar l'aire de l'ambient.

La bomba de calor pot funcionar, si es vol, d'una manera reversible, generant calor durant uns certs períodes i generant fred durant uns altres. Això permet aplicacions per a calefacció a l'hivern, i per a refrigeració en èpoques caloroses, emprant sempre el mateix aparell.

Per una qüestió de costos i de disponibilitat, per a escalfar aire o produir ACS, és habitual que a les instal·lacions esportives s'utilitzin calderes. Per a refrigerar aire i per a deshumidificar l'aire de les piscines sí que és freqüent emprar bombes de calor i bombes de calor deshumectadores, respectivament.

El principi de funcionament de la bomba de calor consisteix a bombar calor des d'un medi (aire, aigua, etc.) a una certa temperatura fins a un altre de temperatura més alta. Durant aquest procés es consumeix una energia (elèctrica o tèrmica).

La principal diferència entre aquest aparell i altres sistemes productors de calor és que no genera gran part de l'energia que cedeix, sinó que únicament la transporta d'un medi a l'altre.

El funcionament de la bomba de calor és idèntic al de la màquina frigorífica; la diferència conceptual rau en la utilització. Normalment la finalitat d'una bomba de calor és la d'escalfar o refredar aire o aigua encara que a les piscines, la seva utilització pot ser la de refredar i la de deshumidificar l'aire ambient, mentre que la finalitat de la màquina frigorífica és refredar un medi fred.

La deshumidificació de l'ambient comporta la utilització de la part freda i la calenta de l'aparell, per la qual cosa, el rendiment s'incrementa considerablement.

4.1.2.1. Principi de funcionament

El funcionament de la bomba de calor es basa en la utilització d'un fluid refrigerant que circula per l'interior de diferents components, compressor, condensador, element d'expansió i evaporador, absorbint calor a l'evaporador (aire, aigua, etc.) i, per tant, refredant un ambient fred, i després de ser comprimit pel compressor, allibera una calor en un ambient calent.

La bateria on el refrigerant absorbeix calor de l'ambient és anomenada evaporador i la bateria que cedeix la calor és el condensador.

Les unitats de bescanvi de calor interior i exterior funcionen com a evaporador i condensador segons el cicle en què estiguin treballant:

- Cicle de producció de fred: es refreda un ambient interior fred. El bescanviador interior és l'evaporador, i el bescanviador exterior és el condensador.
- Cicle de producció de calor: s'escalfa un ambient interior calent. El bescanviador interior és el condensador i el bescanviador exterior és l'evaporador.

A més, per passar el refrigerant de l'evaporador al condensador, necessitem un compressor perquè augmenti la pressió, i per passar el refrigerant del condensador a l'evaporador fa falta un dispositiu d'expansió.

Els elements consumidors d'energia d'una bomba de calor són el compressor i els ventiladors o bombes que vehiculen els fluids secundaris per l'evaporador i el condensador.

A la Figura 4.5 es pot veure l'esquema general del sistema i seguir-hi el procés del transport de calor.

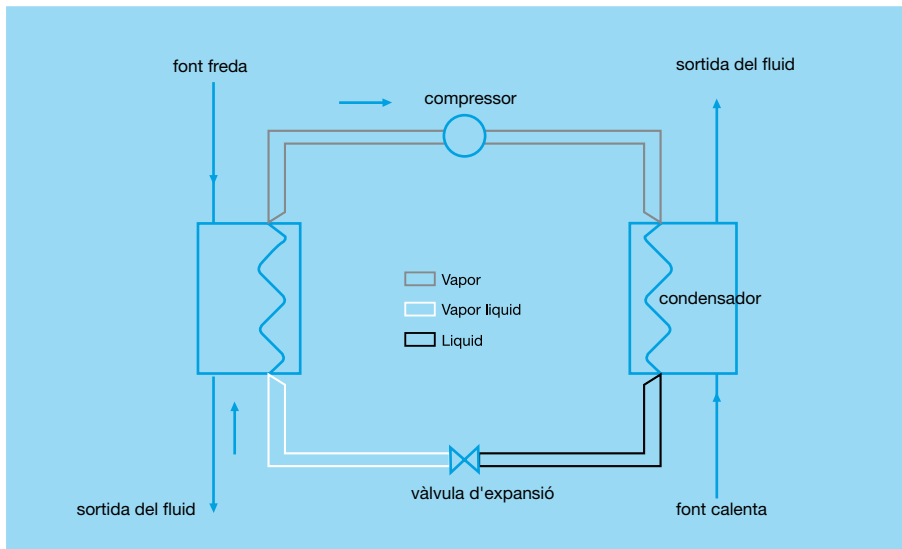


Figura 4.5. Esquema de funcionament de la bomba de calor per compressió mecànica.

Els refrigerants i el medi ambient: prohibició de substàncies que esgoten la capa d'ozó

Arran del descobriment de l'esgotament de la capa d'ozó, l'any 1985 es posa en marxa el Conveni de Viena, el qual tracta de combatre una de les principals causes de la destrucció de l'ozó estratosfèric: la presència de clor i brom en l'estratosfera provinent de compostos produïts per l'home.

Fins fa poc el refrigerant més utilitzat era el R-22, Actualment la seva producció està prohibida i només es pot utilitzar de manera reciclada. L'any 2014 estarà prohibit totalment.

Aquesta prohibició té com a origen el Protocol de Montreal (1987) que estableix el control i eliminació final de les emissions de CFC i halons, havent-s'hi afegit més substàncies (HCFC, bromur de metil), per mitjà de successives esmenes. Espanya i la Unió Europea formen part del Protocol i de totes les seves esmenes.

L'últim reglament europeu aprovat és el Reglament (CE) 1005/2009, que estableix un calendari d'eliminació de substàncies que esgoten la capa d'ozó.

Quan es vulgui adquirir una nova màquina que utilitzi refrigerant, es recomana consultar aquest Reglament, o el que estigui vigent, per assegurar-se de no tenir futurs problemes de recàrrega de refrigerant.

4.1.2.2. Rendiments

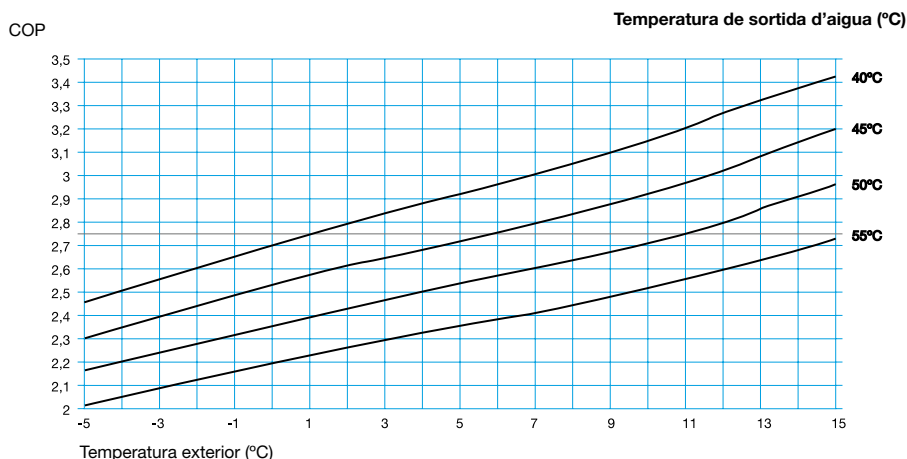
En una instal·lació on hi ha una bomba de calor per compressió, a més de l'aparell, també hi ha altres elements com bombes, ventiladors, etc., necessaris perquè la distribució de la calor sigui la desitjada.

Es poden distingir diferents accepcions del concepte de potència utilitzada:

- **Potència calorífica total:** és el producte del cabal màssic de l'aire o aigua que passa pel condensador multiplicat per l'increment d'entalpia entre l'entrada i la sortida del mateix cabal.

- **Potència absorbida:** quan el compressor sigui accionat per un motor elèctric, es tracta de la potència elèctrica absorbida per l'esmentat motor i pels accessoris de la bomba de calor.

Figura 4.6. Coeficient d'eficiència energètica.



• **Coeficient de funcionament o coeficient d'eficiència energètica per a al bomba de calor (COP: Coefficient of Performance):** la relació que hi ha entre la potència calorífica que lliura la bomba de calor i la potència absorbida. Aquest coeficient pot estar entre 2 i 4,5 ja que depèn de la màquina i sobretot, de les temperatures entre les quals treballa; si la temperatura de l'ambient interior és constant, el COP disminueix en disminuir la temperatura de l'ambient exterior. En aplicacions de fred, el COP s'anomena COP_{fred} o EER (Energy Efficiency Ratio).

Si la temperatura de l'aire o aigua exterior varia amb les circumstàncies meteorològiques, també hi haurà una variació del COP (o EER) al llarg de l'any.

Quant al consum de la bomba de calor, la potència absorbida necessària quan la temperatura exterior disminueix és més petita, però el COP disminueix (Figura 4.6). Això vol dir que com més fred fa a l'exterior, d'una banda es necessita més calor, però, de l'altra, la bomba de calor dona menys energia i, tot i que el consum també disminueix, el seu rendiment global (COP) és menor. A partir d'una determinada temperatura exterior (entorn de 0°C), la bomba de calor és incapaç de proporcionar la calor desitjada i, per tant, en zones fredes, s'ha de reforçar amb resistències elèctriques o amb caldera.

A més, s'ha de tenir present que si la temperatura exterior és prou baixa, la humitat de l'aire provocarà glaç damunt la bateria evaporadora i en passar un temps bloquejarà la màquina. Per tant, s'haurà de desglaciar la bateria mitjançant resistències o invertint el cicle de funcionament de la màquina amb la consegüent disminució del rendiment.

Si es desitja tenir informació més acurada sobre l'eficiència mitjana de la bomba de calor s'ha d'utilitzar l'ESEER (European Seasonal Efficiency Energy Ratio) informant sobre el rendiment estacional, que valora el rendiment de l'equip en diferents condicions de temperatura i càrrega.

$$ESEER = 0,03 \cdot A + 0,33 \cdot B + 0,41 \cdot C + 0,23 \cdot D$$

En què:

A= EER a 35°C i càrrega al 100%.

B= EER a 30°C i 75% de càrrega.

C= EER a 25°C i al 50% de càrrega.

D= EER a 20°C i al 25% de càrrega.

Cal remarcar que més que l'eficiència de la màquina, el que és més important és l'eficiència de tot el sistema de calor, és a dir, l'equip, l'autoconsum més pèrdues en distribució, etc. Cal incorporar aquest criteri en el disseny de les instal·lacions i a l'hora de seleccionar les diferents alternatives.

4.1.2.3 Tipus de bombes de calor

Hi ha diversos tipus de bombes de calor que es poden classificar en funció de la font tèrmica que es vulgui refredar o escalfar i segons el principi de funcionament a través del qual es porti a terme el transport d'energia esmentat.

- Segons la font de calor: per designar-les es diu primer el lloc del qual es treu la calor, seguit del medi on es porta. Hi poden haver, doncs, bombes de calor aire-aire, aire-aigua, aigua-aire, aigua-aigua i terra-aigua. Aquestes últimes s'expliquen a l'apartat "4.5. Bombes de calor geotèrmiques".

L'aire ambient exterior és la font freda més comuna per la seva disponibilitat i accessibilitat. L'inconvenient principal, inherent a la seva naturalesa, és que com més gran sigui la demanda calorífica, menor sol ser la temperatura de l'aire i es redueix, per tant, el rendiment de l'equip ja que depèn directament del valor d'aquesta temperatura.

- **Segons el principi de funcionament**, es poden distingir els tipus de bombes de calor següents:

- Bomba de calor per compressió mecànica.
- Bomba de calor per absorció.

En instal·lacions esportives s'apliquen les primeres i, per tant, seran les explicades en aquest capítol.

- **Segons l'accionament del compressor**: el compressor de la bomba de calor sol ser accionat per un motor elèctric, però aquesta no és l'única solució per moure el compressor. Qualsevol motor, sigui elèctric o tèrmic, pot proporcionar l'energia mecànica necessària per a realitzar el treball de compressió. Concretament, la bomba de calor a gas treballa segons el cicle clàssic de compressió i expansió, utilitzant un motor de combustió interna a gas per a accionar el compressor.

Atenent a aquest criteri hi ha les bombes de calor elèctriques i les bombes de calor a gas. Tanmateix, la de gas no ha tingut penetració en el mercat, per la qual cosa, en cas que no s'especifiqui, per defecte es considerarà una bomba de calor elèctrica.

A les localitzacions geogràfiques amb temperatures exteriors molt baixes (i, per tant, amb problemes potencials de gelbre a la nit i de molt baix rendiment), s'opta directament per sistemes basats en la combustió.

En general, també és més usual la combustió en localitzacions amb temperatures més moderades quan es tracta de producció de calor centralitzada.

Bombes de calor d'expansió directa i bombes de calor productores d'aigua calenta i/o freda

Tal com s'ha comentat, les bombes de calor es classifiquen segons la font de calor utilitzada i el medi receptor de l'energia tèrmica. De les classificacions esmentades (aire-aire, aire-aigua, aigua-aire, aigua-aigua i terra-aigua), el segon terme correspon al medi receptor.

Les bombes de calor poden ser de producció d'aigua freda i/o calenta, o bé d'expansió directa, tenint com a medi receptor, l'aigua i l'aire, respectivament.

Les bombes de calor que produeixen aigua freda i/o calenta, corresponen a les

que el medi receptor és aigua. Això vol dir que la bomba de calor té internament un refrigerant, el qual cedeix l'energia a l'aigua, la qual és distribuïda cap als diferents elements terminals (tipus fan-coil, per exemple), on condiciona tèrmicament l'aire a tractar.

En les bombes de calor d'expansió directa, el circuit del refrigerant surt de la màquina i porta l'energia tèrmica directament als elements terminals. Per aquest motiu es diu que el medi receptor és l'aire directament. El terme d'expansió prové de que, en aquests terminals, es produeix l'evaporació del refrigerant en mode estiu, cosa que no ocorre en els sistemes de distribució per aigua.

El sistema de distribució i les unitats terminals dels sistemes d'aigua i dels sistemes d'expansió directa són diferents, ja que el disseny d'aquests depèn del tipus de bomba de calor escollida.

Per a condicionar pocs i petits recintes, en què no tingui molt de sentit la producció centralitzada, s'utilitzaria els sistemes d'expansió directa.

Per a producció centralitzada, es poden emprar les dues tecnologies, encara que en instal·lacions esportives la més àmpliament utilitzada és la de distribució per aigua.

Bombes de calor per a deshumidificació de piscines

Capítol apart mereixen les bombes de calor aplicades a la deshumidificació de piscines, com ja es veurà més àmpliament al capítol de piscines. En aquest punt, simplement es comentaran les particularitats d'aquesta tecnologia.

L'elevada temperatura del vas de la piscina així com l'agitació de l'aigua per part dels banyistes, provoca l'evaporació continuada d'aigua. A fi i efecte de mantenir la humitat relativa en el recinte dels vasos de piscina en els límits recomanables, s'ha d'eliminar periòdicament el vapor. Això es pot fer agafant aire exterior fred i sec, i escalfant-lo fins a la temperatura de confort amb la corresponent evacuació d'aire humit o bé, deshumidificant l'aire interior introduït de l'exterior, únicament el cabal higiènic mínim necessari.

El consum d'energia és molt menys important en aquest segon cas i, per a fer-ho així, s'utilitza la bomba de calor deshumectadora. L'aire carregat d'humitat travessa la bateria de fred d'una bomba de calor (l'aigua continguda a l'aire es condensa a l'evaporador) i, quan surt (més fred i més sec), s'escalfa en passar pel condensador de la bomba de calor.

Eventualment s'aporta més calor a l'aire amb una bateria d'aigua o elèctrica a l'arrencada. Quan la temperatura ambient del recinte de la piscina s'ha obtingut, la calor recuperada del procés de deshumidificació s'utilitza per a escalfar l'aigua de la piscina, compensant les pèrdues de temperatura per evaporació i transmissió.

4.1.2.4. Regulació i control

Les bombes de calor porten incorporades una sèrie d'elements de regulació i control, tant per a protegir la mateixa màquina com per a regular les seves condicions de funcionament. Els elements típics són:

- **Termòstat de màxima i mínima:** a les bombes de calor aire-aigua, controla la temperatura de l'aigua.
- **Termòstat ambient:** té la mateixa funció que el termòstat anterior però referit a les bombes de calor aire-aire.
- **Sensor descàrrega:** està connectat a la canonada de descàrrega del compressor en sèrie amb el pressòstat d'alta i protegeix el sistema d'altres pressions i temperatures.

- **Sensor exterior:** controla el funcionament de la bomba impedit que funcioni quan la temperatura exterior obliga el compressor a treballar amb relacions de compressió molt elevades i, per tant, amb un COP molt baix.
- **Temporitzador de control del compressor:** retarda durant uns minuts la posada en marxa de la bomba de calor per a poder evitar cicles d'arrencada repetits.
- **Termòstat de desglaç automàtic:** controla la temperatura a partir de la qual s'ha d'activar el cicle de desglaç.

En el de la bomba de calor deshumectadora s'utilitza un controlador digital programable. El controlador processa els senyals analògics o digitals dels diferents sensors de temperatura, humitat, entalpia, etc. i dona un senyal per a posar en funcionament els principals elements del sistema de climatització de la piscina. El controlador regula la humitat, la temperatura ambient de la piscina i la temperatura del vas de la piscina de manera que les prioritats estan organitzades en el sentit en què s'han citat.

Igual que passa en el cas de la caldera, aquí també s'aplica la obligatorietat del RITE de dotar les instal·lacions tèrmiques dels sistemes de control automàtics necessaris per a mantenir les condicions de disseny previstes, ajustant els consums d'energia a les variacions de la càrrega tèrmica. També limita els controls de tipus tot o res a les següents aplicacions relacionades amb la generació d'energia tèrmica:

- Límits de seguretat de temperatura i pressió.
- Control de l'emissió tèrmica de generadors d'instal·lacions individuals.
- Control de la temperatura d'ambient servits per aparells unitaris, sempre que la potència tèrmica nominal del sistema no sigui superior a 70 kW.

A banda dels elements de regulació i control, el RITE exigeix la instal·lació de sistemes de comptabilització de consums d'energia. Al capítol "4.3 Monitorització de consum", s'exposen aquests requisits.

4.1.2.5. Consideracions de costos

La potència de deshumectació es mesura en quilograms d'aigua condensada per hora (kg/h). El rang de preus per a una deshumectadora oscil·la entre els 750 i els 500 €/unitat de potència per a unes capacitats de deshumectació de 15 i 80 kg/h respectivament.

Per a una refredadora aire-aigua, el cost aproximat de l'equip és aproximadament de 120 €/kW de potència de fred. L'EER habitual d'aquestes unitats sol estar compres entre 2 i 4, depenent del tipus de compressor.

4.2. Cogeneració i microcogeneració

El principi bàsic de la cogeneració és la generació simultània d'energia elèctrica i energia tèrmica a partir d'un combustible. És comú denominar-la CHP, degut a les sigles en anglès Combined Heat & Power.

Les tecnologies més utilitzades són la del motor alternatiu de combustió interna (motor, d'ara endavant) i la turbina de gas.

Les necessitats tèrmiques dels centres esportius són de baixa temperatura (màxim de 90°C). La calor recuperada en aquests tipus de cogeneradors s'adequa a aquest nivell de temperatura.

L'electricitat generada pot consumir-se "in situ" (connexió en illa, Figura 4.7 a

dalt) o bé evacuar-la a la xarxa elèctrica (Figura 4.7 a baix). En cas d'evacuació a xarxa es pot comercialitzar i obtenir-ne un benefici econòmic. La connexió en illa de la cogeneració es dona quan no hi ha xarxa elèctrica i la cogeneració és l'única font de subministrament elèctric per al consumidor. Cal destacar que la instal·lació de cogeneració pot funcionar com a sistema d'alimentació ininterrompuda. En aquest cas s'ha de tenir en compte en el disseny inicial del sistema, per tal que es pugui treballar també en illa enlloc de només connectat a la xarxa elèctrica.

Els beneficis ambientals de la cogeneració vénen donats per un millor aprofitament de l'energia:

- Si es compara la generació d'energia a partir de la cogeneració, amb la generació a partir del sistema convencional (electricitat en centrals d'energia elèctrica i calor amb caldera de gas natural), la cogeneració té associada una reducció de consum d'energia primària important (fins a un 20%).
- Un altre benefici de la cogeneració, a nivell de xarxa elèctrica, és la reducció de les pèrdues en transport i distribució (un 6% de mitjana).

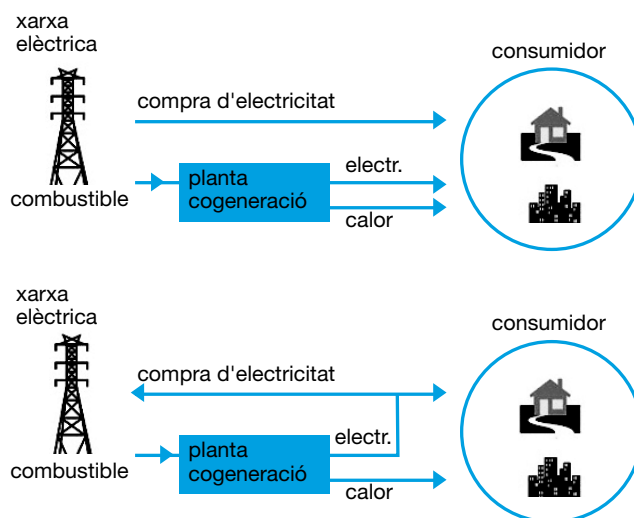
Microcogeneració

Històricament, la cogeneració ha estat habitual en el sector industrial. La maduresa d'aquesta tecnologia ha permès desenvolupar cogeneradors a menors potències, que s'adaptin a la demanda d'usuaris del sector domèstic i de serveis de consum: hotels, centres esportius, hospitals, centres comercials i oficines.

El Reial Decret 616/2007, que transposa la directiva 2004/08/CE, determina que es consideren una microcogeneració les instal·lacions de cogeneració amb una potència inferior a 50 kWe. A diferència de les cogeneracions, les microcogeneracions no estan condicionades a estalviar un mínim del 10% d'energia primària per tal de ser considerades instal·lacions d'alta eficiència; n'hi ha prou de justificar que hi ha algun tipus d'estalvi.

Però, d'altra banda, a efectes d'atorgament de subvencions es fixa un límit per a la cogeneració de fins a 150 kWe.

Figura 4.7. A dalt: Cogeneració en illa. A baix: Cogeneració connectat a la xarxa elèctrica.



La tecnologia més utilitzada en el cas de la microcogeneració és la dels motors, atès el seu rendiment elèctric superior en comparació amb les microturbines de gas. No obstant, els avenços en aquesta tecnologia i els avantatges que presenta gràcies a la dimensió inferior dels equips, està fent que també s'utilitzin les microturbines de gas.

Conceptualment, s'ha dit que la diferència entre cogeneració i microcogeneració resideix en la potència. A la pràctica, hi ha altres implicacions, principalment al sistema elèctric. Mentre que per a potències inferiors a 100 kWe es pot connectar directament a la xarxa de Baixa Tensió (BT), per a potències superiors és necessari connectar-se en Mitjana Tensió (MT) amb la consegüent complexitat. En la majoria dels casos això implica instal·lar una nova estació transformadora.

Actualment, s'està redactant una legislació específica per a la microcogeneració que ajudarà a definir millor el llindar de potència per a la microcogeneració i les diferències amb la cogeneració. Es preveu també que aquest canvi normatiu, agiliti la tramitació per a l'evacuació de l'energia produïda a la xarxa de distribució.

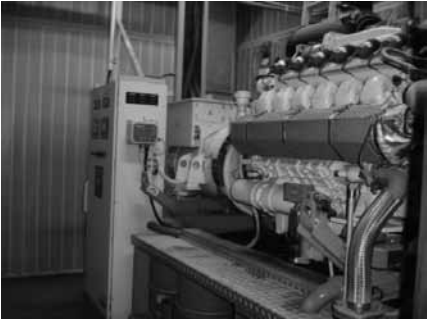
4.2.1. Tecnologia disponible

Com ja s'ha esmentat, les tecnologies més habituals són el motor i la turbina. Les principals característiques d'aquests es troben a la Figura 4.8.

	Motor	Turbina de gas
Potència	Des d'una potència mínima de 5 kWe, fins a 200 kWe amb moltes possibilitats per ajustar-se a diferents potències. Alta eficiència elèctrica (fins a 35%).	Hi ha disponibles turbines de 30, 65, 100 i 200 kWe al mercat.
Combustible	Normalment gas natural. També es poden utilitzar altres combustibles com el gasoil, el gas líquid del petroli (GLP) o els biocombustibles.	Presenten un rendiment elèctric inferior que els motors.
Recuperació de calor	• Circuit de refrigeració de l'oli del motor. • Circuit de refrigeració de la camisa del motor (generalment aigua). • Fums d'escapament.	Gas natural.
Altres consideracions	• Inversió inicial inferior a la turbina de gas.	També es poden adaptar per a usar biogàs o altres gasos.

Figura 4.8 Característiques principals del motor i la turbina de gas en una cogeneració.

Figura 4.9 Equip de cogeneració de 350 kWe del Club Natació Sabadell.



Actualment, els equips de cogeneració vénen integrats en mòduls compactes i preparats per a connexions quasi immediates al sistema tèrmic i elèctric, facilitant així la instal·lació d'equips de potències inferiors en aplicacions no industrials.

4.2.2. Dimensionament i paràmetres del sistema

Com s'ha comentat anteriorment, la cogeneració normalment es dimensiona de tal manera que durant els mesos freds es necessiten calderes de suport. Els criteris utilitzats per al dimensionament es poden separar en dos tipus: criteris tècnics i criteris econòmics.

Els criteris tècnics vénen determinats per l'estudi del consum de calor útil que necessita la instal·lació durant un any. Aquest consum s'analitza en funció de la freqüència horària (Figura 4.10 a dalt) i la corba monòtona de demanda (Figura 4.10 a baix), que és la representació en ordre decreixent de les diferents potències tèrmiques útils horàries trobades a l'estudi del consum. A partir d'aquesta corba monòtona de demanda es pot fer una primera selecció de la potència de l'equip per a la instal·lació en concret i obtenir així les seves hores de funcionament.

Els criteris econòmics depenen directament de la potència instal·lada, les hores de funcionament i de l'aprofitament tèrmic.

Figura 4.10. A dalt: corba horària de demanda tèrmica útil total anual. A baix: corba monòtona de demanda tèrmica útil de calor anual. Font: ICAEN.

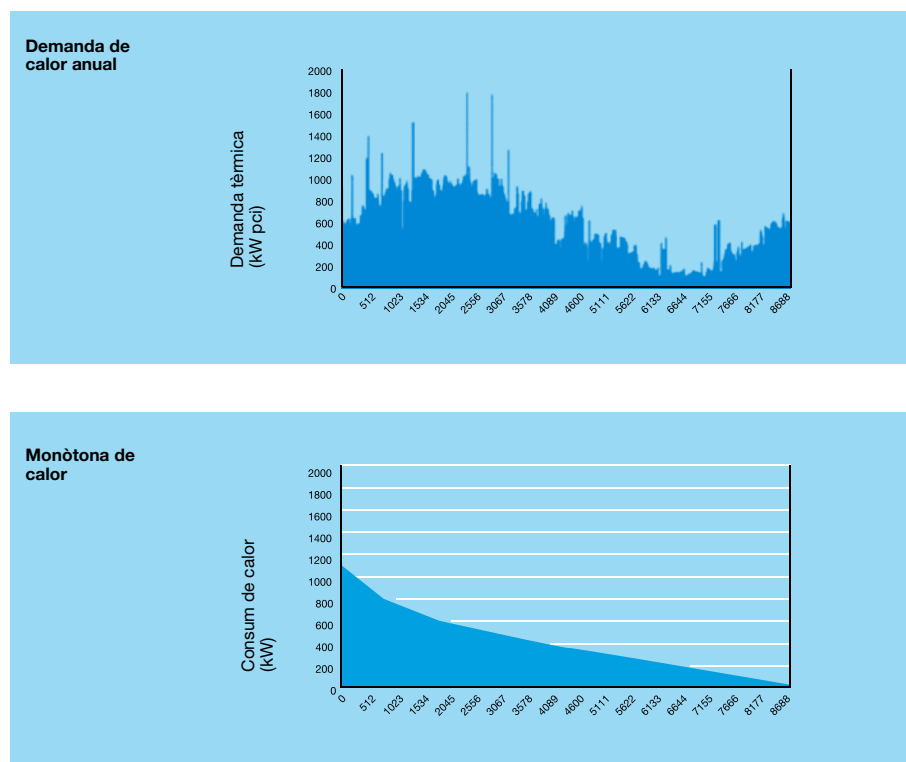
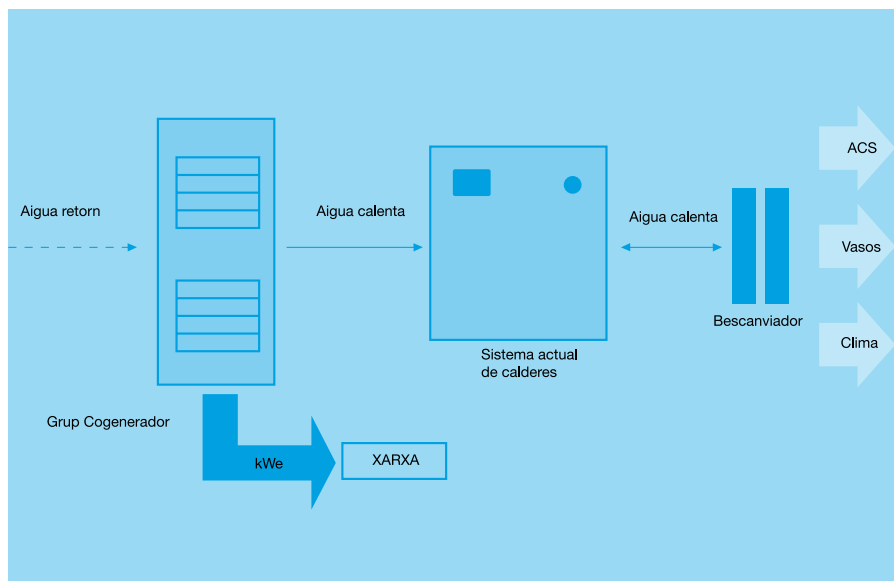


Figura 4.11. Esquema d'implantació d'un cogenerador.



Actualment, el marc normatiu de la cogeneració està sota revisió. Sal estar atents a la regulació de les primes i/o de l'autoconsum en futurs marcs normatius.

En general, per als centres esportius, es consideren potències des de 50 kWe (microcogeneració) fins a 1 MWe, depenent de la dimensió de les instal·lacions i del tipus de consums d'energia tèrmica.

Els valors típics de la cogeneració en instal·lacions estàndard consistents en una piscina de 25 x 12,5 m i en una de 12,5 x 6 m (amb volums d'aigua de vas d'uns 500 m³), oscil·len entre els 30 i 45 kWe, en funció del grau d'ocupació anual, la climatologia específica de la ubicació i la presència més o menys àmplia d'instal·lacions auxiliars (gimnàs, sauna, etc.).

4.2.3. Integració al sistema

Normalment, la cogeneració es dissenya de tal manera que cobreix la demanda de calor base. Això vol dir que cobreix la demanda de calor durant els mesos més càlids però que, durant la resta de mesos, és necessari disposar d'un sistema de suport, que acostuma a ser una caldera.

Habitualment, els sistemes de cogeneració s'integren al sistema tèrmic mitjançant un sistema en sèrie de la cogeneració amb les calderes al circuit primari (Figura 4.11). Aquest circuit primari serveix calor mitjançant un bescanviador als circuits secundaris (ACS, vasos de piscines, climatització).

4.2.4. Normativa

A continuació es presenta una relació de normativa que afecta directament les instal·lacions de cogeneració.

- Reial decret 1955/2000 sobre distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica. BOE núm. 310. 27-12-2000. Més modificacions posteriors.

- Resolució 14-05-2008 Guia tècnica de mesurament i determinació de la calor útil, de l'electricitat i de l'estalvi d'energia primària de cogeneració d'alta eficiència. BOE núm. 152. 24-06-2008.

- Decret 308/1996 Autorització d'instal·lacions de producció en Règim especial. DOGC núm. 2257. 18-09-1996.

La Directiva 2004/8/CE de Promoció de la Cogeneració¹, planteja un marc favorable al desenvolupament de sistemes d'estalvi d'energia primària. Concretament, la Directiva defineix com a cogeneració d'alta eficiència la que estalvia un 10% d'energia primària respecte a la producció separada de la mateixa quantitat d'electricitat i calor útil. En el cas de la cogeneració a petita escala i microcogeneració, només és necessari tenir estalvi d'energia primària (sense cap límit inferior).

Aquest estalvi es calcula mitjançant l'índex Primary Energy Saving (PES), el qual es defineix a la mateixa Directiva.

A part de la normativa que afecta directament la cogeneració, és important remarcar que l'aportació solar mínima per a noves instal·lacions segons (CTE-HE4), pot ser substituïda per altres sistemes que utilitzin fonts renovables o cogeneració.

Tot i un cost d'inversió superior al de la solar tèrmica, la cogeneració presenta un balanç d'explotació que la fa més rendible econòmicament.

4.2.5. Consideracions econòmiques

Costos

El cost d'una planta de cogeneració sol estar entre uns 1.000 i 1.600 €/kW_e instal·lat. El cost principal és el grup de cogeneració, acostumat a ser un 45-55% de la inversió total. La resta és la integració amb el sistema, l'enginyeria, i la connexió a xarxa, la qual pot arribar a ser el 25% del total en el cas de potències superiors a 100 kW_e.

Pel que fa al manteniment, depèn bàsicament de les hores de funcionament de l'equip i de la complexitat que tingui. Per a un motor, els preus oscil·len entre 1,5 €/h per a equips petits (50 kW_e) i 5 €/h per a equips de més potència (400 kW_e)². I per a turbines de gas, el cost de manteniment oscil·la entre 1 €/h per a un equip de 100 kW_e i de 2 €/h per a un equip de 200 kW_e³.

Ingressos i estalvis

L'estalvi econòmic anual està entre un 10% i un 20%, depenent de les hores de funcionament, del grau d'aprofitament de calor, i dels ingressos per venda d'electricitat.

El preu de venda és la suma de la tarifa, el complement per eficiència energètica i el complement per reactiva (si escau). El complement per eficiència energètica és en funció del R_{EE} (Rendiment elèctric equivalent) real i el mínim exigít segons la normativa vigent.

Externalització de serveis energètics

Les Empreses de Serveis Energètics (ESE) són una alternativa per al finançament dels projectes de cogeneració. És un model de negoci que està començant a funcionar al nostre país, encara que a altres països ja fa anys que hi és. També s'anomena ESCO, *Energy Service Company*.

Una ESE és una empresa que es fa càrrec de les inversions i operació dels serveis energètics, i ven energia a la propietat.

¹ Directiva 2004/8/CE del Parlament Europeu i del Consell relativa al foment de la cogeneració sobre la base de la demanda de calor útil en el mercat interior de l'energia.

² Font: catàlegs de Salicru i Capstone.

³ Font: catàlegs de PASCH.

En el cas particular de les cogeneracions, la ESE assumeix tota la inversió necessària per a instal·lar la planta, i es realitza un contracte amb una durada definida (10-12 anys), i durant tot aquest temps, la ESE ven energia tèrmica a la propietat i l'energia elèctrica a companyia. Un cop finalitza el contracte, la propietat pot quedar-se amb la instal·lació de la cogeneració.

A la pàgina web de l'ICAEN hi ha informació general sobre les ESE i contractes tipus, i al Capítol 8, s'explica aquest tema amb més detall.

4.3. Energia solar tèrmica

En el camp de les instal·lacions esportives, l'energia solar tèrmica permet aprofitar la radiació solar per a produir calor i cobrir necessitats energètiques com l'aigua calenta, la calefacció o l'escalfament dels vasos de les piscines.

4.3.1. Tecnologia disponible

Hi ha diferents tecnologies de captació solar, segons el nivell de temperatura que es vulgui aconseguir. Els captadors solars que s'utilitzen en aquest sector són:

- Captadors plans estàndard (50-70°C).
- Captadors de tub de buit (80-100°C).

Els captadors plans són els més senzills i aconseguixen un menor nivell de temperatura. El tipus de demanda de calor de les instal·lacions esportives és de baixa temperatura (temperatures inferiors a 80°C), cosa que fa que puguin aplicar-se aquest tipus de captadors.

El tipus de captador que té més presència són els plans, encara que també hi ha captadors de tub de buit a les instal·lacions esportives (Figura 4.14).

Els captadors solars es connecten a un circuit primari que conté un fluid de treball (barreja d'aigua amb anticongelant, normalment aigua glicolada) que circula en-

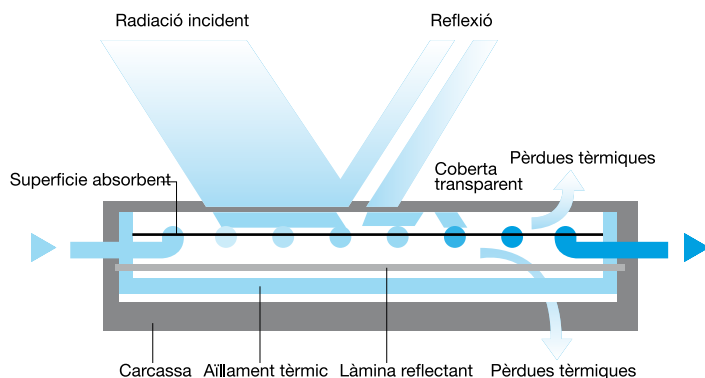
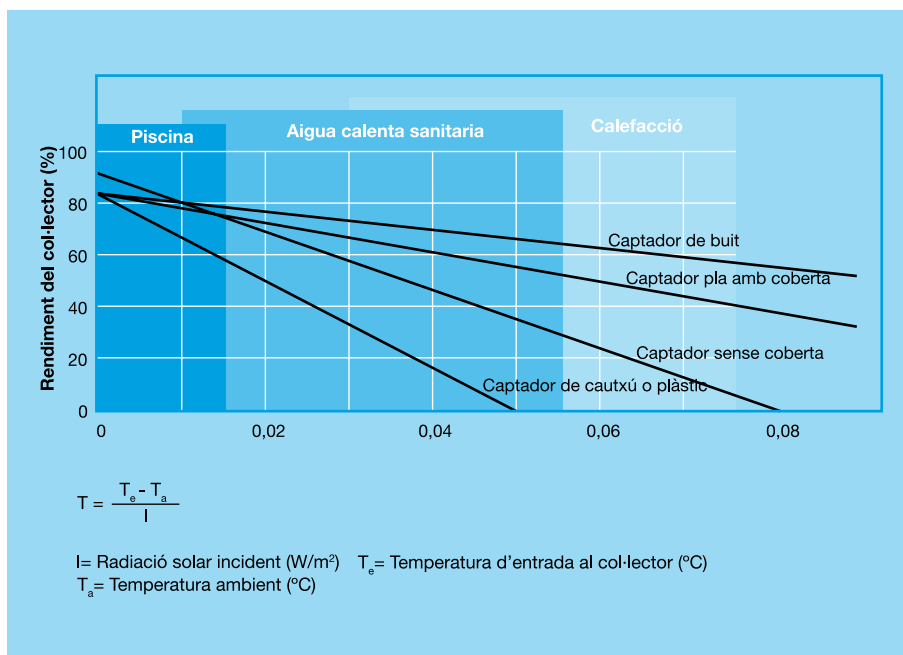


Figura 4.12. Components i procés de captació i absorció de la radiació solar en un captador pla estàndard.

Figura 4.13. Corba de rendiments dels diferents captadors solars.



tre els captadors i alimenta els consumidors de calor (Figura 4.15): un acumulador d'ACS, un o més bescanviadors de calor.

Normalment el circuit primari, circuit comprès entre els captadors i els bescanviadors, incorpora un aerodissipador. Es tracta d'un element que permet dissipar la calor excedentària controlant i evitant la saturació del sistema quan l'energia generada no s'aprofita en la seva totalitat.

El dissipador de calor, té una importància clau quant al manteniment, ja que pot comportar problemes de sobreescalfament dels captadors i de saturació (assoliment del punt d'estagnació) del sistema solar. Per aquest motiu, encara que hi hagi instal·lacions sense aerodissipador, és recomanable instal·lar-lo.

Un sistema d'energia solar tèrmica inclou un sistema d'acumulació d'aigua calenta ja que, per la seva naturalesa, el règim de màxima producció no coincideix en el temps amb les puntes de demanda energètica. L'acumulació d'aigua calenta normalment es realitza en un o més dipòsits de forma cilíndrica i aïllats tèrmicament.

4.3.2. Integració al sistema

En la producció d'energia solar tèrmica per a ACS, el sistema d'acumulació de l'energia solar tèrmica consta de dipòsits d'emmagatzematge, mentre que en el cas d'escalfament de vas de piscina, aquesta fa el paper de sistema d'acumulació (Figura 4.16). En aquest últim cas, el CTE permet tenir un petit emmagatzematge d'inèrcia en el circuit primari.



Figura 4.14. Esquerra: captadors de tub de buit. Dreta: instal·lació d'energia solar tèrmica amb captadors de tub de buit de la coberta de la pista poliesportiva del Club Natació Terrassa.

Figura 4.15. Circuit elemental captador-acumulador amb bescanviador intern. . Font: Energia solar tèrmica. Quadern Pràctic número 3. ICAEN 2010.

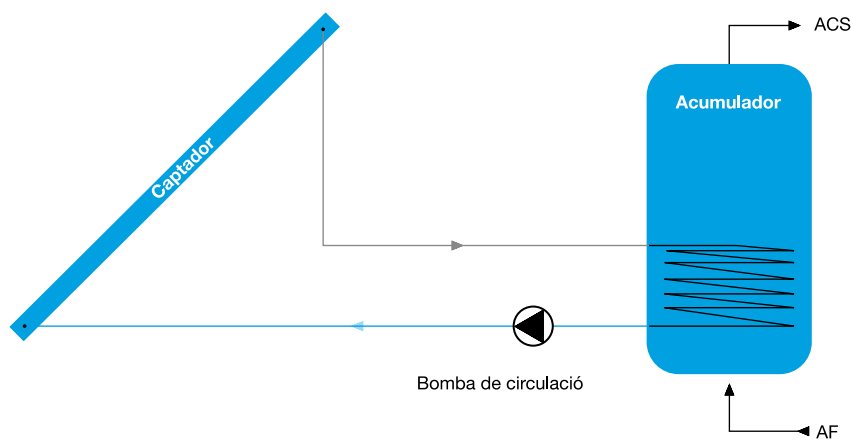
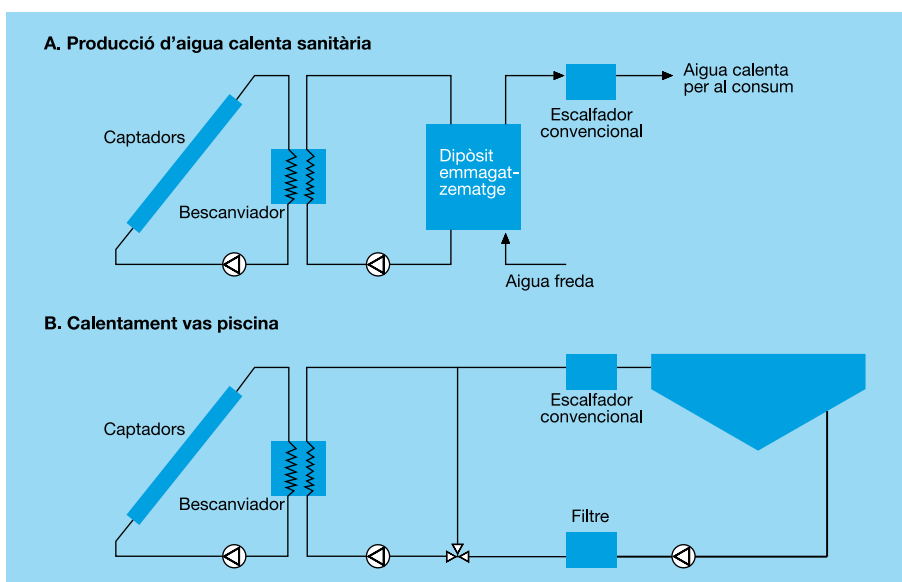


Figura 4.16. Esquemes d'instal·lacions solar tèrmiques per a ACS i vas de piscina.



Els sistemes solars estan constituïts normalment per dos circuits: el primari i el secundari:

- **Circuit primari:** comunica els col·lectors amb el bescanviador de calor. Inclou els captadors, el fluid de treball, el vas d'expansió, l'aerodissipador i el sistema de circulació.

- **Circuit secundari:** comunica el bescanviador que rep la calor del circuit primari amb la resta de la instal·lació. Aquest circuit presenta dues configuracions clarament diferenciades en funció del seu ús:

- Transport d'ACS: en aquest circuit hi ha el sistema de tancs acumuladors, els equips de tractament preventiu contra la legionel·la i l'aportació de calor del sistema de suport que aportarà l'energia necessària per a satisfer la demanda quan el sistema solar tèrmic no pugui.

- Escalfament del vas de piscina: circuit format pel sistema de filtratge de l'aigua, pel bescanviador, i finalment el sistema de suport que aporta l'energia necessària fins a la temperatura de consigna.

En cas de tenir els dos tipus de consums associats al sistema solar, es disposaria d'un circuit primari amb dos bescanviadors, un per a l'ACS i l'altre per a cadascun dels vasos de la piscina.

4.3.3. Dimensionament i paràmetres del sistema

El CTE estableix unes cobertures mínimes de demanda tèrmica mitjançant energia solar per a ACS i per a escalfament de piscines segons consums i zones climàtiques.

A Catalunya, per a l'escalfament de vas de piscines, cal muntar captadors amb una superfície de captació aproximadament del 30% al 50% de la superfície de la piscina, en funció de si la instal·lació està situada en una zona càlida (litoral) o freda (Catalunya central)⁶.

Per al cas de producció d'ACS, a la Figura 4.17 es mostra la fracció de consum d'ACS que abasteix el sistema solar (fracció solar) en una zona climàtica com la catalana, en funció de l'àrea de captació, dividit pel consum diari d'ACS.

En el cas de captadors de tubs de buit, tenen una generació energètica entorn d'un 40% superior als captadors plans, pel que l'àrea de captació necessària serà inferior per a la mateixa quantitat d'ACS.

Amb una inclinació de 45° i una orientació sud, amb captadors plans, es necessita instal·lar aproximadament 1,4 m²/kWt.

L'ocupació de superfície horitzontal dependrà de la inclinació dels marcs, de les ombres, etc. El CTE-HE4 indica la metodologia per al càlcul d'ombres i disposició de captadors. Si es tracta d'una instal·lació sobre marcs inclinats en una coberta plana, tenint en compte la distància entre mòduls per a evitar la projecció d'ombres d'un captador a l'altre, la superfície horitzontal ocupada és d'uns 3 m²/kWt instal·lat.

L'energia generada per una instal·lació solar tèrmica de captadors solars plans amb inclinació i orientació òptima a Catalunya se situa entorn dels 830 kWh/m² anuals per quilowatt instal·lat o, dit d'una altra manera, 580 kWh/m² de superfície de captador. En el cas de tub de buit, aquesta energia generada se situa entorn de 1.050 kWh/kWt l'any, equivalents a 750 kWh/m².

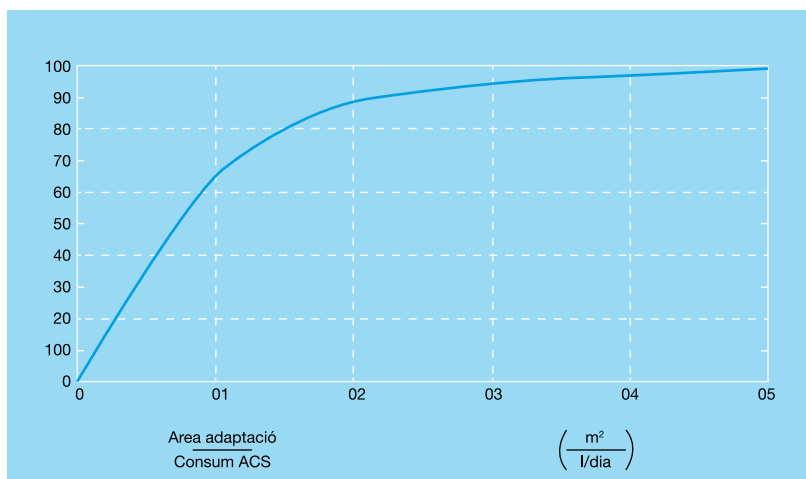


Figura 4.17. Fracció del consum d'ACS coberta amb una instal·lació solar de captadors vitrificats.

Quant al sistema d'acumulació, el CTE estableix que, per a l'aplicació d'ACS, l'àrea total dels captadors ha de tenir un valor tal que compleixi la condició següent:

$$50 < V / A < 180$$

En què:

A: suma de les àrees dels captadors (m²).

V: volum del dipòsit d'acumulació solar (litres).

Preferentment, el sistema d'acumulació solar ha d'estar constituït per un sol dipòsit, de configuració vertical i ubicat en zones interiors. El volum d'acumulació pot fraccionar-se en dos o més dipòsits, que s'han de connectar, preferentment, en sèrie invertida en el circuit de consum, o en paral·lel amb els circuits primaris i secundaris equilibrats.

4.3.4. Normativa

Respecte a l'energia solar tèrmica, hi ha reglamentació en l'àmbit espanyol i de Catalunya que obliga a una cobertura mínima del consum tèrmic i, a banda, hi ha les ordenances municipals que pugui tenir cada ajuntament.

En l'àmbit espanyol, el marc legal es defineix principalment pel Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) i el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis (RITE). En el cas de Catalunya, cal considerar, juntament amb la resta de normativa estatal el Decret d'eficiència (D 21/2006).

- **CTE:** RD 314/2006, de 17 de març, pel qual s'aprova el Codi Tècnic de l'Edificació. BOE núm. 74. 28-03-2006. Més modificacions posteriors.

El CTE, en el seu apartat HE-4 “Aportació solar mínima d’aigua calenta sanitària”, és d’aplicació als edificis de nova construcció i rehabilitació d’edificis construïts de qualsevol ús en què hi hagi demanda d’ACS i/o climatització de piscina coberta. El CTE indica metodologies de càlcul d’ombres i disposició de captadors, i fixa l’aportació solar mínima segons la zona climàtica de què es tracti i segons la demanda total d’ACS de l’edifici.

El CTE-HE4 estableix unes aportacions diferenciades en “general” i “efecte Joule” segons si la font energètica de suport és combustible (gasoil, propà, gas natural...) o electricitat, respectivament, en funció de la zona climàtica (Annex 2).

A la Taula 4.5 s’indica, per a cada zona climàtica i diferents nivells de demanda d’ACS a una temperatura de referència de 60° C, l’aportació solar mínima anual en percentatge (%), per al cas “general” (que no s’utilitza electricitat - efecte Joule per a escalfament d’aigua). A la Taula 4.6 s’indica el mateix però per al cas de climatització de piscines. A Catalunya hi ha 3 zones: I, II i III.

En cas de preferir estudiar altres alternatives enlloc de la solar tèrmica, el CTE preveu l’excepció següent:

“quan es cobreixi l’aportació energètica d’aigua calenta sanitària mitjançant l’aprofitament d’energies renovables, processos de cogeneració o fonts d’energia residuals procedents de la instal·lació de recuperadors de calor alienes a la generació de calor de l’edifici mateix.”

El CTE també realitza indicacions sobre el sistema de mesurament: a més dels aparells de mesurament de pressió i temperatura que permeten la correcta operació, per al cas d’instal·lacions de més de 20 m² s’ha de disposar, com a mínim, d’un sistema analògic de mesurament local i registre de dades que indiqui, com a mínim, les variables següents:

Taula 4.5. Aportació solar mínima en percentatge. Cas general

Demanda total d'ACS de l'edifici (l/d)	Zona climàtica				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
>20.000	52	70	70	70	70

Taula 4.6. Aportació solar mínima en percentatge. Cas climatització de piscines

	Zona climàtica				
	I	II	III	IV	V
Piscines cobertes	30	30	50	60	70

- Temperatura d'entrada d'aigua freda de xarxa.
- Temperatura de sortida d'acumulador solar.
- Cabal d'aigua freda de xarxa.

El tractament de les dades proporcionarà, com a mínim, l'energia solar tèrmica acumulada al llarg del temps.

• **Decret d'ecoeficiència:** D 21/2006, 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència als edificis.

Aquest decret estableix que els edificis que, en funció d'uns paràmetres que fixa, tinguin una demanda d'aigua calenta sanitària igual o superior a 50 litres/dia a una temperatura de referència de 60°C, hauran de disposar d'un sistema de producció d'aigua calenta sanitària que utilitzi per al seu funcionament energia solar tèrmica amb una aportació mínima en percentatge.

Segons els paràmetres que fixa el Decret per al cas de vestuaris i dutxes col·lectives de piscines, poliesportius i gimnasos, la demanda de referència d'aigua calenta sanitària a 60°C és de 20 litres/persona, i per això no s'aplica aquesta aportació solar mínima (s'haurà d'aplicar el que estableix el CTE).

Aquest requisit no serà aplicable:

a) Quan es cobreixi aquesta aportació energètica d'aigua calenta sanitària mitjançant altres energies renovables, processos de cogeneració o fonts d'energia residuals procedents de la instal·lació de recuperadors de calor independents a la generació de calor de l'edifici mateix.

b) Quan l'edifici no disposi de prou aïllament per barreres externes.

c) En rehabilitació d'edificis, quan hi hagi limitacions no esmenables derivades de la configuració prèvia de l'edifici construït, o de la normativa urbanística aplicable.

d) En edificis de nova planta, quan hi hagi limitacions no esmenables derivades de la normativa urbanística aplicable, que impossibilitin de manera evident la disposició de la superfície de captació necessària.

e) Quan així ho determini l'òrgan competent que ha de dictaminar en matèria de protecció del patrimoni cultural català.

Als edificis en què es vulguin utilitzar resistències elèctriques amb efecte Joule en la producció d'aigua calenta sanitària, l'aportació solar mínima en qualsevol zona haurà de ser del 70%.

Aquest punt no serà aplicable en zones on no hi hagi servei de gas canalitzat, o bé l'electricitat s'obtingui mitjançant energia solar fotovoltaica o altres energies renovables.

• **RITE:** RD 1027/2007, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis. BOE núm. 207. 29-08-2007. Més modificacions posteriors.

El RITE, en la seva instrucció tècnica complementària ITE 10.2 "Condicionament de piscines" estableix el següent:

"El consum d'energies convencionals per a l'escalfament de piscines és permès solament quan estiguin situades en locals coberts. En piscines a l'aire lliure solament podran utilitzar-se per a l'escalfament de l'aigua fonts d'energia residuals o de lliure disposició, com l'energia solar, l'aire, l'aigua o el terreny. No pot utilitzar-se energia elèctrica per a l'escalfament per efecte Joule com a suport de les fonts anteriors."

4.3.5. Consideracions econòmiques

El cost d'una planta solar tèrmica sol estar entorn dels 1.400 €/m² captador instal·lat. El cost principal són els captadors, que acostumen a ser un 60-70% de la inversió total.

El 30-40% restant correspon a la resta d'elements (dipòsits, bombes, canonades, etc.). La instal·lació i integració amb el sistema, juntament amb els costos associats al disseny i els costos de manteniment es pot considerar que representen de l'ordre de l'1% de la inversió inicial.

La instal·lació d'una planta solar tèrmica és una qüestió més de normativa que d'inversió. Per aquest motiu hi ha diferents tipus d'ajudes des del sector públic per a promocionar aquesta energia sostenible, tant en l'àmbit estatal (programa Solcasa d'IDAE⁷), en l'àmbit autonòmic (ajuts de l'ICAEN, a Catalunya), i en l'àmbit més regional i local com les diputacions i els ajuntaments.

4.4. Ús de la biomassa sòlida

El terme de biomassa engloba la llenya, la fusta residual, els residus forestals o agrícoles (pinyó, closques de fruits secs, os d'oliva...) i múltiples formes que en deriven com les estelles, els encenalls, les serradures, les pinyes picades, les briquetes, els granulats o els pèl·lets (Figura 4.18).

Les estelles de fusta són restes de la indústria forestal, amb una mida entre 30 i 50 mm, compostos bàsicament de fusta. Aquestes poden ser tant estelles forestals directament triturades amb cert contingut d'humitat, com residus de la indústria de la fusta més secs (encenalls, petits trossos de fusta...).

Els pèl·lets de fusta estan compostos al 100% de residus naturals de fusta, serradures i encenalls que es produeixen a grans quantitats a la indústria de la fusta. Tenen forma de petits cilindres de 6 a 8 mm de diàmetre i entre 10 i 30 mm de llargada. La matèria prima es comprimeix a grans pressions i es pel·letitza. Com a ajuda per a la compressió només s'utilitzen residus de la indústria alimentària amb contingut en midó (com el midó de blat de moro), i això fa que no calgui cap aglomerant sintètic.

A la Taula 4.7 es mostra una comparativa de les propietats de diferents combustibles biomàssics.

Hi ha normes per a estandarditzar les característiques dels pèl·lets⁸. A Espanya, AENOR (Associació Espanyola de Normalització i Acreditació) és l'encarregada de la normalització de la biomassa sòlida. Actualment es disposa d'una norma espanyola UNE (164001:2008, per a determinar el PCI), 6 normes europees adoptades UNE-EN (contingut d'humitat, contingut en cendres, densitat, contingut en matèries volàtils, durabilitat mecànica de pèl·lets i briquetes), i 10 especificacions tècniques europees adoptades UNE-CEN/TS.

D'altra banda, en la data de publicació d'aquesta guia, AVEBIOM⁹ es troba treballant en la implantació a Espanya de la marca de certificació de qualitat ENplus (gestionada per EPC, Consell Europeu del Pèl·let), que estandarditza les qualitats dels pèl·lets a Europa.

Els beneficis ambientals de l'ús de la biomassa com a recurs energètic alternatiu als combustibles fòssils són:

- Disminució de les emissions de sofre.
- Disminució de les emissions de partícules.
- Emissions reduïdes de contaminants tals com CO, HC i NO_x.
- Cicle neutre de CO₂, sense aportació a l'efecte hivernacle.

7 IDAE: Institut per a la Diversificació i l'Estalvi d'Energia.

8 ÒNORM M 7135/ DIN 51731 i DINplus. Font: Nova Energia.

9 AVEBIOM: Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa.



Figura 4.18.
Esquerra: Estelles.
Dreta: Pèl·lets.

Taula 4.7. Propietats de diferents tipus de biomassa. Font: Estudio de la viabilidad del aprovechamiento de biomasa para calefacción y ACS en edificación, UPM – CMS, 2008.

(*) Base humida.
(**) D: domèstic; R: Residencial; I: Industrial.

	PCI (kWh/kg)	Humitat (% b.h. *)	Ús *
Estelles	4,0 – 4,5	20 – 60 %	D – R – I
Pèl·lets	5,0 – 5,42	< 12 %	D – R
Os d'oliva	5,0	12 – 20 %	D – R – I
Closca de fruit sec	4,64	8 – 15 %	D – R – I
Poda olivar	4,78	20 – 60 %	D – R – I
Poda vinya	4,64	20 – 60 %	D – R – I

4.4.1. Tecnologia disponible

Les calderes de biomassa van des d'uns pocs kilowatts fins a varis megawatts. Són calderes similars en mida i funcionament a les calderes convencionals, excepte pel que fa al cremador, que està adaptat a les condicions especials de la biomassa.

Hi ha tres tipus de calderes de biomassa: de llenya, d'estelles i de pèl·lets. Les calderes de llenya són les utilitzades tradicionalment a les llars, millorades i actualitzades a les necessitats dels usuaris d'avui dia. Són de potència limitada, i el subministrament, emmagatzematge i càrrega de la llenya és menys automatitzable en comparació a les altres.

Les calderes dissenyades per a edificis de mida mitjana (hotels, escoles, centres públics, hospitals, centres comercials i instal·lacions esportives) són equiparables a les calderes convencionals de gas natural o gasoil C. Aquestes funcionen de manera automàtica i principalment a partir d'estelles i de pèl·lets.

Els sistemes de caldera de biomassa que funcionen amb pèl·lets són molt adequats per a una calefacció totalment automàtica. Els pèl·lets tenen una gran homogeneïtat quant a la granulometria, el poder calorífic i la humitat, ofereixen una densitat energètica alta comparada amb els residus dels quals procedeix, i amb les estelles. El seu gran avantatge és que és fàcil emmagatzemar-los, transportar-los i dosificar-los, atès que tenen un comportament similar al d'un fluid.

El manteniment i funcionament de les calderes de biomassa requereix una supervisió constant i qualificada. És necessari que hi hagi una persona responsable que s'encarregui de l'adquisició i el control de qualitat de la biomassa, del control

del sistema i de la documentació de l'operació de la planta així com de la neteja i de l'extracció de les cendres de manera periòdica.

Actualment, les calderes de biomassa generen entre un 2% i un 6% de cendres respecte a la biomassa seca utilitzada. En qualsevol cas, les cendres de fusta no són perilloses i s'utilitzen freqüentment com a fertilitzant.

Els diferents tipus de calderes també poden diferenciar-se entre equips compactes, calderes amb alimentació inferior i calderes amb cremador de graella. Aquestes dues darreres tipologies de caldera, són les aplicables a centres esportius. Les seves principals característiques són:

- **Calderes amb alimentació inferior:** presenten un bon rendiment amb biomassa d'alta qualitat (poc humida i de baix contingut en cendres, com ara pèl·lets, estelles seques, i alguns residus agroalimentaris). S'utilitza en instal·lacions de potència mitjana (50 – 500 kW).

- **Calderes amb cremador de graella:** poden utilitzar biomassa de qualitat inferior i composició variable amb major quantitat en humitat i cendres (estelles, residus agrícoles i mescles vàries). Aquest sistema s'utilitza en calderes de potència superior (més de 500 kW).

Components i instal·lació

Els components principals del sistema de producció de calor de biomassa són:

- Caldera de biomassa.
- Sitja d'emmagatzematge per al combustible.
- Sistema de circulació de combustible.
- Comandament de regulació.
- Dipòsit d'inèrcia.

A la Figura 4.19 es mostra una configuració típica d'un sistema de biomassa. Les condicions d'instal·lació d'una caldera de biomassa són similars a les d'una caldera de gasoil quant al seu manteniment i evacuació de fums. No obstant, s'ha d'evitar col·locar-lo a distàncies grans de la sitja, ateses les limitacions del sistema de transport del combustible (normalment “vis sens fi” o “bandes transportadores”).

Dipòsit d'inèrcia

És important maximitzar tant el funcionament a plena càrrega de la caldera com el funcionament en mode continu atesa la gran inèrcia de combustió de la biomassa. Per aquest motiu és necessari instal·lar un dipòsit d'inèrcia. D'aquesta manera es redueixen els bloquejos de combustió davant interrupcions de demanda de calor.

Emmagatzematge: sitja

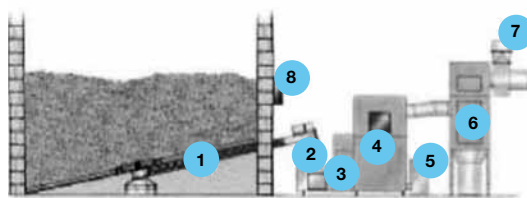
Els sistemes de biomassa requereixen una sitja per a l'emmagatzematge. Pot ser prefabricat en instal·lacions petites (Figura 4.20 Esquerra), com d'obra civil en instal·lacions mitjanes i grans (Figura 4.20 Dreta).

En el cas d'utilització d'estelles, la sitja ha d'estar perfectament protegida de les filtracions d'aigua, i convenientment ventilada, atesa la facilitat de formació de fongs a les estelles humides.

La ubicació de les sitges depèn de la localització de la caldera, de la zona habilitada per a la recàrrega (des del camió subministrador) i del tipus de biomassa emprat.

Una altra característica de les sitges de biomassa és el gran volum que tenen atesa la menor densitat calorífica de la biomassa en comparació al gas o el gasoil. A la Figura 4.21 es representen diferents configuracions d'una sitja.

La posició òptima de la sitja és immediatament sota de la zona de maniobra del camió subministrador. Així es redueix els costos d'operació i el temps de descàrrega. Altrament, pot ser necessari recórrer a camions amb bombament pneumàtic (Figura 4.22), o bé amb un sistema d'elevació.



- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. Extracció de combustible. 2. Sistema de seguretat contra incendis. 3. Introducció combustible a la caldera. 4. Cambra de combustió i bescanviador. | <ul style="list-style-type: none"> 5. Sistema automàtic d'extracció de cendres. 6. Separador de partícules de fums. 7. Ventilador aspiració amb variador de freqüència. 8. Quadre de control i regulació. |
|--|---|

Figura 4.19. Configuració típica de la instal·lació d'una caldera de biomassa. Font: Estalvi i eficiència energètica en edificis públics. Quadern Pràctic número 3. ICAEN. 2009.

Figura 4.20. Esquerra: Sitja prefabricada de biomassa per a instal·lacions de baixa potència. Dreta: Sitja soterrada per a pèl·lets. Font: Estudio de la viabilidad del aprovechamiento de biomasa para calefacción y ACS en edificación, UPM – CMS. 2008.

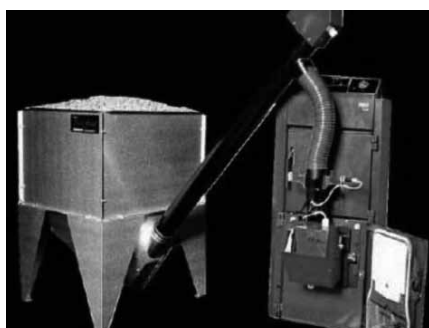


Figura 4.21. Esquerra: Sitja soterrada fora de l'edifici. Centre: Sitja soterrada sota l'edifici. Dreta: Sitja sobre rasant dins l'edifici. Font: Estudio de la viabilidad del aprovechamiento de biomasa para calefacción y ACS en edificación, UPM – CMS, 2008.

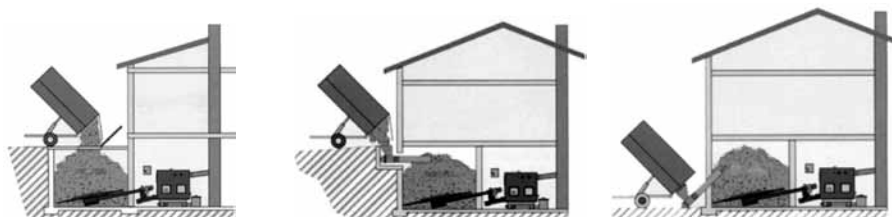
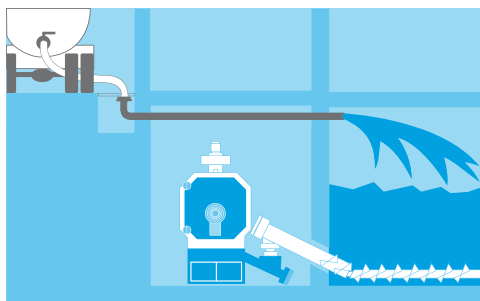


Figura 4.22. Sitja prop de la caldera, però lluny de la zona de maniobra. Font:: Estudio de la viabilidad del aprovechamiento de biomasa para calefacción y ACS en edificación, UPM – CMS, 2008.



Transport de la biomassa des de la sitja fins a la caldera

Bàsicament hi ha dos mecanismes de transport de la biomassa, segons si aquesta és granular o irregular.

- **Biomassa granular (pèl-lets):** conducte o “vis sens fi” que recull per gravetat la biomassa de la sitja, el fons de la qual tindrà el pendent necessari fins al punt de recollida.

Com que tenen un comportament quasi com un fluid, es poden utilitzar mitjans pneumàtics, que permeten distanciar la sitja de la caldera fins a 15 m, sense restriccions de desnivell. Això comporta una flexibilitat superior tant a la zona d'ubicació com en la forma de la sitja, així com més senzillesa del sistema de transport a la caldera.

- **Biomassa irregular (estelles):** similar al cas de la biomassa granular, però necessita un sistema per a conduir la biomassa de la sitja fins al conducte de transport, ja que no cau directament per gravetat i tendeix a formar aglomerats. Aquest sistema consisteix en un extractor d'estelles a la base de la sitja que les condueix fins al “vis sens fi” (Figura 4.22).

En general, per al transport i dosificació de la caldera d'una manera automàtica, la biomassa granular és la més idònia.

Sistemes assemblats

Al mercat hi ha sistemes assemblats de biomassa tipus plug-and-play, és a dir, que es lliuren al client totalment muntats perquè puguin ser operatius des del primer moment (Figura 4.24). Aquests sistemes es dissenyen a mida i arriben fins a 1 MW de potència. Són sistemes compactes modulars amb tots els materials, equips i instal·lació imprescindible d'un sistema de producció de calor de biomassa (caldera de biomassa, sitja, sistema d'alimentació, dipòsit d'inèrcia, bombes, material hidràulic, quadre elèctric...). Un mòdul de 220 kW ocupa una superfície d'uns 45 m².

4.4.2. Dimensionament i paràmetres del sistema

En el dimensionament de la potència tèrmica de la instal·lació, s'han de tenir en compte, principalment, els tres conceptes següents:

- **Oscil·lació del poder calorífic de la biomassa:**

Segons el tipus de biomassa escollit, s'ha de tenir en compte les possibles oscil·lacions en el seu poder calorífic. Per a compensar una possible disminució del poder calorífic respecte la de disseny, pot ser convenient sobredimensionar lleugerament la potència de la caldera. D'aquesta manera es pot assegurar que, en tots els casos, la caldera de biomassa serà capaç de proporcionar la potència màxima de disseny.



Figura 4.24. Imatges del sistema de biomassa assemblat Bioenergy. Font: Grupo Nova Energía.

Això és d'especial importància quan la biomassa escollida no està normalitzada i estandaritzada, tal com és el cas dels residus forestals i de la indústria de la fusta. També és una qüestió important quan es preveu que la caldera pugui funcionar amb diferents tipus de biomassa.

- **Dipòsit d'inèrcia:**

El sistema de caldera més el dipòsit d'inèrcia és capaç de proporcionar una potència instantània de calor superior a la que la caldera pot donar per sí mateixa. Això vol dir que, amb un dipòsit d'inèrcia, la potència de disseny de la caldera pot ser menor que la potència màxima de la demanda de calor. Aquest dipòsit hauria de tenir una capacitat de 20-30 l/kW i permetre a la caldera de biomassa funcionar de continu un mínim de 35-40 minuts.

Si es dissenya la caldera de biomassa sense dipòsit d'inèrcia (no recomanable), la potència de disseny serà la mateixa que en el cas d'una caldera convencional.

- **Cobertura al 100% de la demanda o amb caldera de suport convencional.**

Els pics de demanda de potència en els sistemes de calefacció són generalment de breu durada i limitats a alguns dies de més fred al llarg de l'any.

Es pot dissenyar perquè el sistema de caldera de biomassa proporcioni tota la calor necessària de la instal·lació, o perquè treballi en combinació amb una caldera de suport convencional. Per a aquesta última opció, el sistema de caldera de biomassa s'encarrega de la demanda de calor base i principal, mentre que la caldera convencional cobreix les puntes de demanda de potència.

D'aquesta manera, la caldera de biomassa podria tenir una grandària aproximada del 70% de la potència màxima requerida i aconseguir cobrir fins a un 90% de la demanda total de calor.

El disseny final dependrà de les particularitats de disseny i funcionament de cada instal·lació així com de l'equilibri econòmic entre les dues opcions.

Dimensionament de la sitja d'emmagatzematge de la biomassa

Cal reservar un espai ampli i accessible per a l'emmagatzematge de la biomassa i per al sistema automàtic d'aportació a la caldera.

Per a dissenyar la mida de la sitja, s'han de tenir en compte variables com la càrrega tèrmica a cobrir, el tipus de biomassa, l'espai disponible i la seva localització (respecte de la caldera i respecte de la recàrrega des del camió de subministrament), la mida del camió de recàrrega, la fiabilitat del subministrament (temporalitat de la biomassa, per exemple), etc.

En instal·lacions situades en centres urbans, ateses les dimensions del camió de subministrament de biomassa (Figura 4.25), és important considerar les condicions/limitacions de circulació de vehicles pesants. Aquestes condicions poden ser les or-

Figura 4.25. Imatge d'un camió cisterna de subministrament de biomassa.



Taula 4.8 Indicadors del volum de la sitja de biomassa per quilowatt de potència instal·lada. Font: Guía técnica de instalaciones de biomasa térmica en edificios, IDAE. 2009.

Tipus biomassa	Densitat aparent	PCI (kJ/kg)	Volum combustible (m ³ /kW)	Volum de la sitja (m ³ /kW)			
				Sitja de sòl inclinat		Sitja de sòl horitzontal	
				Per temporada*	Per setmana	Per temporada*	Per setmana
Pèl·lets / os d'oliva	650	18.000	0,30	0,48	0,023	0,40	0,019
Estelles	250	13.000	1,10	1,77	0,084	1,44	0,069

denances que en limitin la circulació, que hi hagi prou amplada de carrers per on ha de circular el camió per arribar a les instal·lacions, que tingui prou radi de gir per a accedir a la instal·lació, etc.

Respecte de la variable “càrrega tèrmica”, el RITE exigeix una cobertura mínima de dues setmanes a potència màxima. La Guía técnica de instalaciones de biomasa térmica en edificios de l'IDAE (2009) recomana emprar també els dos criteris següents:

- 1 temporada de funcionament de la instal·lació: recàrrega de la sitja un cop a l'any.
- 1,5 vegades el volum del camió de subministrament: es podrà recarregar la sitja amb un camió complet abans que s'acabi el combustible.

Una pràctica comuna és el disseny de la sitja per a una cobertura de 3 mesos, cosa que sol significar una solució intermèdia entre les dues opcions anteriors.

En cas que hi hagi sales d'emmagatzematge, es recomana adaptar el sistema de subministrament de combustible a la sitja construïda. D'aquesta manera s'estalviarien els costos de la construcció d'una sitja nova. En aquest cas, la capacitat estarà limitada per la sala disponible.

Respecte la variable “tipus de biomassa”, a la Taula 4.8 es mostra una sèrie d'indicadors sobre el volum necessari per a la sitja, per a una cobertura d'una temporada sencera o per setmana. Com es pot veure, el volum necessari per a estelles és molt superior al de pèl·lets (entorn de 2,5 vegades més).

Emprant aquests indicadors, s'estima que, per una caldera de pèl·lets de 500 kW, seria necessari instal·lar una sitja de, com a mínim, uns 23 m³ de capacitat per tal de complir amb el RITE.

4.4.3. Integració al sistema

Com s'ha comentat a l'apartat anterior, la caldera de biomassa es pot dissenyar per a substituir completament un sistema de caldera convencional (Figura 4.26 Dreta), o bé amb una potència inferior a la requerida, i tenir una caldera convencional de suport (Figura 4.26 Esquerra).

En cas d'utilitzar la caldera convencional per a cobrir pics de demanda, la potència de la caldera de biomassa es pot reduir fins un 60-70% de la potència màxima necessària. Segons emplaçament (zona climàtica) i tipus de demanda, aquesta encara

(*) 1 temporada d'hivern – 1.500 hores

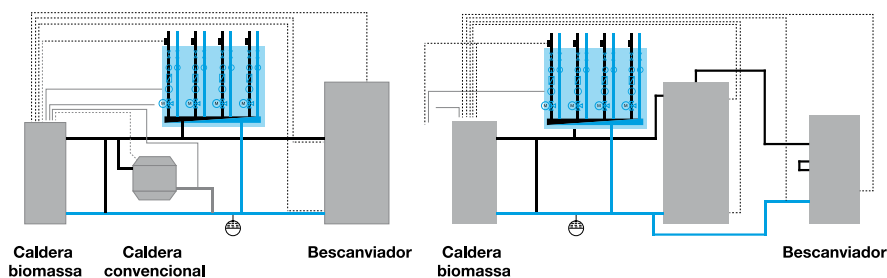


Figura 4.26. . Esquerra: caldera de biomassa amb caldera convencional. Dreta: caldera de biomassa amb dipòsit d'inèrcia. Font: Guia tècnica de instal·lacions de biomassa tèrmica en edificis. IDAE, 2009.

abastirà un 90-95% de la demanda tèrmica.

Aquesta solució és especialment avantatjosa quan es disposa d'una caldera antiga convencional, en condicions correctes de funcionament, i que pugui ser utilitzada en períodes de temps curts.

S'ha de tenir en compte, però, que les dues calderes hauran de tenir sortida de fums que sigui independent per tal de complir el RITE: "En cap cas es podran connectar a un mateix conducte de fums generadors que emprin combustibles diferents".

Respecte de la sitja d'emmagatzematge de la biomassa, hauria d'estar en un local al costat de la sala de la caldera o col·locat ben a prop d'aquest. Aquest ha d'estar en una posició accessible per als camions de subministrament del combustible, amb un espai adequat perquè hi puguin maniobrar. A l'apartat de "Tecnologia disponible de la biomassa" es pot trobar més informació sobre diferents configuracions.

4.4.4. Normativa

Les autoritzacions necessàries per a la instal·lació i legalització d'un sistema de calefacció amb biomassa són iguals que les requerides per a qualsevol altre tipus de calefacció convencional, per a calderes de combustible sòlid i, en concret, per a combustible sòlid d'origen no fòssil. Per a la concessió de les autoritzacions, les instal·lacions han de complir sempre la normativa local o nacional que els sigui aplicable.

Les instal·lacions dels sistemes de calefacció amb biomassa han de complir, en general, allò que especifica el RITE, el Reglament d'Aparells a Pressió (RAP) i els documents bàsics del CTE.

El RITE exigeix un rendiment mínim instantani del 75% a les calderes de biomassa utilitzades per a produir calor. També exclou explícitament la necessitat d'escalar la potència per a calderes de biomassa, independentment de la seva potència i exigeix una sitja d'emmagatzematge de la biomassa prou gran per a cobrir la demanda de dues setmanes.

Per a la sala de calderes és aplicable la mateixa normativa que per a calderes d'altres combustibles. La sala de calderes ha de ser projectada en estricta associació amb la sitja d'emmagatzematge de la biomassa.

Les calderes de biomassa han de respectar, igual que altres instal·lacions de combustió, uns límits d'emissió de contaminants a l'atmosfera, que generalment vénen marcats per les normatives d'àmbit local.

La normativa general de xemeneies indica que ha d'estar a una distància míni-

ma de 10 m. de les persones, i 1 m. per sobre de coberta. En l'àmbit estatal, no hi ha normativa específica per al cas de la biomassa. No obstant això, hi poden haver variacions en l'àmbit local.

La sala de màquines i la sitja hauran de complir les normes de seguretat contra incendis del CTE, generals i específiques de sitges d'emmagatzematge de combustible.

D'altra banda, l'ús de la biomassa com a font d'energia renovable permet suplir l'aportació solar mínima que estableix el CTE-HE4.

Aquest tipus d'energia també s'adiu a la normativa pel que fa a l'escalfament de piscines descobertes que estableix l'ITE 10.2 (RITE).

4.4.5. Consideracions econòmiques

En general, els costos d'inversió per a instal·lacions de biomassa són superiors a les calderes convencionals (2-3 vegades superiors). Això és degut tant a la manca de desenvolupament de sistemes de producció en sèrie d'alguns components, com per les característiques especials d'una caldera de biomassa. D'altra banda, la sitja d'emmagatzematge de la biomassa fa pujar la inversió.

El cost principal d'un sistema de biomassa és la caldera i la sitja, representant un 80-85% de la inversió total. La resta són auxiliars, instal·lació, enginyeria i legalització.

La inversió d'un sistema de caldera de biomassa és d'uns 250-500 €/kW instal·lat per a una potència de fins a 500 kW (hi ha un factor d'escala elevat en les potències inferiors fins a 200 kW). Fins a una potència d'1 MW, la inversió està entorn dels 150-250 €/kW. Finalment, a partir d'1 MW, aquesta ràtio es manté entorn dels 125-150 €/kW.

Els costos del subministrament de la biomassa depenen del tipus de biomassa, de la quantitat demanada, la distància de transport, etc. Si la biomassa prové de la indústria agroalimentària o forestal la variació dels preus també dependrà de variables com l'estacionalitat o la disponibilitat de combustible.

A la Taula 4.9 es mostra una comparació de preus de diferents tipus de biomassa. Els preus mostrats per unitat d'energia són del combustible sec.

En termes generals, l'operació i manteniment (electricitat, manteniment, assegurança) té un cost superior que un sistema convencional, però el balanç d'explotació continua sent avantatjós. Cal considerar que el preu de la biomassa com a combustible, presenta un comportament molt estable en comparació amb el preu del gas natural o del gasoil. En termes generals, aquest estalvi del cost de combustible s'estima entre un 25% i fins a un 75% (depenent del tipus de tecnologia, subministrament de biomassa, consum de calor...). D'altra banda, cal considerar també que el sobrecost de l'O&M pot representar un 5-15% d'aquest estalvi.

El període de retorn de la inversió (PRI) dependrà de cada cas particular, però, orientativament, es troba entre 6 i 9 anys.

Taula 4.9. Taula comparativa de preus de diferents combustibles biomàssics. Font: Estudio de la viabilidad del aprovechamiento de biomasa para calefacción y ACS en edificación, UPM - CMS, 2008.

(*) kWh PCI de combustible.

Biomassa	Preu (€ / kg)	Preu (Cent. € / kWh*)
Estelles	36-80	0,9 - 1,8
Pèl·lets	150-300	3,0 - 5,5
Os d'oliva	60	1,2
Closca de fruit sec	60	1,3
Poda olivar	36-50	0,8 - 1
Poda vinya	36-50	0,8 - 1,1

4.5. Bombes de calor geotèrmiques

Als centres esportius, els recursos geotèrmics se centren en aprofitar la capacitat del subsòl de presentar una important inèrcia tèrmica i, a partir de certa profunditat, una temperatura constant. En concret, l'àmbit d'aplicació se centra en els recursos a poca profunditat, que són els que es troben a menys de 400 m de profunditat.

A la Taula 4.10 es mostra que, en els primers 10-15 metres de l'escorça terrestre, la temperatura de la terra rep la influència directa de l'emmagatzematge d'energia solar i, per tant, de les estacions. S'observa aquesta influència de les estacions i com disminueix amb la profunditat. L'amplitud de les oscil·lacions tèrmiques decreix i els seus màxims i mínims es van desfasant.

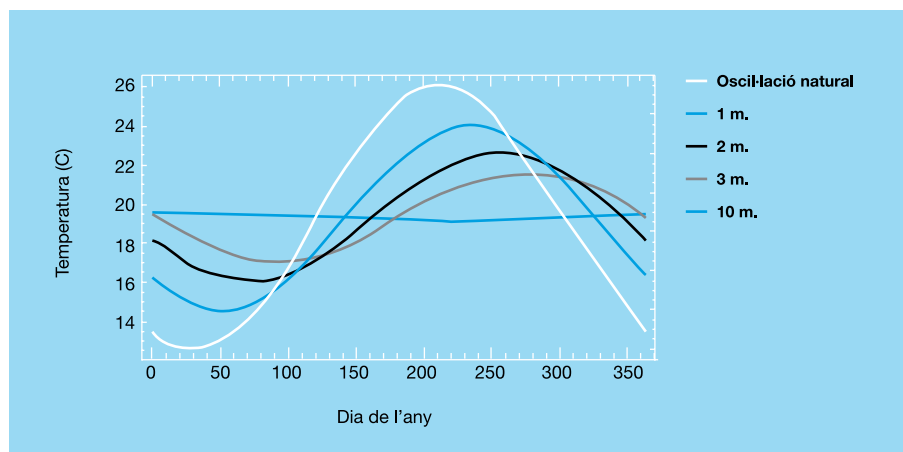
A partir d'aquesta profunditat (10 – 15 m.), la temperatura és constant al llarg de l'any, presentant una petita oscil·lació entre la temperatura de la terra i la temperatura ambient. Aquesta oscil·lació es troba decalada ja que a l'estiu la temperatura del subsòl és menor que la temperatura ambient i, a l'hivern és més calenta al subsòl que a la temperatura ambient. Cal considerar també l'energia radiant del nucli terrestre i l'aportació de calor de les substàncies radioactives que es troben sota l'escorça terrestre. Per aquest motiu, a partir de 50-100 m, s'estableix la Llei del gradient geotèrmic que determina un augment de 3°C per cada 100 m de profunditat addicional.

Els comportaments de les zones tèrmiques del subsòl indicats a la Taula 4.10 són orientatius, i cal considerar que aquests poden variar en funció del tipus de subsòl. A la Taula 4.11 es mostren els valors indicatius de conductivitat tèrmica per diferents tipologies de subsòl. Per aquest motiu s'aconsella realitzar un sondeig previ i un estudi geotècnic que permeti fixar les característiques reals del terreny.

Profunditat	Comportament tèrmic
0 a 0,5 m	La temperatura fluctua segons la temperatura exterior.
0,5 a 10 m	La temperatura es veu afectada segons les estacions.
10 a 50/100 m	Zona estable.
> 50/100 m	A partir d'aquí s'inicia la zona de gradient geotèrmic.

Taula 4.10. Zones tèrmiques del subsòl.
Font: Unión Española de Geotermia (UEG)

Figura 4.27. Variació de temperatura del subsòl durant un any, segons profunditat.
Font: Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica. IDAE – ATECYR. 2008



Cal remarcar que aquesta tecnologia permet utilitzar l'aigua continguda per sota del nivell freàtic, tant si és aigua estancada com aigua corrent. En el cas d'utilitzar una massa d'aigua com a acumulador tèrmic de referència destaquen dues tipologies d'instal·lació: instal·lacions en cicle obert i instal·lacions en cicle tancat.

En el cicle obert (Figura 4.28 Esquerra) s'extreu l'aigua subterrània directament dels pous i es porta directament a les bombes d'aigua. Aquestes configuracions necessiten un pou de producció i un pou de recàrrega. En el cas de treballar amb aigua d'aquífer és especialment interessant si es troba un corrent d'aigua.

En el cicle tancat (Figura 4.28 Dreta) es fa servir la terra com a font de calor. Una sèrie de tubs (bucles) s'enterren a terra, a prop de l'edifici, verticalment o horitzontalment.

4.5.1. Tecnologia disponible

En els sistemes d'energia geotèrmica de baixa entalpia s'utilitzen bombes de calor que aprofiten l'estabilitat de la temperatura del terra per tal de fer-ne augmentar el rendiment.

Aquests equips funcionen a l'hivern per a produir calefacció absorbint calor del subsòl i, a l'estiu, per a produir aire condicionat cedint calor al subsòl. D'aquesta manera, el balanç anual d'energia aportada al terreny és aproximadament neutre.

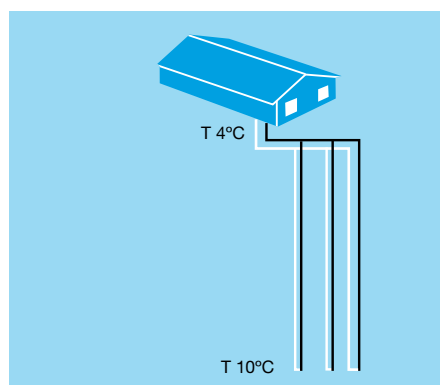
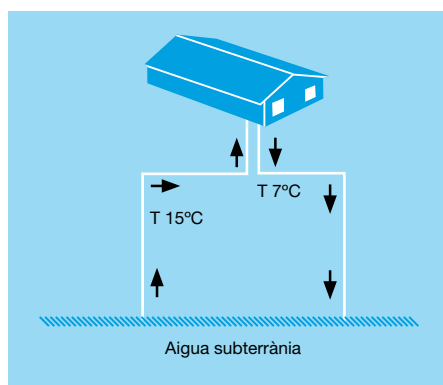
A la Figura 4.29 es mostra un esquema de funcionament d'una bomba de calor geotèrmica en mode hivern i en mode estiu.

Les bombes de calor convencionals solen realitzar el bescanvi de calor amb l'aire exterior, el qual és molt variable. A més, quan la temperatura exterior és extrema, tant a l'hivern com a l'estiu, acostumen a tenir eficiències molt baixes.

Taula 4.11. Conductivitat tèrmica del sòl.
Font: CIATESA

Figura 4.28. Esquerra: Geotèrmia de cicle obert. Dreta: Geotèrmia de cicle tancat (configuració vertical).
Font: Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Tipus de sòl	Conductivitat tèrmica (W/m-K)
Sorra (o grava)	0,77
Llims	1,67
Argila	1,11
Marga	0,91
Sorra saturada	2,50
Argila saturada	1,67



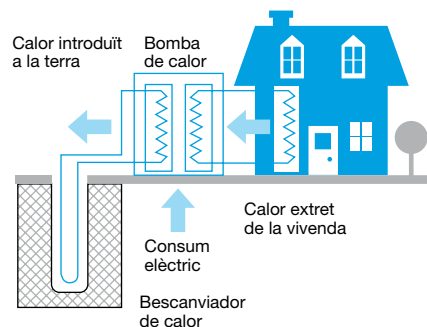
La bomba de calor geotèrmica, pel fet de realitzar el bescanvi de calor amb el terra és molt més eficient que una de convencional. D'una banda, es tenen condicions de bescanvi molt més estables i, de l'altra, treballen durant moltes més hores a l'any en condicions properes a les ideals per a aquest tipus de màquina tèrmica.

L'aplicació òptima de bomba de calor geotèrmica és combinar-la amb la climatització per terra/sostre radiant, ja que aquestes utilitzen unes temperatures d'impulsió d'aigua freda de 15°C, enlloc dels 7°C dels sistemes de distribució d'aire condicionat convencionals. En produir calor, també hi ha un estalvi notable: els radiadors tenen poca superfície i treballen a 80°C, mentre que el terra radiant té una superfície superior i treballa bé entorn als 50-60°C.

En general, la geotèrmia necessita molta extensió per a instal·lar-la, especialment en el cas de la geotèrmia de superfície. Hi ha dues configuracions de bescanvi de calor amb el subsòl: L'horitzontal i la vertical (Figura 4.30). A la Taula 4.12 es mostra una comparació de característiques principals d'aquestes dues configuracions.

La configuració vertical, tot i necessitar una inversió inicial més elevada per les perforacions, s'ha convertit en el sistema més comú a l'Europa central i del nord. Això és motivat pel poc espai que necessiten en comparació i pel seu millor rendiment.

Estiu (refrigeració)



Hivern (calefacció)

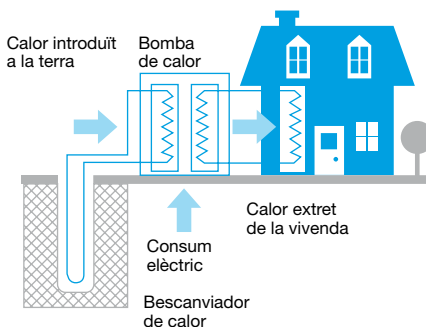
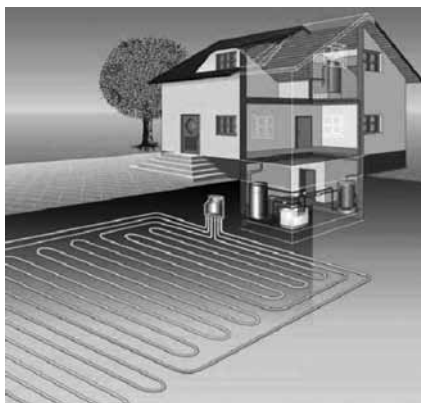


Figura 4.29. Esquema de funcionament de la bomba de calor geotèrmica. Font: Guia técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotèrmica. IDAE – ATECYR, 2008

Figura 4.30. Esquerra: Bescanvi de calor horitzontal. Dreta: Bescanvi de calor vertical. Font: Estalvi i eficiència energètica en edificis públics. Quadern Pràctic número 2. ICAEN 2009



Taula 4.12. Comparació de les configuracions horitzontal i vertical en el bescanvi geotèrmic. Font: elaboració pròpia a partir de Estalvi i eficiència energètica en edificis públics. Quadern Pràctic número 2. ICAEN. 2009 i Unión Española de Geotermia (UEG)

	Configuració horitzontal	Configuració vertical
Bucles	Col·lectors geotèrmics	Sondes geotèrmiques o pous
Profunditat	S'acostuma a col·locar a una profunditat entre 80 i 160 cm	Pot arribar fins a 400 m. S'aconsella no superar els 180 m. Acostumen a ser entre 50 i 150 m.
(+) Avantatges	No necessita perforacions, per la qual cosa la inversió és inferior.	• Necessita molt menys espai i menys longitud de tub. • Més eficient i més econòmic en l'exploració: La temperatura és constant i més propera a condicions ideals de treball.
(-) Desavantatges	• Necessita molta més extensió • Menys eficient i més cara d'exploració: en aquestes profunditats encara és molt sensible a les condicions exteriors i s'allunya més de les condicions ideals de treball.	La inversió és més elevada per necessitar perforacions.

Quan la superfície disponible és limitada, la configuració vertical seria l'opció més idònia. Això fa que per a instal·lacions ja construïdes, normalment es descarti d'entrada la configuració horitzontal. A més, si les condicions del sòl inclouen roca dura, la configuració vertical podria ser l'única opció disponible.

Aquest capítol se centra en la tecnologia de la bomba de calor geotèrmica, no obstant, cal mencionar l'existència de tecnologies afins com els bescanviadors terra-aire i les estructures termoactives.

Els bescanviadors terra-aire consisteixen en un sistema de tubs pels quals circula aire que bescanvien calor amb la terra que els envolta. Aquests s'instal·len aprofitant les obres de cimentació de nous edificis, i això implica un cost d'instal·lació i manteniment relativament baix. Són útils com a pretractament de l'aire, reduint la necessitat d'energia per al seu tractament.

Per a noves construccions, hi ha la possibilitat d'aprofitar l'energia geotèrmica de superfície mitjançant estructures termoactives, integrant les sondes als fonaments de l'edifici, ja siguin pilots o sabates. En aquesta alternativa, els pilots termoactius poden estar connectats a una bomba de calor o emprar-se directament com a bescanviador, és a dir, integrat dins l'estructura mateixa. Aquesta última opció fa guanyar inèrcia tèrmica als tancaments (i, per tant, augmentar la independència de les condicions exteriors i reduir els guanys o pèrdues tèrmiques a través de l'envolupant), i per això també se'ls anomena sistemes inercials.

4.5.2. Dimensionament i paràmetres del sistema

Per a col·lectors horitzontals, es pot recuperar una potència d'uns 30 W/m². Aproximadament, un metre de tub recupera de 10 a 15 W de potència tèrmica. Els tubs han d'estar enterrats a uns 0,6 m de profunditat, amb separacions entre ells de 0,4 m, i a 3 m de l'edifici.

Per a sondes verticals, a una profunditat de 50 a 150 metres, s'estima que la potència recuperada és de 50 W/m de profunditat instal·lada, sense comptar els primers 10 metres. Si l'estrat és de baixa qualitat, es recuperen uns 30 W/m. La distància entre ells ha de ser prou com per a poder dissipar la calor necessària sense que el terra s'acabi saturant (5-6 m). El diàmetre de les sondes és d'uns 125 mm.

Aquests valors tèrmics són orientatius, ja que en el moment de dissenyar la instal·lació s'ha de realitzar un sondeig per a conèixer les característiques reals del subsòl.

	Horitzontal	Vertical
Potència recuperada	10 a 15 W/m de col·lector (30 W/m ² de superfície).	50 W/m de profunditat (els 10 primers metres no compten).
Separació	0,4 metres entre tubs. A 3 m de l'edifici.	5-6 metres entre pous.
Superfície necessària per a bescanviador geotèrmic de 60 kW	60.000 W / 30 W/m ² . 2.000 m ² d'extensió	Realitzant pous de 160 m (150 m de bescanvi efectiu) es tindrien pous de 7,5 kW. 60 kW / 7,5 kW/pou ► 8 pous. Amb una matriu de 2 x 4, s'ocuparia una superfície de 108 m ² .

Taula 4.13 Exemple comparatiu de dimensionament del bescanviador geotèrmic. Font: elaboració pròpia amb combinació de dades de CIATESA.

A la Taula 4.13 es mostra un exemple d'aplicació d'aquestes ràtios per al disseny d'un bescanviador geotèrmic de 60 kW, en configuració horitzontal i en vertical. Com es pot veure, l'extensió necessària per a la configuració horitzontal és molt elevada i, en aquest exemple, és vint vegades superior a la configuració vertical.

Una bomba de calor geotèrmica es pot dissenyar perquè proporcioni tota la producció de calor (o fred), o de manera que es reparteixi la càrrega amb una bomba de calor convencional.

Motivat per la gran inversió necessària per les perforacions, és aconsellable tenir un sistema geotèrmic i un altre sistema convencional. La bomba de calor geotèrmica es dissenya per a maximitzar el seu funcionament a plena càrrega. La resta de la demanda tèrmica es cobreix amb el sistema convencional.

4.5.3. Integració al sistema

La principal consideració de disseny i, consegüentment d'integració, d'un sistema geotèrmic és la instal·lació del bescanviador geotèrmic i per això cal disposar de superfície per a instal·lar-lo (més amb sistema horitzontal i menys amb el vertical).

En el cas d'edificis de nova construcció, hi ha la possibilitat d'integrar els col·lectors als fonaments estructurals de l'edifici: soleres, sabates i pilones.

La integració de la bomba de calor geotèrmica en el sistema de producció d'aigua calenta i aigua freda, és igual que per a una bomba de calor convencional.

En el cas de tenir els dos sistemes, geotèrmic i convencional, aquests s'integrarien de la mateixa manera que si hi hagués dos equips de bomba de calor convencional. És a dir, connectats a un mateix col·lector.

4.5.4. Normativa

L'ús de l'energia geotèrmica com a font d'energia renovable permet suplir l'aportació solar mínima que estableix el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE-HE4).

La realització de la perforació requereix tràmits administratius i autoritzacions en l'àmbit local i autonòmic.

Per a aquests dos punts serà necessari presentar un projecte i una memòria resum, respectivament¹⁰.

4.5.5. Consideracions econòmiques

Un sistema de bescanvi geotèrmic mitjançant sondes verticals té un cost aproximat de 800–1.000 €/kW instal·lat.

L'estalvi energètic prové de l'augment de l'eficiència energètica de la bomba de calor, respecte a un bescanvi de calor amb aire. El COP de les bombes geotèrmiques (5–6) duplica el COP de les convencionals.

L'estalvi econòmic d'explotació s'estima entre un 30 i un 50%, tot depenent de les característiques del subsòl, de la bomba de calor instal·lada i de les particularitats de consum de la instal·lació.

És necessari realitzar un estudi inicial de les característiques del subsòl realitzant un sondeig per a realitzar el disseny del bescanviador geotèrmic, amb un cost entre 3.000 i 5.000 €.

El període de retorn d'aquestes instal·lacions és elevat, entorn als 10 anys, encara que dependrà de cada cas particular. La vida útil dels bescanviadors geotèrmics és més de 30 anys, i si s'han emprat bons materials, i s'ha realitzat una bona instal·lació, poden arribar als 50 anys. Això fa que a llarg termini sigui una inversió rendible.

4.6. Tractament de l'aire

4.6.1. Ventilació

La ventilació consisteix en renovar l'aire interior d'un recinte, mitjançant l'extracció d'aire interior que se substitueix per aire nou exterior, amb la finalitat de controlar la qualitat de l'aire interior.

La renovació ha de poder ser aturada en els moments de no-ocupació o no-contaminació de les sales i es recomana que hi hagi dispositius de ventilació independents per a les sales que tenen horaris de funcionament i contaminacions diferents.

Tradicionalment, el cabal d'aire exterior s'ha elegit en funció de la superfície de la sala o del nivell d'ocupació. En instal·lacions amb intermitències d'ús, ocupacions variables, diferents nivells d'activitat, presència o no d'espectadors, etc., com passa amb les instal·lacions esportives, és aconsellable portar a terme la renovació de l'aire en funció de la qualitat de l'aire interior. A la Taula 2.5 del capítol 2 es mostra la classificació de la qualitat de l'aire interior, que va d'IDA1 (el més pur) a IDA 4. En instal·lacions esportives, la qualitat de l'aire és IDA3, excepte per al recinte de la piscina, que ha de ser IDA2.

En llocs amb ocupació humana regular s'utilitza el paràmetre de cabal per persona, mentre que el cabal per unitat de superfície s'utilitza per a locals amb ocupació humana no permanent. A la Taula 2.6 del capítol 2 s'indiquen aquests valors.

El RITE estableix les concentracions màximes de CO₂ per a locals amb elevada activitat metabòlica, com els locals per a l'esport i activitats físiques, sales de festes, etc. (Taula 4.14).

Per a locals amb elevada producció de contaminants (piscines, restaurants, etc.) el RITE recomana utilitzar el mètode de la dilució que s'especifica a la UNE-EN 13779:2007. Per a piscines climatitzades, l'aire exterior de ventilació necessari per a la dilució dels contaminants serà de 2,5 l/s·m² de superfície de làmina d'aigua i platja. A aquest cabal caldrà afegir-li el necessari per a controlar la humitat relativa.

El control dels nivells de CO₂ indicats a la Taula 4.14 es pot assolir de manera automatitzada amb les sondes de CO₂.

Les sondes de CO₂ mesuren la concentració de CO₂ i donen un senyal d'acord amb el valor mesurat. No estan afectades per altres gasos i es basen, generalment, en l'espectrografia d'infrarojos per a mesurar l'anhídrid carbònic. El seu rang de mesurament pot anar de 0 a 2.000 ppm o de 0 a 6.000 ppm i el seu cost de l'ordre dels 500 €/unitat.

A banda de la sonda de CO₂, aquesta mesura necessita que s'instal·li una comporta a cada sortida d'aire regulada per la sonda, cablejat per al sistema de regulació i la integració al sistema de control. Cada sonda CO₂ més cablejat surt per uns 1.000 € i

Categoria	ppm ¹
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1.200

Taula 4.14. Concentració de CO₂ en locals. Font: UNE-EN 13779:2008
(1) concentració de CO₂ (en parts per milió en volum) per sobre de la concentració a l'aire exterior.

Categoria	Tipus	Descripció	Aplicació
IDA -C1		El sistema funciona contínuament.	Caràcter general
IDA -C2	Control manual	El sistema funciona manualment, controlat per un interruptor.	Locals no dissenyats per a ocupació humana permanent
IDA -C3	Control per temps	El sistema funciona d'acord a un determinat horari	
IDA -C4	Control per presència	El sistema funciona per un senyal de presència (encesa de llums, infrarojos, etc.).	
IDA -C5	Control per ocupació	El sistema funciona depenent del nombre de persones presents.	Locals de gran ocupació, com teatres, cinemes, sales d'actes i recintes per a l'esport.
IDA -C6	Control directe	El sistema està controlat per sensors que mesuren paràmetres de qualitat de l'aire interior (CO ₂ o VOC).	

Taula 4.15 Control de la qualitat de l'aire interior

la integració de tots els punts de regulació amb CO₂ al sistema de control ascendiria a uns 10.000 € en el total de l'edifici.

Amb aquesta solució es racionalitza el consum energètic, ja que es modula el cabal d'aire exterior de manera automàtica en funció de la contaminació interior (correlacionada amb l'ocupació). L'estalvi es pot donar tant per la reducció de la potència del ventilador que ha de vehicular l'aire exterior, com pel fet que es minimitza l'aire exterior a climatitzar en el cas de tractar-se d'una dependència climatitzada.

Per a poder obtenir l'estalvi associat a la disminució de potència del motor, es necessiten variadors de tensió i freqüència, solució rendible per a motors trifàsics amb potències superiors a 5 kW en general. Amb aquests reguladors, si hi ha una reducció del 20% en el cabal aportat, la potència consumida baixa per sota del 50%.

Per a motors més petits i monofàsics la solució més rendible és aplicar un regulador de voltatge, en aquest cas, les revolucions del ventilador es poden reduir, però la intensitat que circula pel circuit augmenta, amb la qual cosa a penes hi ha estalvi elèctric, però sí tèrmic en el cas de tractar-se d'una dependència climatitzada.

Hi ha un altre sistema de ventilació, correntment aplicat en altres països, però d'escassa representació a Catalunya per la inversió que comporta, que consisteix en la ventilació per desplaçament. Aquest sistema es basa en el fet que els elements contaminats generats en un espai tendeixen a elevar-se cap al sostre. El principi de funcionament consisteix a introduir l'aire exterior a baixa velocitat (de l'ordre de 0,45 m/s) per la zona baixa de la dependència i evacuar l'aire viciat per la part superior. L'aire pol·lucionat és desplaçat per aire net sense induir la mescla d'aquests, amb la qual cosa la qualitat de l'aire de la zona ocupada és superior a la que s'obté amb la ventilació per mescla, i no és necessari introduir tant aire exterior.

Els requisits en ventilació del RITE defineixen que la qualitat de l'aire interior serà controlada per un dels mètodes enumerats a la Taula 4.15; els dispositius de control tipus tot o res es limiten al control del funcionament de la ventilació de sales de màquines amb ventilació forçada; i que els ventiladors de més de 5m³/s portaran incorporat un dispositiu indirecte per a mesurar i controlar el cabal d'aire.

4.6.2. Emissors de calor

Hi ha dues filosofies de sistemes d'emissió de calor: els basats en la radiació i els basats en la impulsió d'aire calent. Ambdós sistemes són correctes però, en general, els primers ofereixen més confort a l'usuari, ja que s'eviten velocitats d'aire excessives en determinades zones, estratificació de temperatures...

D'altra banda, els emissors poden ser alhora generadors de calor o unitats terminals d'un sistema centralitzat, amb distribució per aigua (o refrigerant) o per aire. Per tant, es necessiten bombes i ventiladors per a moure els fluids.

A banda, el RITE exigeix la instal·lació de sistemes de comptabilització de consums d'energia. Al capítol "4.3 Monitorització de consum", s'exposen aquests requisits.

4.6.2.1. Impulsió d'aire calent

Els sistemes d'impulsió d'aire calent aporten generalment prou confort per la quantitat de solucions tècniques que hi ha disponibles i que es poden adaptar a les diferents necessitats. Hi ha, fins i tot, solucions que també integren la ventilació.

Són els sistemes més corrents, pel caràcter tradicional, el cost d'inversió moderat i la bona adaptabilitat que tenen als grans volums. Es distingeixen principalment:

- **Climatitzadors:** equip de condicionament d'aire (fred o calor) que conté elements per al moviment, renovació, filtració i refrigeració o calefacció de l'aire. També s'anomena UTA o Unitat de Tractament d'Aire.

- **Aerotermos:** emissor de calor que a la vegada és generador. Els aerotermos a gas estan constituïts per un ventilador, un filtre, un cremador i un bescanviador.

- **Fan-coils:** equip de condicionament d'aire (fred o calor) constituït per una bateria de bescanvi tèrmic, un ventilador amb diferents velocitats i un filtre.

- **Radiadors.**

Per a fer-ne un bon disseny, s'han de considerar els aspectes següents:

1-Temperatures moderades d'impulsió de l'aire (entorn dels 40°C) amb què es redueix el risc d'estratificació de l'aire.

2-Punts d'impulsió i retorn ben situats per assegurar una correcta difusió i mescla de l'aire.

3-Fer un correcte equilibratge per a disminuir els consums energètics i el nivell sonor.

4.6.2.2. Sistemes radiants

Els sistemes radiants ofereixen el confort necessari als ocupants, tot deixant l'aire ambient a una temperatura inferior a la que ofereixen els sistemes tradicionals amb l'estalvi energètic que això implica. Es tracta de sistemes que permeten una zonificació fàcil per a limitar el consum d'energia a les zones estrictament ocupades.

Els emissors que es basen en aquesta tècnica són:

- **Tubs radiants:** equips de calefacció, situats a la part superior dels recintes, constituïts per tubs que radien cap a l'espai esportiu la calor que transmeten els fums de combustió que circulen pel seu interior.

- **Panells radiants:** panells, situats al sostre de les dependències, per on circula aigua calenta o freda i que radien la calor cap a la zona d'activitat.

- **Terra radiant:** circuit de canonades situades sota el paviment dels locals, per on circula aigua calenta o freda. A la Figura 4.31 se'n pot veure una secció.

- **Radiadors.**

L'alçada on s'ha de col·locar l'emissor de radiació està relacionada amb la temperatura que té, tal com es veu a la Figura 4.32.

Els radiadors, en escalfar l'aire tant per convecció com per radiació, estan inclosos en ambdós sistemes. Aquests diferents sistemes d'emissió de calor seran comentats amb més detall quan se'n concreti l'aplicació per a les tipologies d'instal·lacions esportives per als quals són idonis.

4.6.3. Recuperadors de calor

Segons el RITE, en els sistemes de climatització en què el cabal d'aire expulsat a l'exterior sigui superior a 0,5 m³/h serà obligatori recuperar l'energia de l'aire expulsat. El reglament esmentat estableix les eficiències mínimes en calor sensible sobre l'aire exterior i les pèrdues de pressió màximes en funció del cabal d'aire exterior i de les hores anuals de funcionament (Taula 4.16). Per a piscines climatitzades, caldrà complir les exigències de >6.000 hores, en funció del cabal. Seguidament, es comenten les característiques dels recuperadors de plaques i rotatius.

Hores anuals de funcionament	Cabal d'aire exterior (m³/s)									
	>0,5...1,5		>1,5...3,0		>3,0...6,0		>6,0...12		>12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
≤2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
>2.000...4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
>4.000...6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
>6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

Taula 4 16. Eficiència de la recuperació de calor. Font: Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis (RITE). 2009

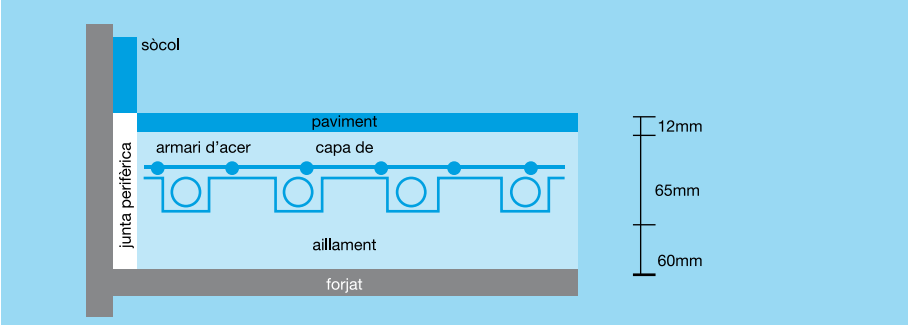


Figura 4.31. Secció terra radiant. Font: CSTB (Centre Científic i Tècnic de l'Edifici) de França. Estudi del gimnàs de Grosbliedersdtruff. Cortesia de Multibeton®.

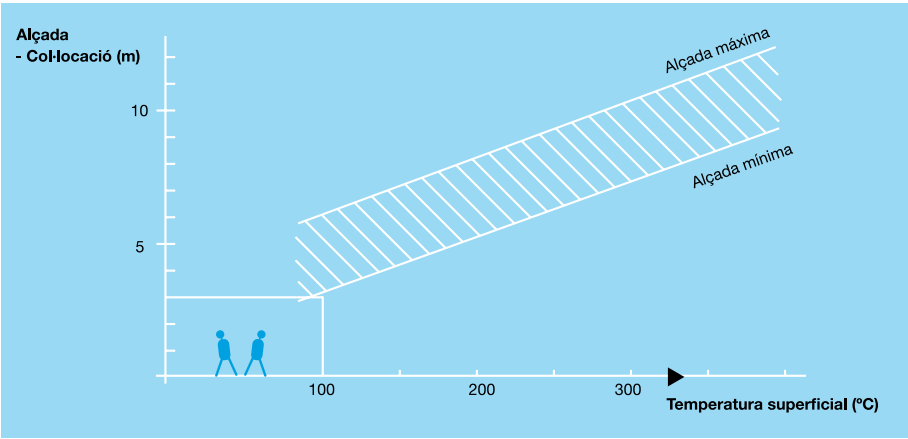


Figura 4.32. Alçada de col·locació d'un element radiant en funció de la seva temperatura. Font: Guide pour la maîtrise de l'énergie dans les équipements, temps libre/jeunesse et sports existants. Ministère du temps Libre. Agence Française pour la Maitrise de l'Énergie; Paris; 1982.

4.6.3.1. Recuperador de plaques

Estan constituïts per plaques llires o ondulades (fet que permet incrementar el coeficient de transmissió superficial del fluid que circula perpendicularment a les ondulacions).

Les característiques de funcionament són:

- El bescanvi de calor es produeix entre dos fluxos d'aire a través de plaques.
- Els dos fluxos circulen rigorosament separats, de manera que no hi ha cap contaminació de l'aire nou per part de l'aire d'extracció.
- No hi ha cap peça mòbil i, per tant, no es produeix cap mena de desgast.

Els fluxos d'aire poden ser oposats, creuats o paral·lels, tot i que la disposició més comuna és la de fluxos creuats. Els recuperadors de calor es poden muntar per unitats o en sèrie, incrementant així la seva eficiència en un 20-30% per unitat.

Aquests bescanviadors estan fabricats majoritàriament d'alumini.

Per a obtenir el màxim rendiment del recuperador, hi ha d'haver regulació del cabal d'aire d'extracció, de manera que, si la temperatura de l'aire nou a la sortida de l'aparell és més gran que la desitjada (en cas d'estar calefactant), s'ha de reduir el cabal d'aire evacuat que passa pel recuperador. Això s'aconsegueix mitjançant un bypass, que és comandat pel conjunt regulador/sensor de temperatura de l'aire nou a la sortida. El mateix concepte s'aplicaria quan el que es vol és refrigerar. Quan les condicions exteriors són desfavorables, s'ha de maximitzar la recuperació de calor, però si les condicions exteriors són més favorables, llavors és millor fer circular l'aire evacuat pel bypass.

El dimensionament d'aquests aparells va determinat pel cabal que els ha de travessar, de manera que es mantingui la pèrdua de càrrega pels dos fluxos en un valor òptim. La característica que defineix l'eficiència energètica d'aquest element és el rendiment sec (quan no hi ha condensacions) segons l'Equació 4.6.

$$\eta = \frac{T_a - T_2}{T_1 - T_2}$$

En què:

T_1 : temperatura de l'aire d'extracció a l'entrada del recuperador.

T_2 : temperatura de l'aire nou a l'entrada del recuperador.

T_3 : temperatura de l'aire nou a la sortida del recuperador.

Per a valors donats de velocitat i temperatura dels dos corrents d'aire, aquest factor és un paràmetre característic del recuperador. El rendiment pot variar des d'un 50 % fins a un 80 % depenent del tipus (de manera que es poden assolir rendiments superiors a un cost molt més elevat en haver d'augmentar la superfície de contacte).

Els recuperadors més utilitzats tenen rendiments entre un 50 i un 60 %, amb una pèrdua de pressió de 120 a 200 Pa.

L'escalfament (o refredament) de l'aire nou depèn del tipus d'aplicació, de la humitat absoluta de l'aire evacuat i de la relació de cabals aire nou/aire evacuat.

Com que el flux d'aire evacuat conté més vapor d'aigua, hi ha perill de glaçada si la temperatura del costat exterior de l'aparell baixa per sota de zero graus. La temperatura límit de gelada no ha de ser sobrepassada durant el funcionament, perquè el gel que es forma així fa augmentar la pèrdua de càrrega. Si l'entrada s'obtura totalment pel gel, es pot produir deterioració del recuperador. Per a temperatures molt baixes, s'han de prendre mesures per a evitar la gelada com l'escalfament previ de l'aire nou, o la barreja d'aquest aire amb l'aire calent. La protecció contra el gel es pot aconseguir també per variació de la relació dels cabals d'aire (disminució del volum d'aire nou).

4.6.3.2. Recuperador rotatiu

El recuperador rotatiu (Figura 4.33) està constituït per una estructura de suport i protecció, que conté un element cilíndric, i el motor que el fa girar. El rotor, d'un material semblant al cartró ondulat normal, és el que constitueix la massa acumuladora. A causa d'aquesta constitució fibrosa i ondulada, hi ha una gran superfície interna de bescanvi de calor.

En el cas d'estar en mode de calefacció, dos corrents d'aire travessen el recuperador; un és el de l'aire calent d'extracció i l'altre és el de l'aire fred que es vol escalfar. Els dos fluxos es mouen a contracorrent.

L'aire d'extracció es refreda en travessar les fibres del rotor. Atès que aquest element és en constant rotació, quan arriba el corrent fred, li cedeix la calor absorbida anteriorment.

L'element cilíndric pot ésser impregnat d'una substància absorbent i, aleshores, la recuperació s'estableix no solament sobre la calor sensible, sinó també sobre la calor latent. En aquestes circumstàncies el recuperador asseca l'aire d'extracció. Així doncs, cal distingir dues aplicacions diferents d'aquests aparells: com a recuperador de calor i com a assecador.

Per a un recuperador rotatiu, a més del rendiment sec, es pot definir l'eficiència de recuperació de la humitat, tal com es mostra a l'Equació 4.7.

$$\psi = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - X_3}$$

En què:

X_1 : humitat absoluta de l'aire d'extracció a l'entrada del recuperador.

X_2 : humitat absoluta de l'aire nou a l'entrada del recuperador.

X_3 : humitat absoluta de l'aire nou a la sortida del recuperador.

Segons el cabal i la densitat de la massa acumuladora del rotor, el rendiment sec o humit del recuperador varia entre el 60 i el 90 % (els valors normals estan entre el 70 i el 80 %). Per a una velocitat màxima del rotor es disposarà del 100 % del rendiment màxim que pot donar el recuperador.

L'eficiència del recuperador de calor i, per tant, la temperatura de l'aire d'impulsió, es poden regular amb gran precisió variant el nombre de revolucions del motor. La regulació es fa mitjançant un termòstat que actua sobre un motor de corrent altern que comunica el moviment al rotor per mitjà d'una corretja.

A la Taula 4.17 es mostra el preu orientatiu d'una UTA amb recuperador de calor de plaques o rotatiu. Aquests preus de les UTA són per a obtenir una qualitat de l'aire IDA3.

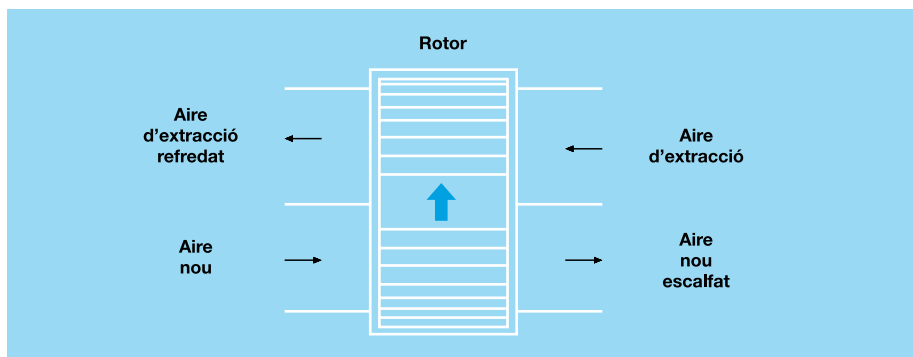


Figura 4.33. Esquema de funcionament d'un recuperador de calor rotatiu.

4.6.4. Refrigeració

La refrigeració es presenta com un servei necessari a les sales o recintes que poden presentar un gran nombre d'usuaris o espectadors. A l'hivern, amb la utilització directa de l'aire exterior n'hi ha prou però, a l'estiu, es necessita el funcionament de climatitzadors en mode de refrigeració.

La refrigeració acostuma a ser imprescindible també a les sales que no entren en contacte amb la pell de l'edifici i, per tant, on la calor generada pels esportistes i l'equipament és de difícil evacuació, així com les dependències amb una petita volumetria i molta càrrega interna com ara les sales de musculació. En aquests casos es poden utilitzar climatitzadors, equips autònoms compactes o multi-splits.

Les tecnologies d'ús racional de l'energia en la refrigeració d'instal·lacions esportives són:

- Free-cooling.
- Refredadores amb recuperació de calor.
- Variació de les revolucions del compressor.
- Refredament evaporatiu.

És recomanable disposar també d'una sonda de qualitat d'aire (CO_2) per a modular l'entrada d'aire exterior i, per tant, refredar només l'espai estrictament necessari.

Igual que en la generació de calor, el RITE també s'aplica a la refrigeració, i obliga a dotar les instal·lacions tèrmiques dels sistemes de control automàtics necessaris per a mantenir les condicions de disseny previstes en els locals, ajustant els consums d'energia a les variacions de la càrrega tèrmica. També limita els controls de tipus tot o res a les aplicacions següents relacionades amb la generació de calor:

- Límits de seguretat de temperatura i pressió.
- Control de l'emissió tèrmica de generadors d'instal·lacions individuals.
- Control de la temperatura d'ambient servits per aparells unitaris, sempre que la potència tèrmica nominal del sistema no sigui superior a 70 kW.

A banda dels elements de regulació i control, el RITE exigeix la instal·lació de sistemes de comptabilització de consums d'energia. Al capítol "4.3 Monitorització de consum" s'exposen aquests requisits.

4.6.4.1. Free-cooling

El Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis estableix que els subsistemes de climatització tot aire de potència tèrmica nominal superior a 70 kW, en règim de refrigeració, hauran de disposar d'un sistema de free-cooling per aire exterior.

L'objectiu bàsic d'un sistema free-cooling (Figura 4.34) és realitzar una comparació entàlpica (temperatura i humitat relativa) entre l'aire exterior i l'aire interior de retorn. En cas que l'entalpia de l'aire de retorn sigui superior a la de l'aire exterior es procedirà a un aprofitament directe d'aquest aire exterior (refredament gratuït), i l'ús de la bateria de fred es minimitzarà sobretot en les èpoques intermèdies (tardor, primavera) aportant, a més, una sobreventilació amb la qual es millora substancialment la qualitat de l'aire interior.

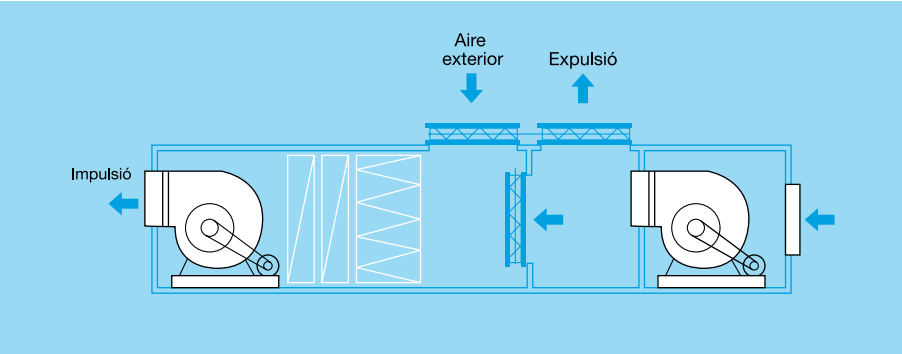
4.6.4.2. Refredadores amb recuperació de calor

Els equips de refrigeració basats en la compressió disposen d'un o d'uns evaporadors a través dels quals, el refrigerant absorbeix calor de la dependència o del retorn de l'aigua freda, segons es tracti d'un sistema d'expansió directa o d'una central de

Tipus de recuperador	Cabal (m³/h)	Eficiència recuperador (%)		Potència recuperació (kW)		Preu UTA (€)
		Estiu	Hivern	Estiu	Hivern	
Plaques	15.000	51,6	54,5	15,5	57,4	15.000
Rotatiu	15.000	65,1	65,1	67,2	104,8	21.000

Taula 4.17 Exemples de característiques i costos d'UTA amb recuperadors.

Figura 4.34. Climatitzador amb free-cooling.



Taula 4.18 Exemples de característiques i costos d'UTA amb recuperadors i free-cooling.

Tipus de recuperador	Cabal (m³/h)	Eficiència recuperador (%)		Potència recuperació (kW)		Preu UTA (€)
		Estiu	Hivern	Estiu	Hivern	
Plaques	15.000	51,6	54,5	15,5	57,4	15.000
Plaques + Free-cooling						16.000
Rotatiu	15.000	65,1	65,1	67,2	104,8	21.000
Rotatiu + Free-cooling						23.000

producció d'aigua freda. En aquest darrer cas, la calor que és vehiculada als condensadors pot ser recuperada amb un condensador aigua-aigua, per calefacció o aigua calenta sanitària.

Les bombes de calor deshumectadores ja integren aquesta recuperació en la seva concepció.

4.6.4.3. Modulació dels compressors

Per a equips de tipus split o multisplit, la modulació del funcionament dels compressors, en funció de la càrrega frigorífica o calorífica, es pot dur a terme quan té acoblat un inverter o variador de freqüència. El variador permet una modulació continua (no per etapes) dels compressors, tecnologia que s'aplica a màquines petites.

Hi ha compressors de pistó que permeten realitzar una variació discreta (o sigui, per etapes) de la potència frigorífica de l'equip. El compressor ha de disposar de diferents blocs de pistons; aleshores, quan es detecta que la temperatura a l'entrada del condensador és inferior a un cert valor, es fa treballar un dels blocs amb la vàlvula d'aspiració oberta o bé en buit, amb la qual l'èmbol no treballa sobre el refrigerant, disminuint la potència frigorífica i, per tant, retornant el valor de l'aigua a la sortida del condensador al valor de consigna i disminuint el consum energètic.

Avui dia, els més emprats són els compressors scroll, centrífugs i axials, sent aquests últims els que assolixen millor eficiència.

4.6.4.4. Refredament evaporatiu

Consisteix en un equip per on es fa circular l'aire que s'ha de refredar tot sotmetent-lo a una fina dutxa d'aigua. L'aire perd calor sensible, una calor consumida en forma de calor latent per l'aigua que s'evapora. Amb aquesta solució s'assoleix un refredament i humidificació de l'aire tractat. És una solució energèticament molt eficient (simplement es necessita el bombament de l'aigua i l'accionament d'un ventilador) d'aplicació, sobretot en zones càlides i seques.

4.7. Aigua calenta sanitària

L'energia necessària per a la producció de l'aigua calenta sanitària, principalment per a les dutxes i els lavabos, representa un elevat percentatge de la demanda tèrmica d'una instal·lació esportiva. A la Taula 4.19 es mostren uns valors orientatius¹¹ segons el tipus d'instal·lació de què es tracti i la seva situació geogràfica.

El plantejament i dimensionament de les instal·lacions d'aigua calenta sanitària depèn, en gran mesura, de la freqüència de la seva utilització. Així, per exemple, als vestuaris d'una pista a l'aire lliure, els consums se centren en un període de 10 a 30 minuts a la fi de l'entrenament o partit, moment en què tots els lavabos i dutxes s'estan utilitzant simultàniament. La instal·lació haurà d'estar pensada, doncs, per donar cobertura a tota aquesta demanda. En canvi, per exemple, en piscines cobertes es poden donar distribucions de demanda com les que es mostren a la Figura 4.35.

En conclusió, per a realitzar un acurat dimensionament és important precisar al màxim la variabilitat diària dels usuaris de cada instal·lació esportiva.

A més, s'han d'avaluar les necessitats volumètriques per individu, necessitats que poden variar entre 20 i 40 litres/persona al dia, una quantitat que es pot reduir entre un 50 i un 60 % per a usuaris escolars.

En els dissenys actuals, justificats per l'aparició de calderes que disposen de rendiments a càrregues parcials similars o superiors als de plena càrrega, ja es parteix de la base que no totes les instal·lacions han de ser centralitzades i amb acumulació. Així, l'aigua calenta sanitària es prepara a la temperatura mínima que resulti compatible amb el seu ús, considerant les pèrdues en la xarxa de distribució. Per assegurar el confort tèrmic dels usuaris n'hi ha prou amb una temperatura de 38°C, que cal fixar amb barrejadors automàtics.

També s'ha de tenir en compte que la normativa vigent (CTE i RITE) exigeixen una aportació solar mínima a la producció d'ACS, cosa que s'explica amb més detall a l'apartat "4.3 Energia solar tèrmica".

4.7.1. Producció

La producció d'ACS es pot realitzar amb sistemes d'acumulació, sistemes de producció instantània i sistemes semi-instantanis.

4.7.1.1. Per acumulació

És el més comú en dissenys de producció centralitzada, ja que permet abastar la demanda tèrmica amb un generador de calor d'una potència tèrmica molt inferior a la demanda màxima.

El sistema consisteix a acumular l'aigua calenta sanitària en dipòsits amb un gran volum, a fi de disposar de prou aigua calenta per a afrontar les puntes de demanda.

L'acumulador estarà preferiblement situat en posició vertical, per tal de reduir la superfície de separació entre l'aigua freda i la calenta i facilitar l'estratificació.

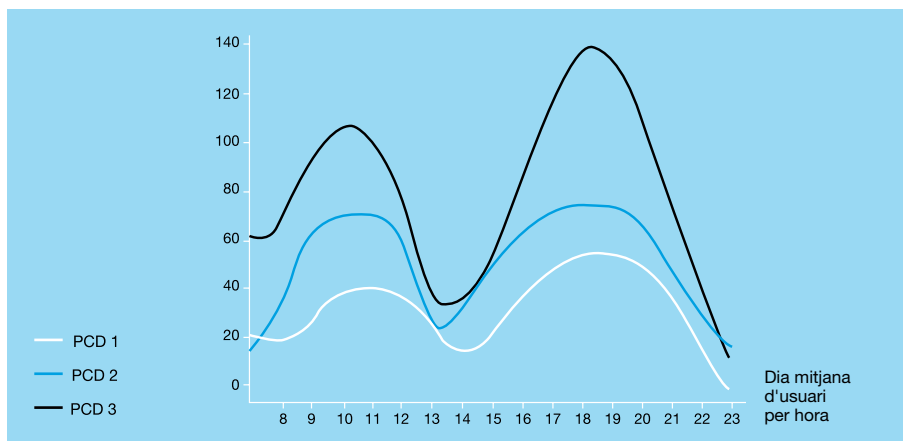
11 Manual de Ahorro Energético en Instalaciones Deportivas; Joan Esteve, Albert Mitjà i Joan Josep Escobar; Instituto de Ciencias de la Educación Física y del Deporte; 1986. Optimización energética en polideportivos; Cuadernos de Gestión Energética Municipal; IDAE. 1989.

	Zona mediterrània	Zona continental
Pavelló esportiu	23%	13%
Piscina coberta	12%	10%
Instal·lacions a l'aire lliure	56%	50%

Taula 4.19 Proporció d'ACS en relació amb la demanda total.

Figura 4.35. Distribució d'usuaris per diferents tipologies de piscines cobertes.

Figura 4.36. Dipòsits d'acumulació d'aigua calenta a la piscina de Talam.



La transferència de calor del circuit primari a l'acumulador, es pot fer mitjançant un bescanviador integrat en el mateix acumulador o exteriorment, tal com es mostra a la Figura 4.37. El primer sistema ha estat el més aplicat, però darrerament s'està imposant i és aconsellable el bescanviador exterior pels seus avantatges de flexibilitat i manteniment. El bescanviador integrat pot consistir en un serpentí a l'interior del dipòsit o en una camisa exterior al recipient que conté l'aigua.

A mesura que se subministra aigua calenta sanitària per als usuaris, que s'extreu de la part superior de l'acumulador, es reemplaça per la part inferior amb aigua procedent de la xarxa. La potència tèrmica transmesa pel bescanviador es regula mitjançant la vàlvula mescladora de 3 vies del primari, realitzant una regulació a cabal constant i temperatura variable, amb els avantatges que s'han comentat a l'apartat de regulació de calderes.

Segons la normativa vigent en relació amb la prevenció i control de la legionel·losi (RD 865/2003¹² en l'àmbit espanyol i D 352/2004¹³ en l'àmbit català), la temperatura d'emmagatzematge ha de ser, com a mínim, de 60 °C. Aquesta temperatura facilita que s'estigui per sota dels valors que accelerarien les incrustacions i amb nivells tèrmics suficients per a prevenir i controlar la multiplicació de bacteris com la legionel·la. A més, el sistema d'escalfament ha de ser capaç de fer arribar la temperatura de l'aigua fins a 70 °C de manera periòdica per la seva pasteurització, quan sigui necessari, ja que a aquestes temperatures el bacteri *Legionella pneumophila* mor.

A més, la temperatura de l'aigua en el circuit d'aigua calenta no ha de ser inferior a 50°C en el punt més allunyat del circuit o a la canonada de retorn a l'acumulador.

El RITE exigeix un equipament mínim del control de les instal·lacions centralitzades de preparació d'ACS que consisteix en:

- Control de la temperatura d'acumulació.
- Control de la temperatura de l'aigua de la xarxa de canonades en el punt hidràulicament més llunyà de l'acumulador.
- Control per a efectuar el tractament de xoc tèrmic.
- Control de funcionament de tipus diferencial en la circulació forçada del primari de les instal·lacions d'energia solar tèrmica.
- Control de seguretat per als usuaris.

Amb relació al volum s'aconsella que els sistemes d'acumulació estiguin dotats d'un volum que garanteixi la preparació de la demanda màxima amb un temps mínim de dues hores. En aquest punt, és especialment interessant considerar la producció instantània a través del bescanviador, fet que permetrà disminuir el del dipòsit acumulador, el cost i les pèrdues tèrmiques associades.

S'ha de remarcar que, amb les calderes d'alt rendiment, és perfectament possible utilitzar la caldera tant per a calefacció com per a aigua calenta sanitària, ja que en la temporada en què no es necessita calefacció, tot i treballant a baixa càrrega, pot presentar rendiments prou eficients.

4.7.1.2. Instantània

Els sistemes de producció instantània (Figura 4.38) produeixen la quantitat d'aigua calenta necessària a cada moment. Naturalment, amb aquesta solució es necessiten equips generadors de calor amb potències instantànies elevades per a poder afrontar la punta de demanda d'aigua calenta sanitària. Aquesta pot ser una solució interessant sempre que s'utilitzin els mateixos generadors de calor per a la producció d'aigua calenta sanitària i calefacció, si es prioritza l'aigua calenta sanitària i es pot afrontar la demanda punta de les dutxes. La prioritització es realitza amb un controlador de temperatura al col·lector de retorn situat en un punt on s'hagi aconseguit una estabilització de la temperatura després de la mescla entre el circuit de retorn de calefacció i de l'aigua calenta sanitària. Amb aquesta informació es pot actuar sobre les vàlvules de tres vies que reparteixen els ramals de la calefacció disminuint el cabal o tancant algun ramal.

4.7.1.3. Seminstantània

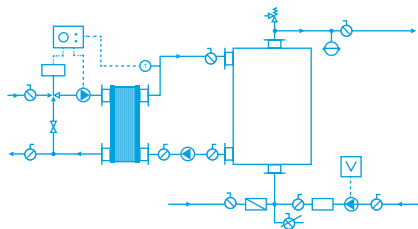
Es tracta de sistemes que combinen l'acumulació amb la producció instantània, i fan que la potència requerida sigui inferior als sistemes instantanis.

Aquests escalfadors-acumuladors (Figura 4.39) consisteixen físicament en un dipòsit d'aigua travessat o envoltat pels conductes d'expulsió dels gasos generats a la

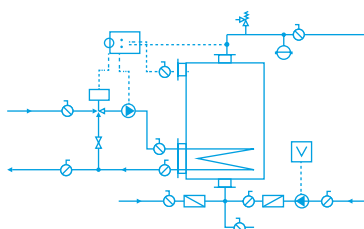
¹² Reial decret 865/2003, de 4 de juliol, pel que s'estableixen els criteris higiènics i sanitaris per a prevenir i controlar la legionel·losi.

¹³ Decret 352/2004, de 27 de juliol, pel qual s'estableixen les condicions higièniques i sanitàries per a la prevenció i el control de la legionel·losi.

Acumulació amb bescanviador exterior



Acumulació amb serpenti interior



Acumulació amb camisa exterior

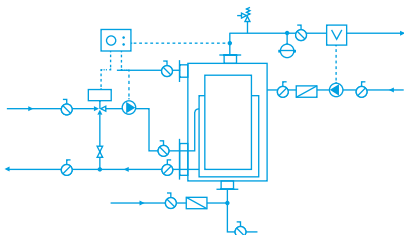


Figura 4.37. Solució de transferència de calor del primari a l'acumulador.

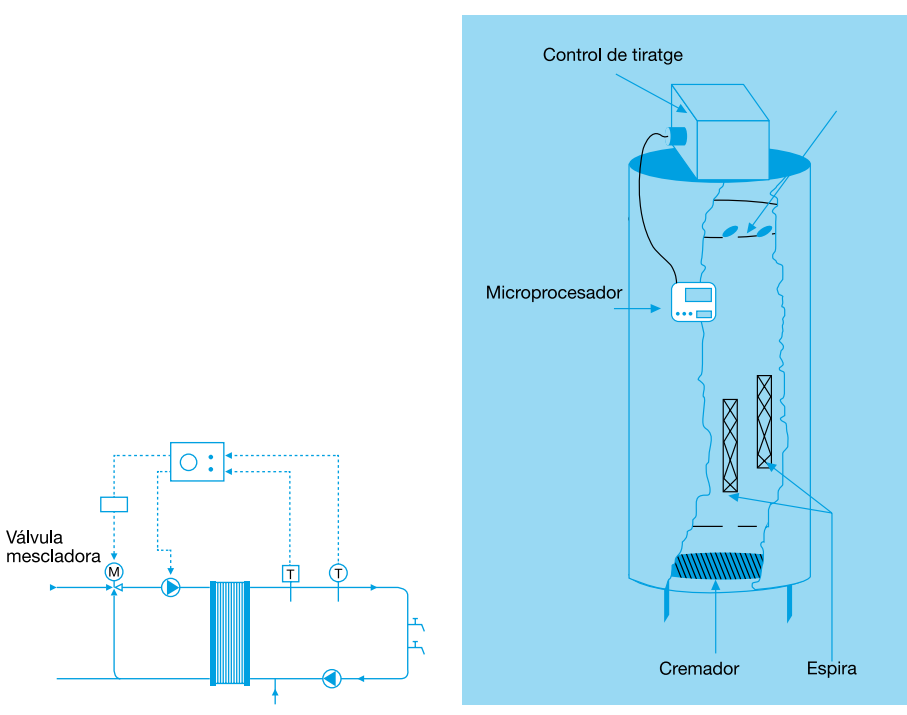


Figura 4.38. Circuit de producció instantània d'aigua calenta sanitària.

Figura 4.39. Producció seminstantània d'aigua calenta sanitària.

cambrà de combustió que es troba a la base de l'equip. L'encesa és recomanable que sigui automàtica sense flama pilot.

És una bona solució per a dependències allunyades o sense accés al sistema centralitzat de producció de calor, per exemple, els vestuaris d'unes pistes a l'aire lliure.

A l'interior dels conductes poden haver-hi elements que provoquin turbulències en la circulació dels productes de combustió, de manera que es redueix la seva velocitat de sortida, s'incrementa el contacte amb les parets del conducte d'escalfament

i la transmissió de calor a l'aigua de l'acumulador i, per tant, augmenta el rendiment de l'aparell.

En tractar-se d'un sistema obert, és a dir que l'aigua que s'escalfa és la que al cap d'uns minuts es consumeix, no es disposa de primari ni secundari. Per tal d'evitar problemes de corrosió i incrustacions, és necessari fer la neteja periòdica de l'equip i, si cal, fer un pretractament a l'aigua.

Hi ha models que aconsegueixen un augment del rendiment amb la condensació del vapor d'aigua contingut en els fums de combustió, tal com es comenta en el capítol de calderes de condensació.

4.7.2. Distribució

La xarxa de distribució és la que subministra l'aigua calenta sanitària als diferents punts de consum.

Les primeres mesures de disseny a tenir en compte consisteixen a intentar minimitzar les distàncies entre els punts de producció i de consum i agrupar els locals que precisen d'aquest servei. D'aquesta manera, es redueixen els costos d'inversió de canonades, de l'aïllament d'aquestes i del seu muntatge. Es disminueixen també les pèrdues de càrrega i energètiques i resulta més senzill tenir el circuit correctament equilibrat.

La xarxa de distribució haurà d'estar aïllada segons especifica el RITE i la normativa UNE-EN ISO 12241 citada al mateix RITE. Per xarxa de distribució s'entén les canonades i accessoris, així com equips i dipòsits.

El RITE també estableix que les pèrdues tèrmiques globals del conjunt de conduccions per les quals circulen fluids no subjectes a canvi d'estat (normalment aigua), no poden superar el 4% de la potència màxima que transporta.

4.7.2.1. Vàlvules mescladores

Les vàlvules mescladores són aparells de regulació automàtica que permeten obtenir una mescla d'aigua calenta i freda a la temperatura desitjada, mantenint-la siguin quines siguin les variacions de pressió i de temperatura de les aigües d'alimentació.

Les vàlvules mescladores més usals són de dos tipus: la vàlvula termostàtica i la vàlvula motoritzada de 3 vies.

Vàlvula termostàtica

Disposa d'una càpsula termostàtica (element sensible als canvis de temperatura) que es dilata en augmentar la temperatura, movent un pistó que obtura l'aportació d'aigua. L'element termoregulador pot ser una càpsula de cera, làmines bimetal·liques, o un diafragma flexible amb fluid volàtil

L'element termoregulador de càpsula de cera genera una important força per a controlar el mecanisme dosificador, però és força lent a reaccionar.

El sistema bimetal·lic és molt sensible als canvis de temperatura i respon molt més ràpidament que una càpsula de cera, però, en contra, no es produeix una força tan poderosa per a controlar el mecanisme dosificador d'aigua.

A partir dels avantatges dels dos sistemes previs; la precisió de control i la ràpida resposta, s'han desenvolupat els elements termoreguladors de diafragma flexible amb fluid volàtil o termoscopi.

Hi ha els models que es col·loquen a l'entrada de la distribució a les dutxes -acostumen a ser els termoscopis i, aleshores, cada punt de consum està alimentat per un sol tub a partir del col·lector de distribució-, o bé les vàlvules termostàtiques indi-

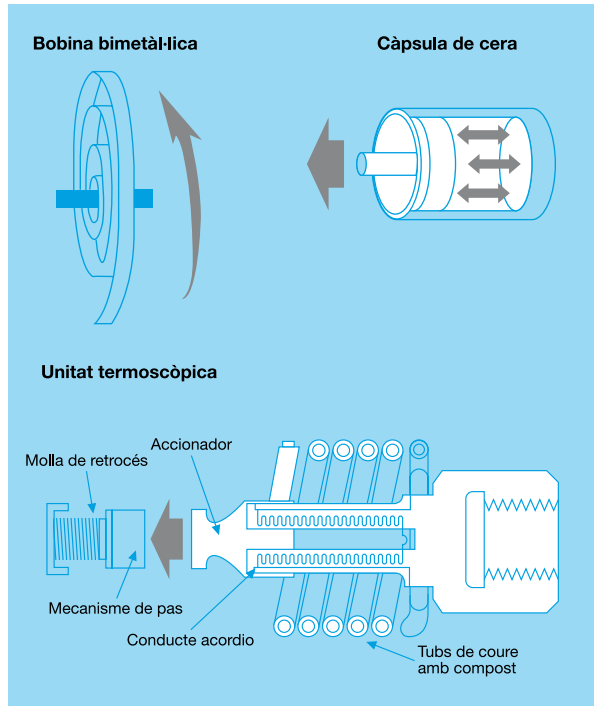


Figura 4.40. Vàlvula mescladora general per a circuit de dutxes.

Figura 4.41. Diferents tipus d'elements termoregulables de les vàlvules termostàtiques.

Figura 4.42. Vàlvula mescladora termostàtica individual.

viduals, situades al punt final de consum a fi i efecte que l'usuari pugui modular la temperatura al seu gust. Naturalment la segona solució ofereix un millor confort, però resulta més cara.

Vàlvula motoritzada de tres vies

És una vàlvula que disposa d'un obturador que es desplaça entre dues posicions controlant les proporcions dels corrents a mesclar. La seva precisió és de $\pm 1^\circ\text{C}$. La regulació es pot efectuar a partir d'un sensor termostàtic a distància.

Aquesta vàlvula s'ha de col·locar a l'entrada del col·lector de les dutxes.

4.7.2.2. El circuit de recirculació

Les tendències actuals de confort i d'eficiència energètica obliguen a reduir al mínim el temps transcorregut entre l'obertura de l'aixeta final i l'arribada d'aigua calenta.

Hi ha dos sistemes que solucionen aquest problema:

- Una xarxa de retorn amb una bomba de recirculació que faci que en tot moment circuli per l'anell de les dutxes aigua calenta sanitària, tal es mostra a la Figura 4 38.
- Un sistema de traçat de la canonada de distribució (generalment amb un cable elèctric) que mantingui automàticament la temperatura de distribució.

El més emprat i de menor cost energètic és el de la bomba de recirculació. És important un acurat disseny del retorn per a minimitzar el consum de la bomba.

Segons la normativa vigent en relació amb la prevenció i control de la legionel·losi (RD 865/2003 en l'àmbit espanyol i D 352/2004 en l'àmbit de Catalunya), la temperatura de l'aigua en el circuit d'aigua calenta no ha de ser inferior a 50°C en el punt més allunyat del circuit o a la canonada de retorn, a l'acumulador.

4.7.2.3. Limitadors i reguladors de cabal

Es tracta de dispositius que redueixen el consum final d'aigua i, per tant, en ser portadors d'un determinat nivell tèrmic, redueixen també l'energètic. Es poden aplicar tant als rentamans com a les dutxes i és obligatori utilitzar-los en instal·lacions públiques segons el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis.

Els limitadors de cabal permeten limitar el temps de sortida de l'aigua. Els més convencionals són els de temporització manual, que deixen anar una quantitat d'aigua predeterminada. Per als rentamans, la temporització acostuma a ser de 30 segons, mentre que per a les dutxes és superior. El període de retorn d'aquests equips és aproximadament d'un any.

També hi ha limitadors de temporització automatitzada que poden ésser de fotocèl·lula o per detectors de proximitat (infraroigs, ultrasons, electrònic). Es tracta d'elements que permeten l'obertura o tancament d'una vàlvula electromagnètica d'aigua. Aquesta solució més cara que l'anterior, dona menys problemes de manteniment i estalvia més aigua i energia.

Els reguladors de cabal van units a la sortida de l'aigua a través d'una rosca i incorporen un mecanisme que mescla aire/aigua i estabilitza el cabal d'aigua encara que varii la pressió. S'aconsegueix un efecte d'oxigenació i disminució de cabal, però amb una superfície de contacte de l'aigua quatre vegades superior, aconseguint una neteja millor i un estalvi considerable. El que sí que caldrà és un petit augment de la temperatura perquè la sensació de confort sigui la mateixa que sense aquest dispositiu. És molt recomanable que aquests reguladors siguin antirobatori.

Els limitadors i els reguladors es poden combinar, per la qual cosa s'aconsegueixen estalvis en aigua del 50 al 60 %.

4.8. Tecnologies eficients d'il·luminació

Cal establir, com a prioritat, poder aconseguir que tant els espais esportius com els complementaris, especialment els vestidors, tinguin llum natural, no tan sols des del punt de vista energètic, sinó sobretot per a donar qualitat a l'espai, fer-lo agradable i evitar la sensació d'estar enclaustrat.

Les instal·lacions d'il·luminació hauran d'estar dissenyades per permetre la interrelació amb l'enllumenat natural en les diferents hores del dia i garantir les condicions de confort visual requerides en els diferents espais. En el capítol de disseny arquitectònic s'explica com calcular l'aportació d'enllumenat natural.

És important partir del concepte que un equip d'il·luminació és un equip compost per diverses parts; la làmpada, el projector i els equips auxiliars (reactància, condensador, encebador). Cadascuna d'elles afecta la relació entre la quantitat de llum emesa i l'energia elèctrica absorbida, o sigui el consum energètic del conjunt.

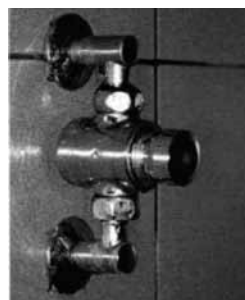
És molt important també, desenvolupar instal·lacions que incorporin sistemes de gestió i control de la il·luminació, així com desenvolupar la planificació i execució del manteniment que s'ha de portar a terme a les instal·lacions. En aquests punts hi ha un potencial d'estalvi energètic elevat. Només combinant aquests factors s'aconseguirà un sistema d'enllumenat efectiu i eficient.

4.8.1. Làmpades

Les característiques principals que defineixen les làmpades i llur elecció són.

- **Flux lluminós (Φ):** potència lumínica que emet un punt de llum en totes les direccions. Es mesura en lúmens (lm).

Figura 4.43. Aixeta temporitzada.



- **Eficàcia (η):** relació entre la potència lumínica emesa per la làmpada i la seva potència elèctrica. S'avalua en lúmens/Watt (lm/W).
- **Vida mitjana:** temps en hores, després del qual el 50 % de les làmpades d'un mateix tipus, encara funcionen.
- **Vida útil:** és el nombre d'hores que una làmpada pot donar llum, però mantenint un flux lluminós dins uns límits raonables.
- **Temperatura de color:** sensació psicològica de calidesa o fred pròpia de la composició espectral de la llum; es mesura en kelvin (K). Es qualifica com a càlida, per a tons groguencs (< 3.300 K); freda, per a tons blancs similars als que dona la llum solar (> 5.300 K) i neutra per a tonalitats intermèdies (valors entre 3.300 i 5.300 K).
- **Índex de reproducció cromàtica (IRC o Ra):** capacitat de reproduir el color dels objectes amb la mateixa tonalitat que la llum natural. S'avalua en percentatges i, com més pròxim al 100 %, més s'acosta a la reproducció natural dels colors.

El conjunt de làmpades es poden classificar en diferents tipus:

- **Incandescència:** consisteixen en l'escalfament fins a la incandescència d'un filament sòlid (normalment de tungstè) dins un bulb de vidre, normalment ple d'un gas inert. L'eficàcia lumínica d'aquestes làmpades és molt baixa, igual que la seva vida útil.
- **Halògenes:** versió actualitzada de les làmpades d'incandescència, en les quals el bulb està ple d'un gas halogen. L'eficàcia lumínica d'aquestes làmpades és lleugerament més elevada que la de les incandescent, igual que la seva vida útil. Cal distingir entre les làmpades halògenes d'alta tensió (230 V) i les de baixa tensió (6, 12 o 24 V).
- **Descàrrega:** es fonamenten en la descàrrega elèctrica a través d'un gas ionitzat o vapor metàl·lic. Es pot distingir entre làmpades de descàrrega a alta pressió i a baixa pressió, en funció de la pressió del tub. Per a funcionar, aquestes làmpades necessiten un balast, que bàsicament limita el corrent que circula a través de la làmpada, facilitant la ionització del gas de descàrrega. Si el balast és electrònic, es millora l'eficàcia lumínica i la vida útil de la làmpada. Les tecnologies basades en la descàrrega són:
 - Fluorescents: són làmpades de descàrrega de baixa pressió. Ofereixen una eficàcia i una vida útil elevades.
 - Inducció: són també làmpades de descàrrega de baixa pressió. La descàrrega elèctrica s'indueix amb un camp magnètic. Tenen vides útils molt elevades, de fins a 60.000 hores.
 - Alta pressió: els dos tipus més importants són les làmpades basades en halògens metàl·lics i les làmpades de vapor de sodi a alta pressió. Assoleixen grans eficàcies lumíniques i un elevat IRC.

- Sodi de baixa pressió: aconseguir eficàcies i vides útils molt elevades. Presenten l'inconvenient de produir una llum ataronjada.

- **LED:** són semiconductors (díodes) que emeten llum quan s'exciten a baixes tensions. Els avantatges principals d'aquesta tecnologia són el baix consum d'energia, les dimensions reduïdes, la vida útil elevada i el baix índex de fallades fet que implica un cost quasi nul de manteniment.

A la Figura 4.44 es mostra la classificació de diferents làmpades segons l'IRC i la temperatura de color.

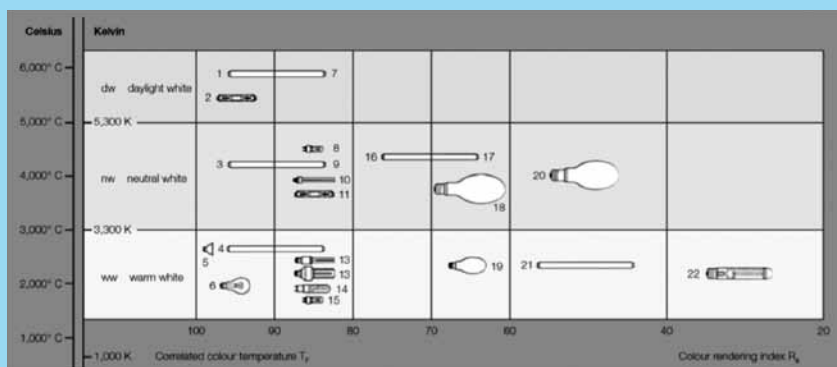
És important prioritzar la instal·lació de làmpades energèticament eficients, així com també és important instal·lar làmpades d'elevada eficàcia i IRC adequat per a l'ús, així com d'una vida útil el màxim de llarga possible.

Les làmpades recomanades en els grans espais de les instal·lacions esportives tant en la il·luminació d'interiors com en la d'exterior, són les d'halogenurs metàl·lics i els LED, tipologies que destaquen per la seva alta eficàcia. Les primeres donen unes prestacions de confort visual molt millors, mentre que els LED tenen una vida útil més llarga.

Respecte de la il·luminació exterior, s'ha de tenir en compte el compliment del Decret 82/2005, referent a la prevenció de la contaminació lumínica, i implantar la solució d'enllumenat que millor compleixi els requisits energètics i ambientals. Això pot comportar que en algunes instal·lacions sigui necessari instal·lar una tecnologia diferent enlloc d'halogenurs metàl·lics, com ara el vapor de sodi d'alta pressió.

La utilització de làmpades de la família d'incandescència i halògenes s'ha d'evitar tant com sigui possible, per la seva baixa eficàcia i reduïda vida. De fet, la Comissió Europea ha establert un calendari que restringeix la producció i ús d'aquestes làmpades. Actualment està prohibida la fabricació d'incandescents a partir de 60 W i d'halògenes d'alta tensió des de 40 W a 750 W.

Figura 4.44. Classificació de diferents làmpades segons la temperatura de color i l'IRC (Ra). Font: Licht. Wissen 01. Lighting with artificial light. 2008.



- 1 Fluorescents alta gamma, llum freda.
- 2 Halogenurs metàl·lics.
- 3 Fluorescents alta gamma, llum neutra.
- 4 Fluorescents alta gamma, tons càlids.
- 5 Làmpades halògenes.
- 6 Làmpades incandescents.
- 7 Fluorescents, llum freda.
- 8 Halogenurs metàl·lics.
- 9 Fluorescents, llum neutra.
- 10 Fluorescents compactes (CFL), llum neutra.
- 11 Halogenurs metàl·lics.
- 12 Fluorescents, llum càlida.
- 13 Fluorescents compactes (CFL), llum càlida.
- 14 Vapor de sodi d'alta pressió (Ra ≥ 60).
- 15 Halogenurs metàl·lics.
- 16 Fluorescents, blanc universal 25.
- 17 Fluorescent estàndard, llum neutra.
- 18 Halogenurs metàl·lics.
- 19 Vapor de sodi d'alta pressió (Ra ≥ 60).
- 20 Vapor de mercuri d'alta pressió.
- 21 Fluorescent estàndard, llum càlida.
- 22 Vapor de sodi d'alta pressió (Ra ≥ 20).

La Comissió Europea és molt activa en el desenvolupament de normativa dirigida a l'eficiència energètica, i per això en els propers anys aniran entrant en vigor noves limitacions i prohibicions relacionades amb la il·luminació per a les tecnologies menys eficients.

Les làmpades fluorescents compactes (CFL) poden ser integrades o no integrades, segons portin o no la reactància electrònica incorporada. En el disseny d'instal·lacions és preferible utilitzar les no integrades, ja que la vida mitjana superior de la reactància permet substituir només la làmpada, aprofitant reactància anterior. En el cas d'utilitzar fluorescents compactes integrats, s'assegurarà que la reactància sigui electrònica (pesa menys, ocupa menys volum i consumeix menys energia) i no electromagnètica. Aquestes làmpades consumeixen entre un 75 i un 80 % menys d'energia que la corresponent incandescent per a produir la mateixa llum.

L'eficàcia lumínica dels LED és comparable a la de la resta de tecnologies, fins i tot superior en alguns casos. Cal remarcar també que és una tecnologia en desenvolupament constant, i que les millores potencials fan que l'interval actual d'eficàcia (20 – 110 lm/W) es pugui ampliar a curt termini.

La inversió en tecnologia LED és superior que en la resta de tecnologies, però el cost quasi nul de manteniment, la seva llarga vida útil i l'estalvi econòmic degut al baix consum energètic fan que els períodes de retorn de les inversions utilitzant aquesta tecnologia es trobin entre 2 i 4 anys, en funció de les hores de funcionament de cada instal·lació.

Tot i que un sol LED és de mida reduïda, les lluminàries estan compostes per grups d'aquests díodes en làmpades de diferents formes i mides, adaptant-se així a les necessitats d'il·luminació de les instal·lacions. A la Figura 4.45 es mostren diferents tipus de làmpades i lluminàries amb tecnologia LED, a tall d'exemple.

A continuació es mostren unes taules¹⁶ on es resumeixen les principals característiques de les làmpades i s'acompanyen amb imatges per ajudar a identificar-les. Es mostren en grups: poc eficients (Taula 4.20), eficients (Taula 4.21) i alta eficiència (Taula 4.22).



Figura 4.45. Diferents exemples d'il·luminació mitjançant tecnologia LED¹⁶.

16 Fonts: Licht.Wissen 01. Lighting with artificial light. 2008, Licht Wissen 08, Sports&Leisure. 2010. Osram. Philips.

Taula 4.20. Característiques de les làmpades "poc eficients".

(1) bc = blanc càlid, bn = blanc neutre, bf = blanc fred
(2) Una làmpada amb reflector no té flux lluminós, sinó intensitat lluminosa, mesurada en candeles.

Figura 4.47. Imatges de làmpades "eficients".¹⁶

Taula 4.21. Característiques de les làmpades "eficients".

(1) Nota: bc = blanc càlid, bn = blanc neutre, bf = blanc fred.
(2) Només amb balast electrònic.

Tipus làmpada	Rang de potències (W)	Flux lluminós (lm)	Eficàcia (lm/W)	Color de la llum(*)	IRC (o Ra)	Vida útil (hores)
Poc eficients						
Làmpades halògenes de 230 V						
1. Amb base roscada, forma d'incandescent	18 - 205	220 - 4.200	12 - 20	bc	100	1.500 - 2.000
2. Amb connexió bilateral	48 - 2.000	700 - 44.000	14 - 22	bc	100	1.500 - 2.000
3. Amb reflector(?)	40 - 100	570cd - 900cd	-	bc	100	1.500 - 2.000
Làmpades halògenes de baixa tensió 12 V						
4. Amb reflector(?)	20 - 50	510cd - 1800cd	-	bc	100	1.000 - 5.000
5. Amb dos pins de connexió a la base	5 - 100	60 - 2,300	12 - 23	bc	100	1.000 - 5.000



Tipus làmpada	Rang de potències (W)	Flux lluminós (lm)	Eficàcia (lm/W)	Color de la llum(*)	IRC (o Ra)	Vida útil (hores)
Eficients						
Fluorescents						
1	18 - 58	1.650 - 5.200	75 - 90 (2)	bc, bn, bf	80 - 85	15.000 - 20.000
	18 - 58	1.650 - 5.200	75 - 90 (2)	bc, bn, bf	80 - 85	40.000 - 90.000
	14 - 35	1.300 - 3.650	79 - 93	bc, bn, bf	80 - 85	20.000 - 24.000
	24 - 80	1.900 - 7.000	69 - 88	bc, bn, bf	80 - 85	20.000 - 24.000
Fluorescents compactes (CFL)						
2	1-, 2- o 3- tubs	50 - 70	250 - 5.200	50 - 82	bc, bn, bf	80 - 85
	Elongat	18 - 80	1.200 - 2.800	67 - 88	bc, bn, bf	80 - 85
	3- o 4- tubs	60 - 120	4.000 - 9.000	67 - 75	bc, bn, bf	80 - 86
Làmpades eficients (CFL amb balast electrònic i base roscada)						
3	Forma d'incandescent	5 - 23	150 - 1,350	30 - 59	bc	80 - 89
4	Forma estàndard	5 - 23	240 - 1,500	48 - 65	bc	80 - 89
Làmpades de descàrrega d'inducció						
5	Forma tubular	70 - 150	6.000 - 12.000	80 - 86	bc	80 - 89
6	Forma d'incandescent	55 - 165	2.700 - 9.600	50 - 60	bc, bf	80

16 Fonts: Licht.Wissen 01. Lighting with artificial light. 2008, Licht Wissen 08, Sports&Leisure. 2010. Osram. Philips.

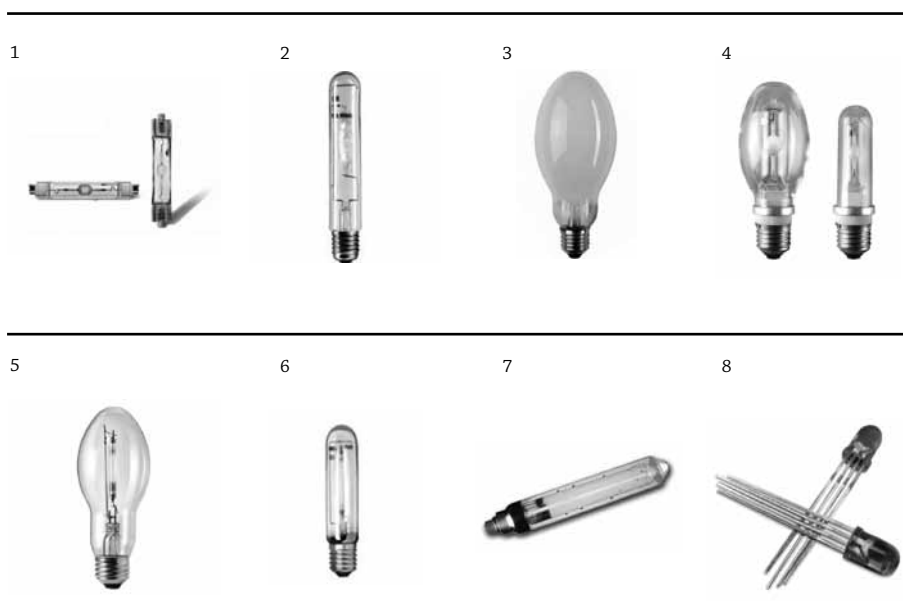


Figura 4.48. Imatges de làmpades d'alta eficiència".

Taula 4.22 Característiques de les làmpades d'alta eficiència".
(1) bc = blanc càlid, bn = blanc neutre, bf = blanc fred.

Tipus làmpada		Rang de potències (W)	Flux lluminós (lm)	Eficàcia (lm/W)	Color de la llum(°)	IRC (o Ra)	Vida útil (hores)
Alta eficiència							
Halogenurs metàl·lics							
1	Ceràmic amb connexió unilateral	70 - 250	1.600 - 41.500	80 - 106	bc,bn	80 - 96	9.000 - 12.000
	Ceràmic amb connexió bilateral	70 - 250	5.100 - 25.000	73 - 104	bc,bn	75 - 95	9.000 - 12.000
	Ceràmic amb connexió bilateral	70 - 400	5.500 - 36.000	79 - 90	bc,bn,bf	79 - 90	9.000 - 12.001
	Ceràmic amb connexió bilateral, arc curt	1.000 - 2.000	90.000 - 220.000	90 - 110	bn,bf	80 - 90	4.000 - 6.000
	Ceràmic amb connexió bilateral, arc llarg	1.000 - 2.000	90.000 - 230.000	90 - 107	bn,bf	65 - 85	8.000 - 12.000
2	Tubular (T) de quars	70 - 2.000	5.800 - 240.000	83 - 120	bc,bn,bf	65 - 93	6.000 - 12.000
3	El·lipsoïdal (E) de quars	70 - 1.000	4.700 - 110.000	74 - 110	bc,bn,bf	65 - 90	9.000 - 13.000
4	Tubular o El·lipsoïdal (T o E) ceràmics	70 - 250	4.700 - 26.000	80 - 104	bc,bn	80 - 95	12.000 - 32.000
Vapor de sodi d'alta pressió							
5	1-, 2- o 3- tubs	50 - 1.000	3.500 - 128.000	63 - 139	taronja	25 - 65	18.000 - 32.000
6	Tubular	50 - 1.000	4.400 - 130.000	70 - 150	taronja	25 - 65	18.000 - 32.000
Vapor de sodi de baixa pressió							
7	Tubular	18 - 180	1.800 - 32.000	100 - 178	taronja	0	18.000
Díodes emissors de llum							
8	LED	0,7 - 1,5	18 - 27	20 - 110	bc,bn,bf	70 - 90	50.000

El flux lluminós i el rendiment de cada tipologia de làmpada disminueix a conseqüència de l'envelliment. Orientativament, en funció de les condicions d'ús i del manteniment realitzat, l'eficiència de la làmpada disminueix entre un 10 i un 20%.

4.8.2. Luminàries

Les lluminàries són aparells dissenyats per a distribuir, filtrar o desviar la llum que emet la làmpada i inclouen els components necessaris per a muntar, protegir i operar amb la làmpada.

Si bé la làmpada és l'element determinant de la quantitat de llum original, la lluminària condicionarà l'aprofitament final d'aquesta llum: en quantitat, pel seu rendiment més gran o més petit, i en qualitat, per la configuració espacial en què la distribueixi.

Les característiques més importants són les següents:

- **Intensitat lluminosa:** quantitat de llum que emet la lluminària en una direcció, ve expressada en candelas (Cd).
- **Distribució fotomètrica:** distribució de la llum que emet la lluminària en un pla. La Comissió Internacional de la Il·luminació (CIE, International Commission on Illumination) classifica les lluminàries segons la forma en què distribueixen el flux lumínic, tal com es mostra a la Taula 4.23 i a la Figura 4.49.
- **Rendiment òptic:** flux lluminós emès per la lluminària i dividit pel flux lluminós de les làmpades que conté. La lluminària serà d'alt rendiment quan el rendiment òptic sigui superior al 60 %.

Les lluminàries se seleccionen basant-se en diferents conceptes:

- Aplicació: interior o exterior.
- Tipus i nombre de làmpades: incandescent, descàrrega, LED.
- Estructura i tipus de muntatge: lluminària oberta o tancada i muntatge segons si està encastada, penjada o en superfície.
- Característiques de la il·luminació: segons distribució del flux lumínic, intensitat lluminosa, distribució de la luminància i rendiment de la lluminària.
- Característiques elèctriques i mecàniques: tipus de balast, engegada/aturada, classe de protecció (I, II o III), compatibilitat electromagnètica, protecció contra incendis, resistència a impactes, tipus de material (reflector, translúcid), etc.
- Mida, disseny.

Per a la majoria d'aplicacions a l'aire lliure s'utilitzen preferentment lluminàries d'il·luminació directa. A la Taula 4.24 es poden veure diferents representacions de lluminàries i de com distribueixen la llum.

Taula 4.23. Classificació de les lluminàries en funció de la distribució de la llum. Font: Comissió Internacional de la Il·luminació (CIE).

Classe de lluminària	% distribució del flux cap amunt	% distribució del flux cap avall
Directa	0 – 10	90 - 100
Semi-directa	10 – 40	60 -90
Directa-indirecta	40 -60	40 -60
General difusa	40 -60	40 -60
Semi-indirecta	60 -90	10 – 40
Indirecta	90 - 100	0 – 10

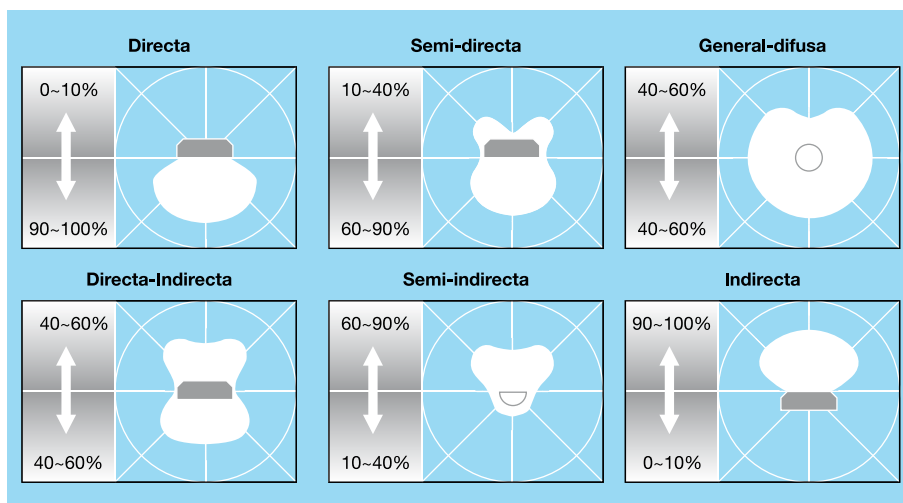


Figura 4.49. Classificació de les lluminàries segons el tipus de distribució fotomètrica. Font: Luminotècnia Capítulo 7: Luminàries, Indalux. 2002.

Distribució del flux lluminós i tipus de lluminària	Descripció
 	Projector amb feix asimètric per a instal·lacions esportives a l'aire lliure. En el cas d'interiors, l'aspecte és igual però més petit.
 	Projector rodó de feix simètric per a instal·lacions esportives a l'exterior.
 	Projector per a grans alçades de feix simètric axial de forma cònica. Quan s'enfoquen cap avall, el feix de llum cònic incideix en el camp en forma el·líptica. El projector circular és eficaç quan s'usa en disposició "diagonal quatre cantonades".
 	Projector rectangular de feix simètric en forma de ventall per a instal·lacions esportives a l'exterior. Produïx una distribució de llum trapezoïdal en incidir sobre l'espai esportiu. El projector rectangular ofereix sobre el circular els avantatges d'una millor distribució quan es munten propers i al llarg dels laterals de l'espai esportiu.

Taula 4.24 Diferents tipus de lluminàries i la seva descripció per a aplicació en instal·lacions esportives. Font: Licht.Wissen 08, Sports and Leisure. 2010.

Distribució del flux lluminós i tipus de lluminària	Descripció
	Projector encastrable per a grans alçades. De flux simètric (esquerra) i asimètric (dreta).
	Lluminària amb reixeta resistent als impactes.
	Lluminàries encastrades de flux simètric.
	Lluminària amb cobertor per a ambients humits.
	Lluminària amb reixeta resistent als impactes.
	Lluminàries encastrades de flux simètric.
	Lluminària amb cobertor per a ambients humits.

4.8.3. Equips auxiliars

La potència total absorbida per un equip d'il·luminació consisteix en la potència nominal de les làmpades i la potència de l'aparellatge d'alimentació; transformadors, reactàncies (anomenades també balasts, arrencadors...).

Els equips auxiliars més comuns són els balasts, els arrencadors o encebadors i els condensadors, com també transformadors per a làmpades halògenes de baixa tensió. Si l'equip és electrònic, es poden integrar els equips necessaris en un de sol.

- **Balast:** el balast, com ja s'ha dit anteriorment, és el component que limita (estabilitza) el consum de corrent de la làmpada, controlant les condicions de ionització de l'atmosfera de la làmpada de descàrrega.

- **Arrencadors:** és l'equip que proporciona la tensió necessària a la làmpada per a encendre's, ja sigui per si mateix o en col·laboració amb el balast. Aquest equip pot ser elèctric, electrònic o electromecànic. Els arrencadors comporten una pèrdua entre el 0,8 i l'1,5 % de la potència de la làmpada.

- **Condensadors:** és l'equip que corregeix el factor de potència perquè s'adeqüin als valors marcats per la normativa. El resultat és una reducció de l'energia reactiva consumida per la làmpada que es tradueix en menor consum d'energia. Les pèrdues en els condensadors són entre el 0,5 i l'1 % de la potència de la làmpada.

En els equips auxiliars s'usen diverses tecnologies:

- **Resistiva:** usa una resistència com a balast. És una tecnologia de molt baixa eficiència i actualment està en desús.

- **Inductiva** (equips electromagnètics): actualment és la tecnologia més usada, tot i que es tendeix a substituir-la per l'electrònica.

- **Electrònica:** la reactància electrònica, per ella mateixa, substitueix la reactància electromagnètica i l'encebador, amb els avantatges de manteniment que comporta. A més incrementa la vida útil de les làmpades entorn del 50%. Cal tenir en compte que les làmpades funcionen en condicions de treball òptimes, a menor temperatura. A més, com que l'encesa es produeix en una sola descàrrega, s'evita el desgastament prematur dels càtodes produïda pels parpelleigs de l'encesa tradicional amb encebador. A més d'allargar la vida útil de les làmpades, s'aconsegueix que aquestes treballin amb menor depreciació del flux lluminós.

Els balasts tenen la qualificació energètica següent, essent A1 el més eficient i D el menys eficient:

- A1: Balast electrònic regulable (EB).
- A2: Balast electrònic (EB) amb pèrdues reduïdes.
- A3: Balast electrònic (EB).
- B1: Balast electromagnètic amb pèrdues molt baixes (LLB).
- B2: Balast electromagnètic amb pèrdues baixes (LLB).
- C: Balast electromagnètic amb pèrdues moderades (CB).
- D: Balast electromagnètic amb pèrdues molt elevades (CB).

Els balasts estan subjectes a normativa d'eficiència mínima. Actualment, els balasts de tipus C i D no estan permesos i està previst que, a partir de l'any 2017, solament ho estiguin els de tipus A1 i A2.

Per tant, l'opció que es recomana és l'electrònica perquè és la que comporta menys despesa energètica. Addicionalment i en la majoria dels casos, l'opció electrònica evita la necessitat d'usar condensador. D'aquesta manera es pot estalviar entre un 25 i un 30 % respecte un equip convencional.

A la Taula 4.25 es presenten uns valors orientatius sobre el consum dels tres tipus d'equip auxiliar per a làmpades fluorescents, de descàrrega i halògenes de baixa tensió.

Les làmpades d'inducció ja incorporen els balasts de tipus electrònic, així com els fluorescents compactes. A les làmpades d'halogenurs metàl·lics i de vapor de sodi o mercuri també se'ls pot incorporar.

En cas d'utilitzar equips electrònics amb regulació en llocs on es pot aprofitar la llum natural, l'estalvi pot resultar de fins al 70%.

Per a tubs fluorescents hi ha dos tipus de reactàncies electròniques, les d'encesa electrònica (arrencada en fred) i les de precaldejament (arrencada en calent). La diferència és que el primer té un pic d'arrencada d'uns 1.000 V, i el segon únicament de 500 V. Per tant, aquest segon tipus té una arrencada més suau i menys perjudicial per a la làmpada.

Taula 4.25. Consum dels equips auxiliars en relació amb el total.
Font: Guia técnica de iluminación eficiente.
Fenercom 2006.

Tipus de làmpada	Consums dels tipus d'equip auxiliar en relació amb el total		
	Electromagnètic estàndard (resistiu)	Electromagnètic baixes pèrdues (inductiu)	Electrònic
Fluorescent	20-25 %	14-16 %	8-11 %
Descàrrega	14-20 %	8-12 %	6-8 %
Halògenes de baixa tensió	15-20 %	10-12 %	5-7 %

4.8.4. Regulació i control

La regulació i el control de la il·luminació són un punt clau en la gestió eficient de les instal·lacions, ja que permeten aconseguir estalvis energètics importants.

Als equips d'il·luminació (làmpada, lluminària i equips auxiliars) se'ls poden acoblar diferents dispositius que ajudaran a fer-ne una explotació racional.

Equips de control

Entre els sistemes de control i els equips auxiliars, en aquest apartat es destaquen els balasts que permeten regular el nivell d'il·luminació i els sistemes de regulació de fase (dimmers).

El balast electrònic regulable controla la potència de la làmpada mitjançant la modulació de la freqüència. Aquest tipus de balast permet regular làmpades halògenes de baixa tensió (1 al 100%), fluorescents T5 i T8 (1-3 al 100%), fluorescents compactes no integrats (3-10 al 100%) i làmpades de descàrrega d'alta intensitat (3-10 al 100%). Es controla amb un senyal addicional de control de corrent continua (1-10 V), DSI o DALI.

- Balasts regulables analògics regulables de 1-10 V: regulen linealment la potència de la làmpada mitjançant una correspondència directa 1V = mínim % de potència, 10V = màxim % de potència.

- Balasts DSI: els balasts electrònics amb senyal de control DSI reben les ordres a través d'una línia de control digital mitjançant el protocol DSI. Tots els balasts connectats a una mateixa línia DSI responen alhora.

- Balasts DALI: el protocol DALI permet governar fins a 64 balasts per unitat de control i memoritzar fins a 16 escenes diferents al balast mateix. El controlador DALI tindrà accés i control sobre cada punt de llum. Aquest protocol és bidireccional, i així també pot rebre informació de l'estat de cada balast.

A més a més, es pot usar la informació d'ús (hores de funcionament) enviada per cada lluminària al sistema de control per a establir patrons de consum i d'ús de la il·luminació. D'aquesta manera es detecten anomalies al sistema o males praxis, com també preveure i planificar les substitucions de les làmpades.

Els reguladors de fase (*dimmers*) són dispositius electrònics que tallen l'ona sinusoidal de corrent alterna en un punt variable, de manera que modulen la potència lliurada. Es poden usar en làmpades d'incandescència, i el control es realitza mitjançant un senyal de corrent contínua d'1 – 10 V o un senyal digital. Aquest tipus de regulació és aplicable a làmpades incandescentes (1-100%), i a tot tipus d'halògenes (1-100%).

Modes de control

Hi ha diferents formes de controlar els paràmetres de llum en una estança, que es poden dur a terme per separat o conjuntament.

Entre els requisits del CTE-HE3 hi ha l'obligatorietat d'instaurar mètodes de control de la il·luminació. A l'apartat "4.8.7 Normativa" es detalla aquest requisit i altres del CTE pel que fa a il·luminació.

A continuació s'enumeren els mètodes de control més freqüents:

- Control horari i per dates: permet encendre i apagar la il·luminació en moments determinats perquè estigui encesa només quan és necessari. Es poden establir planificacions adequades als horaris de les instal·lacions o segons els usos planificats, per exemple. Aquest control és adequat en instal·lacions que presenten un comportament homogeni al llarg de l'any, per exemple, en l'enllumenat exterior. El sistema de control es basa en un rellotge astronòmic.

- Regulació en funció de la llum natural: combinar la llum natural que entra en una habitació amb llum artificial és una bona manera d'estalviar energia. La cèl·lula fotoelèctrica transforma l'energia lluminosa que hi arriba en energia elèctrica, que es compara amb un valor de referència. A partir de la diferència, la cèl·lula esmentada realitza les accions oportunes sobre l'equip d'il·luminació.

Aquesta regulació es pot produir de manera progressiva, intensificant o reduint la quantitat de llum artificial segons la llum natural disponible. S'aconsegueix mitjançant un sistema de control que lliura un nivell constant d'il·luminació sumant la llum natural i la llum artificial.

A la Figura 4.50¹⁷ es pot veure un exemple de l'aprofitament de la llum natural amb cèl·lula fotoelèctrica, on la línia de fluorescents més propera a la finestra està apagada, i la segona i la tercera regulen el flux lluminós al 25% i 50% respectivament, gràcies a la utilització de reactàncies electròniques amb regulació de flux.

Els sensors (cèl·lules fotoelèctriques) es poden instal·lar individualment a cada sala o a l'exterior de la instal·lació.

En la il·luminació d'exterior, l'encesa i apagada es realitza mitjançant l'interruptor crepuscular, que és en realitat també una cèl·lula fotoelèctrica.

- Detecció de moviment: mitjançant un sensor que detecta el moviment dels ocupants en una zona determinada, encenen o apagant la llum en funció de la presència o no d'una persona en moviment. La detecció pot ser per ultrasons, disposant d'un temporitzador que, transcorreguts uns minuts, torna a fer un escombrat de detecció per decidir si s'ha de mantenir la il·luminació o no. Es poden emprar a les zones de pas (repartidors, passadissos, escales, etc.) en vestuaris i a les sales.

Els detectors poden aplicar-se en qualsevol tipus de font de llum encara que, en el cas de làmpades de descàrrega d'alta pressió sense reencesa instantània, s'han de

¹⁷ Cuadernos de eficiencia energética en iluminación; núms. 1 i 4; IDAE i Comité Español de Iluminación. 1996.

valorar les limitacions que poden comportar. Així mateix, s'ha de tenir present que les làmpades fluorescents no han d'ésser enceses i apagades freqüentment per evitar l'escurçament excessiu de la seva vida útil, i per això es recomana una temporització de 10 o 15 minuts.

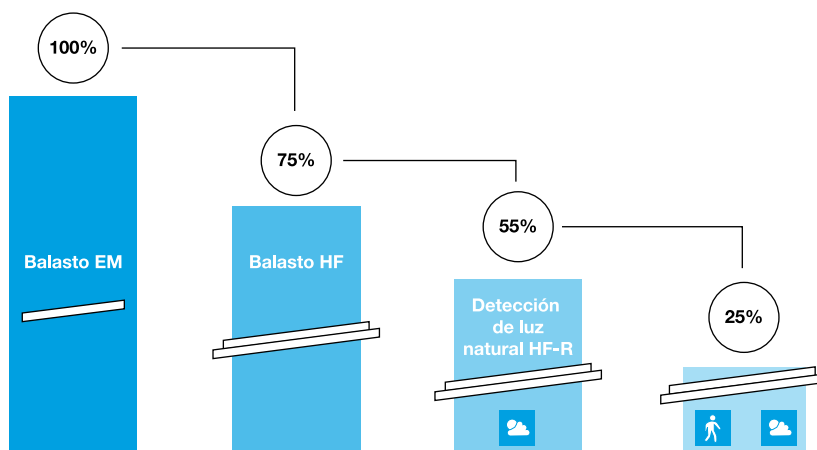
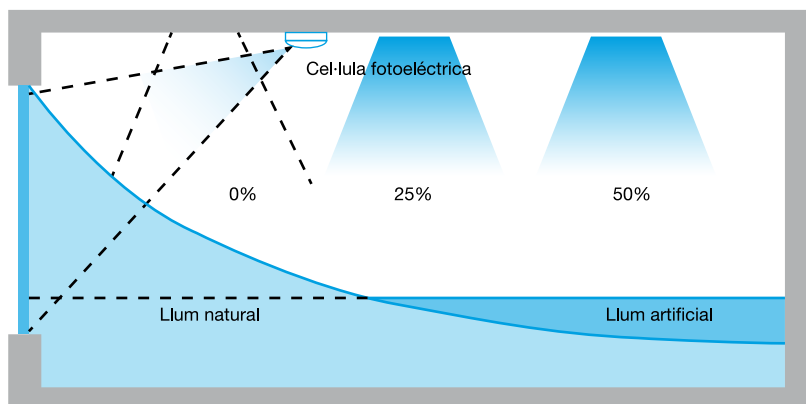
- **Detecció de presència:** a diferència del sensor de moviment, aquest detector determina la presència d'ocupants encara que no estiguin en moviment (per exemple, mitjançant sensors de calor corporal). Quan l'aparell determina que la sala està ocupada, encén els sistemes d'il·luminació.

- **Temporitzadors:** regulen el temps d'encesa de la il·luminació d'una estança. Així, quan es prem l'interruptor, aquest encén la il·luminació durant un període de temps determinat. Una aplicació habitual és la il·luminació de sanitaris.

A la Figura 4.51 es mostren els estalvis que es poden arribar a aconseguir segons diferents solucions de millora partint d'un fluorescent amb balast electromecànic. La primera mesura és substituir-lo per un balast electrònic (estalvi de fins 25%); la segona mesura és que el balast electrònic porti incorporat regulador associat a la quantitat de llum natural (estalvi de fins 45%) i, l'última està associada a la detecció de persones, podent aconseguir tot plegat fins a un 75% d'estalvi energètic.

Figura 4.50. Exemple d'aprofitament de la llum natural amb regulació de l'enllumenat artificial.¹⁷

Figura 4.5. Consum d'energia d'un fluorescent segons equip auxiliar i control associat. Font: Philips. 2009



¹⁷ Cuadernos de eficiencia energética en iluminación; núms. 1 i 4; IDAE i Comité Español de Iluminación. 1996.

4.8.5. Gestió i manteniment energètic

El pas del temps fa que baixi l'eficiència energètica de les instal·lacions ja que el flux lluminós de les làmpades decreix al llarg de la seva vida útil, i també degut a la brutícia acumulada a les lluminàries. Per aquest motiu, és important realitzar un manteniment que inclogui:

- Neteja de les lluminàries.
- Substitució de làmpades: cal que es realitzi al final de la vida útil indicada pel fabricant, encara que no hagin fallat, ja que la seva eficàcia haurà disminuït significativament. S'aconsella substituir les làmpades per grups, per a mantenir així els nivells d'il·luminació necessaris.
- Revisió periòdica de l'estat dels diferents components de la instal·lació.

Es recomana realitzar un seguiment dels plans de manteniment, dels controls horaris de funcionament i dels consums i costos associats. Un manteniment adequat de la instal·lació permet aconseguir estalvis de fins al 50%.

A la Figura 4.52 es mostra (conceptualment) la disminució del flux lluminós en funció dels temps i el manteniment rebut. L'exemple considera manteniment cada tres anys.

4.8.6. Estudi luminotècnic

En un estudi luminotècnic s'hauria de tenir en compte que la il·luminació artificial ha de substituir i complementar la il·luminació natural quan aquesta és insuficient.

S'ha de tenir en compte per cada dependència:

- El valor de la il·luminació (lux).
- La uniformitat de la il·luminació.
- La lluminària (enlluernament) admissible.
- El contrast entre les luminàncies.
- El color de la llum.
- La qualitat de la reproducció cromàtica.
- Eficiència energètica dels sistemes d'enllumenat que s'utilitzen.

Es pot calcular manualment el nombre de lluminàries mitjançant l'expressió següent:

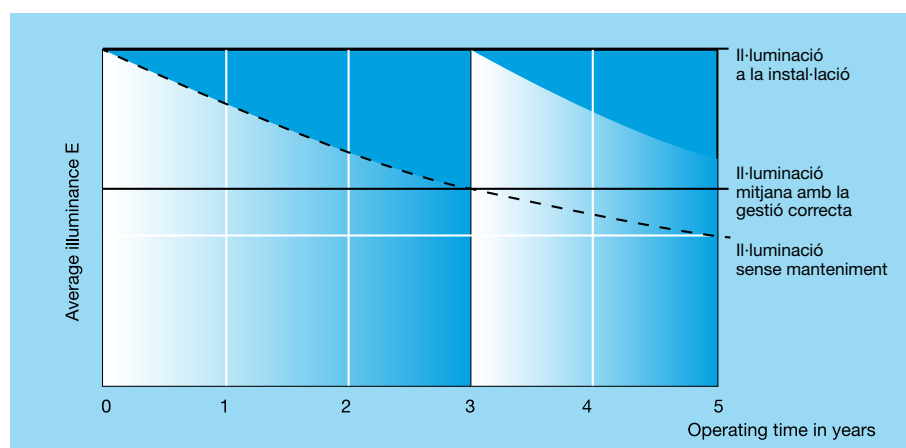


Figura 4.52.
Il·luminació en una instal·lació en funció dels anys i el manteniment rebut.
Font: Licht.Wissen 01, Lighting with artificial light. 2008.

$$\eta = E \cdot A / z \cdot \Phi \cdot \eta_b \cdot WF$$

En què:

η : nombre de lluminàries.

E: luminància requerida (lux).

A: àrea de l'habitació o estança (m^2).

Φ : flux lluminós d'una làmpada (lm).

η_b : coeficient d'utilització (taules del fabricant).

WF: coeficient de manteniment.

El més habitual, però, és usar programes informàtics per a realitzar els càlculs de tots els paràmetres d'una instal·lació en funció dels requisits.

Amb cadascuna de les possibles distribucions es farà una anàlisi o càlcul de les luminàncies i la uniformitat, amb l'ajuda de les corbes Isolux. Aquest mètode, que exigeix l'ús d'un programa informàtic, constitueix una eina flexible per avaluar diverses disposicions i tipologies dels punts de llum i làmpades per a poder realitzar una anàlisi les luminàncies en els diferents plans horitzontals i verticals, avaluant tant el component directe com l'indirecte (reflectit).

Bones pràctiques i recomanacions

- Aprofitar al màxim la il·luminació natural instal·lant cèl·lules fotoelèctriques.
- Zonificar la instal·lació d'il·luminació en funció dels usos i horaris d'ús.
- Implantar sistemes de control centralitzat que s'adeqüi a la demanda.
- Realitzar registres i controls de la gestió del consum energètic.
- Instal·lació de detectors de presència temporitzats als llocs menys freqüentats.
- Instal·lació de programadors horaris que apaguin o encenguin la llum a una hora determinada.
- Escollir sempre les fonts de llum de més eficiència energètica que s'adeqüin a les seves necessitats.
- Fer servir balasts electrònics.
- Realitzar un manteniment programat de la instal·lació (neteja, substitucions).

4.8.7. Normativa

En l'àmbit espanyol, el marc legal el defineix principalment el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), així com diverses normes UNE sobre il·luminació.

- CTE: Codi Tècnic de l'Edificació.
- CTE-HE3 Eficiència energètica a les instal·lacions d'il·luminació.
- UNE 12464-1:2003 Il·luminació dels llocs de treball en interiors.
- UNE 12193:2009 Il·luminació en instal·lacions esportives.

En l'àmbit de Catalunya hi ha el Decret 82/2005 pel qual s'aprova el Reglament de desenvolupament de la Llei 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn.

Això a banda, la Comissió Europea és molt activa quant a desenvolupament de noves directives i reglaments que exigeixen cada cop nivells d'eficiència energètica superiors com, per exemple:

- Reglament 245/2009 Làmpades fluorescents sense balasts integrats, làmpades de descàrrega d'alta intensitat i balasts i lluminàries que puguin funcionar amb les esmentades làmpades,

- Reglament 859/2009 i Reglament 244/2009 relatius als requisits de disseny ecològic per a làmpades d'ús domèstic no direccionals.
- Directiva 125/2009/CE d'Ecodisseny aplicable als productes relacionats amb l'energia.

Les principals indicacions de les UNE d'il·luminació es troben integrades als apartats de "Confort visual" dels capítols 3, 5, 6 i 7.

A continuació es detallen els punts més rellevants del CTE-HE3 aplicables a instal·lacions esportives.

CTE-HE3 Eficiència energètica a les instal·lacions d'il·luminació

Aquesta normativa és aplicable en edificis de nova construcció i en rehabilitacions en edificis construïts de superfície construïda superior a 1.000 m² en què es renovi més del 25% de la superfície il·luminada.

Per a complir amb la normativa, s'hauran de complir tres requisits:

- Complir amb uns límits del Valor d'Eficiència Energètica de la Instal·lació (VEEI) màxim.
- Disposar, per a cada zona, d'un sistema de regulació i control.
- Disposar d'un pla de manteniment de la instal·lació d'il·luminació.

El VEEI es calcula mitjançant l'Equació 4.9:

$$\text{VEEI} = P \cdot 100 / S \cdot E_m$$

En què:

P: potència de les làmpades més els equips auxiliars (W).

S: la superfície il·luminada (m²).

Em: luminància mitjana mantinguda (lux).

Els valors màxims de VEEI s'estableixen en dos grups (Taula 4.26): "Zones de no representació" i "Zones de representació", segons la prioritat dels criteris. L'eficiència energètica és la prioritat del primer grup, i la imatge i l'estat anímic que es vol transmetre, la del segon grup.

Respecte del sistema de regulació i control, el CTE indica que cada zona ha de disposar d'un sistema que compleixi les condicions següents:

Grup	Zona d'activitat diferenciada	VEEI límit
1 Zones de no representació	Espais esportius (inclou terreny de joc i graderies, tant per a entrenaments com per a competició).	4,5
	Zones comunes (rebedors, vestibuls, passadissos, escales, espais de trànsit de persones, etc.).	5
	Magatzems, arxius, sales tècniques i cuines.	5
	Recintes interiors assimilables al grup 1 no descrits a la llista anterior.	4,5
2 Zones de representació	Sales d'actes, auditoris i sales d'usos múltiples i convencions, sales d'oci o espectacle, sales de reunions i sales de conferències.	10
	Zones comunes (rebedors, vestibuls, passadissos, escales, espais de trànsit de persones, etc.).	10
	Recintes interiors assimilables al grup 2 no descrits a la llista anterior.	10

Taula 4.26. Valors límit d'eficiència energètica de la instal·lació d'il·luminació. Font: CTE-HE Estalvi d'energia. 2009.

- Disposar, com a mínim, d'un sistema d'encesa i apagada manual (quan no es disposi d'altres sistemes de control) no acceptant els interruptors de quadre elèctric. Les zones d'ús esporàdic disposaran d'un control d'encesa i apagada mitjançant un sistema detector de presència o un sistema temporitzador.

- S'instal·laran sistemes d'aprofitament de la llum natural que regulin el nivell d'il·luminació en funció de l'aportació de llum diürna, a la primera línia paral·lela de lluminàries situades a una distància inferior a 3 m de les finestres i en totes les situades sota una lluernia. Això és aplicable en els casos concrets que estableix el CTE-HE3.

El tercer requisit del CTE és disposar d'un pla de manteniment que prevegi, entre d'altres accions, les operacions de reposició de làmpades amb la freqüència de reemplaçament, la neteja de lluminàries amb la neteja prevista i la neteja de la zona il·luminada, i que ambdues neteges incloguin la periodicitat necessària. Aquest pla també haurà de tenir present els sistemes de regulació i control de les diferents zones.

A banda d'aquests tres requisits, el CTE limita les pèrdues dels equips auxiliars, per a làmpades de descàrrega d'alta intensitat (vapor de mercuri, vapor de sodi d'alta pressió i halogenurs metàl·lics) i per a làmpades halògenes de baixa tensió.

S'ha preferit no indicar en aquest document aquests valors ja que és molt probable que aquestes taules canviïn, atesa la ràpida evolució de la normativa quant a il·luminació. La Directiva marc vigent en el moment d'editar aquest document és la D 2009/125/CE¹⁹.

4.9. Bescanviadors d'aigua-aigua

La gran quantitat d'aigua calenta distribuïda i consumida en una instal·lació esportiva fa especialment interessant considerar equips eficients de bescanvi per als diferents circuits i de recuperació de calor de diversos efluent.

La distribució de calor pot fer-se en un circuit secundari o bé a temperatura diferent de la temperatura de producció; és per això que s'utilitzen els bescanviadors aigua-aigua.

El bescanviador està format per plaques paral·leles d'acer inoxidable corrugades. Entremig de la primera i la segona placa passa el fluid que cedeix la calor, mentre que, per la segona i la tercera, hi passa el fluid que l'absorbeix, i així successivament.

Quan l'aigua del bescanviador està a una temperatura entre 70 a 90°C és molt rendible usar el bescanviador de plaques ja que millora sensiblement el rendiment del bescanvi, arribant a valors propers al 100 % (la calor cedida per un fluid, és absorbida per l'altre gairebé en la seva totalitat).

Els principals avantatges que presenten aquests bescanviadors respecte dels antics de tubs són:

- Volum molt més reduït: ocupen fins a una desena part de l'espai ocupat per altres bescanviadors (tubulars).
- És possible treballar amb diferència de baixes temperatures entre els fluids.
- La turbulència que es genera entre placa i placa, pel seu perfil, millora molt la transmissió de calor i fa que no s'acumuli brutícia.
- Els dos corrents de fluid són totalment independents.
- Els bescanviadors de plaques que són fàcilment desmontables, faciliten les operacions de neteja i manteniment.

¹⁹ La legislació derivada d'aquesta Directiva es pot consultar a l'apartat de legislació del Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç del Govern espanyol: <http://www.ffii.es/puntoinformcyt/Directivas.asp?Directiva=2009/125/CE>

4.10. Variadors de freqüència

Els variadors o reguladors de freqüència són dispositius que s'alimenten de la xarxa de subministrament elèctric i generen corrent altern de qualsevol freqüència, i permeten així, adaptar les revolucions d'un motor elèctric a les necessitats concretes de bombament, ventilació o compressió de cada moment, amb l'estalvi elèctric que això comporta.

Actualment, gairebé tots són electrònics i de tipus indirecte; primer es rectifica el corrent altern de la xarxa; després, es crea un circuit intermedi de tensió continua (VSI; Voltage Source Inverter) i, tot seguit, un ondulator genera la freqüència variable de sortida. Per a controlar tots aquests elements es necessiten diversos circuits analògics i digitals amb les seves corresponents fonts d'alimentació i també algun sistema de programació, que permeti introduir els paràmetres de funcionament i indicar la consigna de velocitat o el parell mecànic que es desitja.

La inversió necessària és d'uns 500 €/kW per a variadors d'1,5 a 5 kW i d'uns 200 €/kW per a variadors de potència superior a 5 kW. Els estalvis poden arribar fins al 70 % i els períodes de retorn són inferiors als 2 anys.

4.11. Energia solar fotovoltaica

L'energia solar fotovoltaica és l'energia elèctrica que es produeix en incidir la radiació solar sobre cèl·lules fotovoltaïques integrades en una superfície plana anomenada captador o placa fotovoltaica.

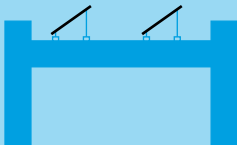
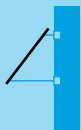
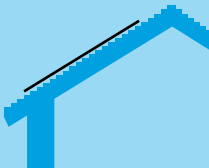
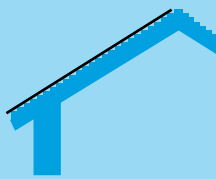
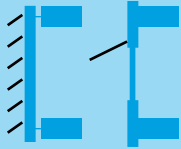
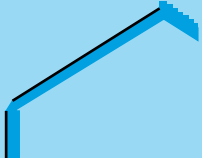
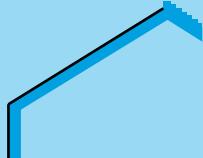
Les aplicacions de l'energia solar fotovoltaica van des de la utilització en productes de consum de petita escala (rellotges, calculadores...) fins a l'electrificació d'habitatges aïllats i la generació d'electricitat en centrals fotovoltaïques connectades a la xarxa elèctrica.

La utilització de l'energia solar fotovoltaica en edificis que ja disposen de subministrament elèctric com les instal·lacions esportives, es fonamenta en aprofitar les possibilitats arquitectòniques que tant les teulades com les façanes dels edificis ofereixen per a instal·lar captadors fotovoltaïcs (Figura 4 53) i reduir les necessitats elèctriques dels edificis.

Així, les instal·lacions integrades en edificis i connectades a xarxa es poden considerar petites centrals elèctriques amb la particularitat que l'energia generada s'inverteix en l'autoconsum de l'edifici o es lliura a la xarxa elèctrica.

El CTE també estableix unes obligacions per a la instal·lació de solar fotovoltaica, però no s'aplica en instal·lacions esportives, les quals sí que tenen l'obligatorietat d'instal·lar energia solar tèrmica.

Figura 4.53 Possibilitats d'integració dels sistemes fotovoltaics en edificis.

Tipus d'integració de components solars	Teulada	Façana
Elements independents		
Elements superposats		
Elements integrats:		
Elements integrats:		
Elements integrats:		

4.12. Fred activat tèrmicament (FAT)

El sistema convencional per a la producció de fred és mitjançant bombes de calor o refredadores. Aquestes estan basades en un cicle termodinàmic, on l'aportació d'energia al cicle es realitza en la fase de compressió, és a dir: consumint energia elèctrica per a accionar un compressor.

Els equips de refrigeració accionats tèrmicament són sistemes que utilitzen energia tèrmica per a produir fred. Per tant, la principal diferència amb els sistemes convencionals és que, enlloc de consumir electricitat, consumeixen calor com a font energètica d'aportació del cicle termodinàmic.

L'atractiu del fred activat tèrmicament és, principalment, la possibilitat d'accionar-lo mitjançant calor residual, energia solar tèrmica, cogeneració, etc.

Els equips de refrigeració tèrmica poden classificar-se en dos grans grups: cicle tancat i cicle obert:

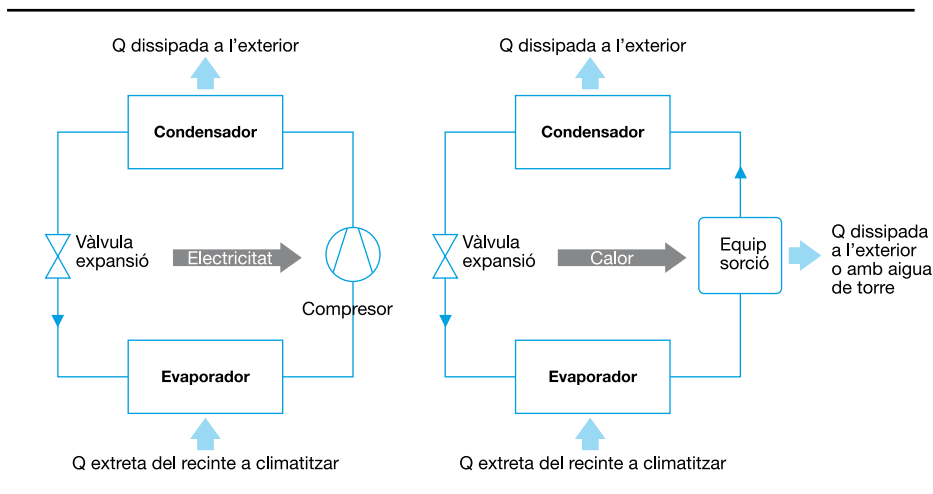
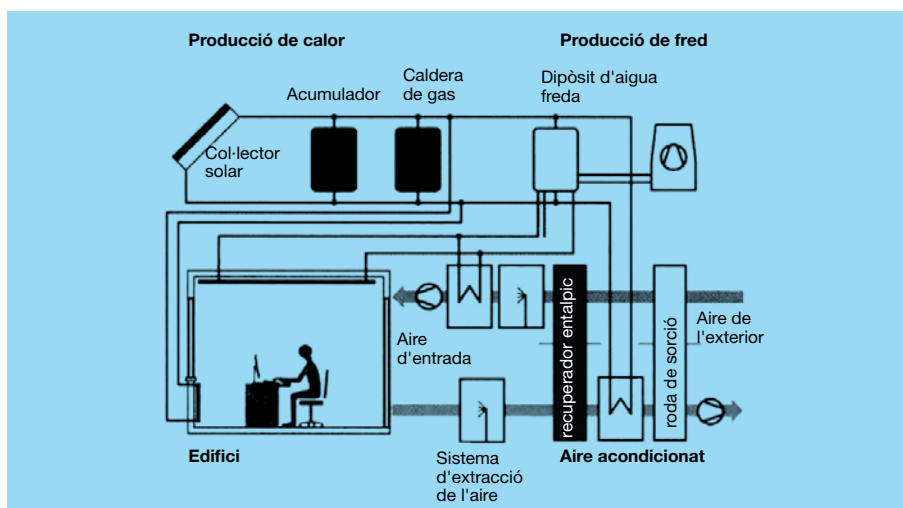


Figura 4.54. Comparació refrigeració per compressió i refrigeració per ab/adsorció.

Figura 4.55. Esquema de funcionament de refrigeració tèrmica de cicle obert i de cicle tancat. Font: CREVER - GATE.



- **Cicle obert:** refrigeren l'aire directament, combinant un refredament evaporatiu amb una deshumidificació mitjançant un material dessecant. Es pot diferenciar entre els sistemes amb dessecants sòlids i els sistemes amb dessecants líquids.

- **Cicle tancat:** són equivalents als sistemes de refrigeració convencional (equips per compressió). La principal diferència rau en que la compressió mecànica del sistema convencional és substituïda per un sistema tèrmic de compressió. La resta del cicle (evaporador, condensador i vàlvula d'expansió) és pràcticament equivalent a la refrigeració convencional, tal com es mostra a la figura 4.54.

La principal diferència entre els cicles oberts i tancats és que els primers tracten l'aire directament, i els segons produeixen aigua freda (equivalent al sistema convencional). A la Figura 4.55 es representa aquesta diferència en la distribució de la calor segons tipus de cicle. En el cas de cicle tancat està alimentant per elements terminals (radiador i sostre fred a tall d'exemple), que són els encarregats de transmetre l'energia tèrmica a l'ambient. En el cas de cicle obert, no hi ha element terminal i és el mateix aire tractat qui aporta l'energia tèrmica a l'ambient.

La distribució per aire comporta un espai necessari superior, per a la implantació

dels equips que l'espai ocupat per un sistema de distribució per aigua. Això comporta una limitació tècnica en edificis construïts amb la distribució de fred ja instal·lada i, per tant, en aquests casos, en general, és més atractiu un cicle tancat.

En el cas d'un centre esportiu nou, la incorporació d'un cicle obert s'ha de considerar des de la fase de disseny.

En el marc de l'estudi ROCOCO de la Comissió Europea (Reduction of Costs of Solar Cooling Systems), es van comparar les quatre tecnologies esmentades (absorció, adsorció, dessecants sòlids i dessecants líquids). Les conclusions extretes van ser les següents:

- La tecnologia d'absorció representa la majoria del mercat.
- La tecnologia d'adsorció es troba solament en grans edificis, a causa de la manca d'equips comercials de petita potència.
- La tecnologia de dessecants és present en edificis públics amb tractament d'aire fred i amb personal de manteniment in situ. No obstant, es troba en la fase inicial de comercialització amb poques instal·lacions de demostració, i encara es troba en un estadi menys madur la implantació de sistemes de refrigeració per dessecants líquids.

Per aquest motiu, aquest apartat de Fred Activat Tèrmicament se centra en la tecnologia d'absorció, i més concretament en les seves aplicacions de refrigeració solar (absorció activada mitjançant plaques d'energia solar) i trigeneració (absorció activada mitjançant cogeneració).

4.12.1. Tecnologia disponible d'absorció

El cicle d'absorció es basa en les propietats físico-químiques d'una solució de dos líquids segons condicions de treball (temperatura i pressió). Un dels líquids és el refrigerant, i l'altre líquid és l'absorbent. Segons el tipus d'ús del fred s'utilitzen principalment dos parells de líquids:

- **Amoníac (NH_3) i aigua:** aplicacions en fred industrial amb temperatures de 0°C a -55°C .

- **Aigua i bromur de liti (LiBr):** aplicacions a temperatura per sobre dels $5-7^\circ\text{C}$, principalment per a climatització. I, per tant, és aquest parell de líquids el que té aplicació en centres esportius.

El rang de potències de fred va des de petites unitats de 4,5 kW per a aplicacions d'aire condicionat fins a unitats de més de 5 MW, emprades en xarxes de distribució de fred i calor de districte (per exemple, la xarxa Districlima a la zona 22@ de Barcelona).

En general, els principals inconvenients de la màquina Aigua-LiBr són:

- Operació en condicions d'alt buit i que el refrigerant se solidifica a 0°C . Poden haver-hi problemes de cristallització de la sal (bromur de liti) per entrada d'aire, baixada anormal de la temperatura de refrigeració i fallada elèctrica.
- Necessitat d'una torre de refrigeració i el consegüent manteniment per normativa (legionel·la). En particular, a les instal·lacions esportives amb producció centralitzada d'aigua calenta sanitària (ACS), aquest control i manteniment no es considera una barrera, doncs ja es realitza per a l'ACS.

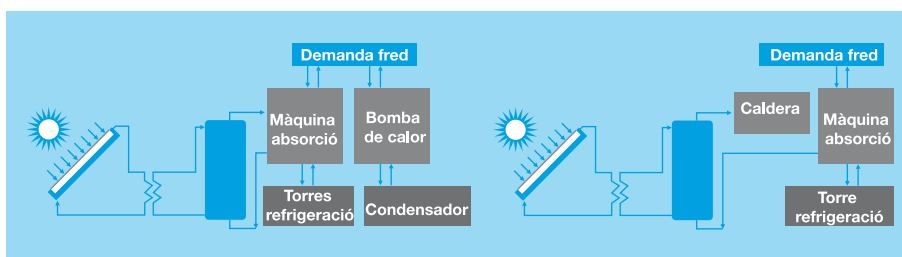
Els equips Aigua-LiBr estan disponibles comercialment en dues configuracions: simple etapa i doble etapa. Aquest últim pot ser considerat com la superposició de dos cicles de simple efecte en cascada. Tal com es pot veure a la Taula 4.27, l'eficiència dels cicles de doble etapa és superior, però necessita temperatures d'activació també superiors.

En els dos apartats següents, s'expliquen més detalladament les característiques de l'aplicació de la tecnologia de fred per absorció en refrigeració solar i en trigeneració.

Característica	Simple etapa	Doble etapa
Temperatura d'activació	85°C – 110°C	> 150°C
Eficiència (COP)	0,6 – 0,7	1,0 – 1,1
Aportació de calor	Aigua calenta: Produïda a propòsit Captadors solars Cogeneració Altres fonts residuals	Vapor d'aigua Flama directa Gasos de combustió Concentradors solars Cogeneració amb turbina o micro-turbina

Taula 4.27 Característiques de màquines d'absorció Aigua-LiBr de simple i doble etapa

Figura 4.56. Esquerra: esquema d'aplicació solar per a refrigeració solament amb màquina d'absorció. Dreta: esquema d'aplicació solar per a refrigeració amb màquina d'absorció i suport de bomba de calor. Font: Guia de Eficiència Energètica en Instal·lacions Deportivas. Fenercom, 2008.



4.12.1.1. Fred solar

El gran avantatge d'utilitzar l'energia solar per a activar una màquina d'absorció és que les hores de màxima producció solar i les hores de màxima demanda de fred coincideixen.

La refrigeració solar pot ser realitzada tant amb un cicle de simple etapa (amb captadors solars de tub de buit) com amb un de doble etapa (amb concentradors solars). Pel que fa a instal·lacions esportives, s'estaria parlant dels primers, els de simple etapa.

Els concentradors solars, a més de representar un cost superior, operen a pressió elevada i, per tant, han de complir el Reglament d'Aparells a Pressió.

A les aplicacions amb energia solar destinada a activar sistemes de fred són necessaris, com en la majoria d'altres aplicacions de l'energia solar tèrmica, els sistemes d'acumulació de calor.

L'equip de suport a la refrigeració solar es pot realitzar de dues maneres diferents:

- Amb una caldera, de manera que la màquina d'absorció generi el total del fred (Figura 4.56, Esquerra).
- Amb una màquina de fred convencional, de manera que la màquina d'absorció generi el que pugui segons l'energia tèrmica solar produïda, i la màquina convencional, cobreix la resta de la demanda (Figura 4.56, Dreta).

Generalment, el suport a la refrigeració amb equips de compressió (Figura dreta) és més eficient i, per tant, són la primera opció davant del suport a la producció de calor amb caldera (figura esquerra)²⁰.

Per a subministrar energia a la màquina d'absorció, es pot connectar al distribuïdor de caldera com un consumidor més en la instal·lació. D'aquesta manera, el sistema de suport solar es podrà aplicar, tant a la producció de fred com a la de calor, de manera senzilla i natural.

4.12.1.2. Trigeneració

La trigeneració consisteix en incorporar un equip de fred activat tèrmicament a un

²⁰ Font: Aplicacions de les energies renovables en edificis: climatització solar i altres conceptes de solar tèrmica. Daniel González i Castellvi. 53ª Jornada Tècnica d'AGEM CETIB, 29 d'octubre de 2008.

equip de cogeneració, de manera que la calor residual de l'equip de cogeneració sigui l'aportació energètica al cicle termodinàmic de l'equip de fred activat tèrmicament. D'aquesta manera, la trigeneració produeix simultàniament electricitat, calor i/o fred, a partir d'un mateix combustible.

Figura 4.57. Esquerra: Cobertura de calor d'una cogeneració
Dreta: Trigeneració: cogeneració amb activació de Fred Activat Tèrmicament (FAT)
Font: Isuno Energy.

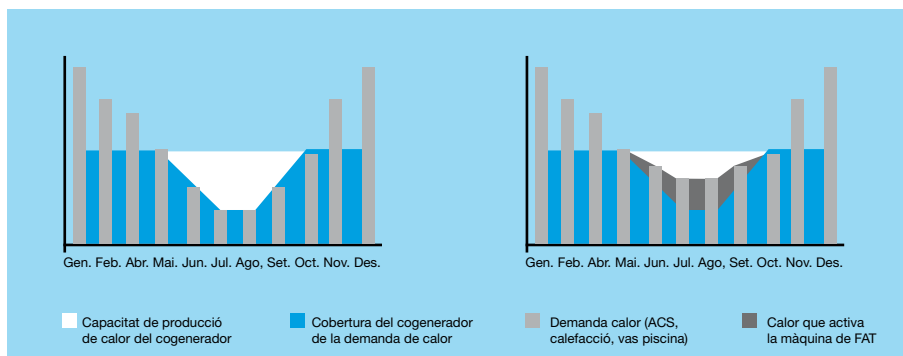


Figura 4.58. Recupera-
ció de calor en motor
de gas per absorció.
Font: CAMELIA:
Concerted Action Mul-
tigation Energy
Systems with Locally
Integrated Applica-
tions. . . Technical
Component Database,
2006

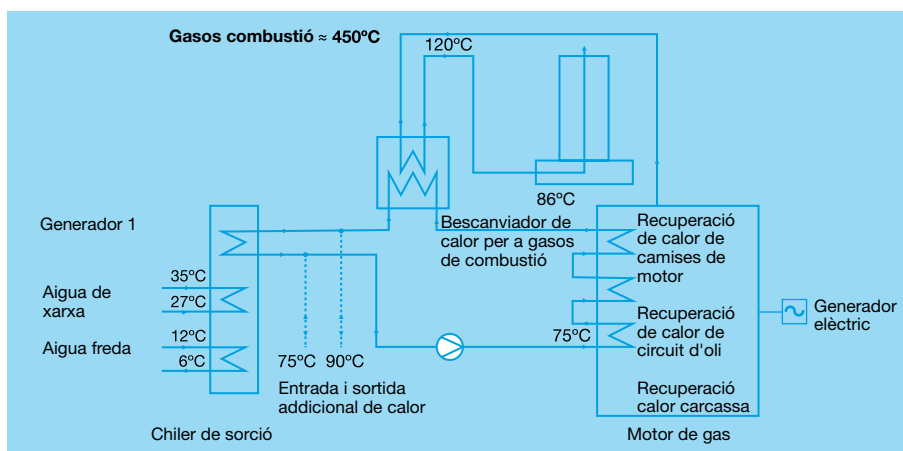
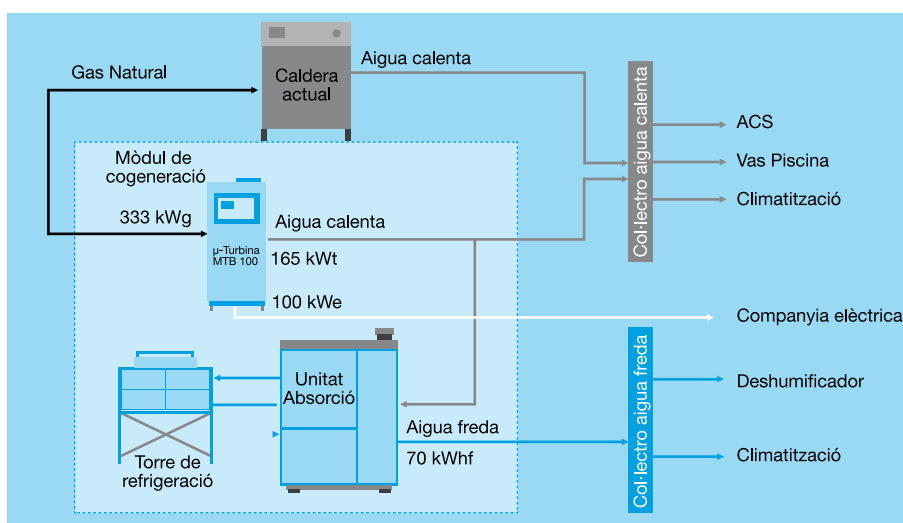


Figura 4.59. Trigene-
ració amb suport de
caldera per a la gene-
ració de calor. Font:
Viabilitat d'un sistema
de trigeneració en
piscines climatitzades.
Ecovat, 2010



L'ús d'unitats de cicles d'absorció permet incrementar el rendiment total de les instal·lacions de cogeneració. És molt habitual que l'equip de cogeneració no treballi al 100% durant l'estiu. A la Figura 4.57 (Esquerra) es representa conceptualment aquesta càrrega parcial.

Si a aquesta cogeneració se li afegeix una màquina d'absorció, s'aconsegueix augmentar les hores anuals en què la màquina treballa a màxima capacitat, i per tant, s'aconsegueix augmentar el rendiment de la cogeneració, tal com es representa a la Figura 4.57 (Dreta).

En una cogeneració hi ha dos tipus de calor aprofitables per a generar fred:

- **Els gasos d'escapament** (motors i turbines): es troben, orientativament, entorn dels 400°C i, per tant, tenen prou temperatura per a accionar una absorció de doble cicle.

- **Calor de baixa temperatura** (motors): pot accionar una absorció de simple etapa (camisa de refrigeració del motor, circuit d'oli).

En el cas d'una cogeneració amb motor, en què es tenen els dos nivells de calor, s'acoblaria a una absorció de simple etapa, especialment per a potències de fred inferiors a 300 kW.

A la Figura 4.59 es mostra una configuració de trigeneració amb una caldera en paral·lel com a suport de la generació de calor. El suport de la generació de fred es realitzaria de manera equivalent a la generació de calor, amb un equip convencional en paral·lel.

Les instal·lacions esportives amb piscines en recintes tancats necessiten deshumidificar l'aire, cosa que comporta un consum d'electricitat important. Habitualment, les màquines deshumidificadores ja incorporen el seu propi sistema per a generar el fred que necessiten, basat en la refrigeració per compressió.

Una alternativa seria una deshumidificadora equivalent però sense generació pròpia de fred. D'aquesta manera, la trigeneració podria proporcionar totalment o parcialment el fred necessari per a deshumidificar l'aire del recinte de la piscina.

4.12.2. Dimensionament i paràmetres del sistema

El dimensionament de la màquina d'absorció per a refrigeració solar o per a trigeneració es realitza en funció de la disponibilitat d'energia tèrmica provinent d'energia solar tèrmica o de calor residual de la cogeneració, respectivament.

Si hi ha prou disponibilitat energètica per a cobrir la demanda de fred, no caldrà ampliar l'equip d'absorció. Si no hi ha prou disponibilitat d'energia tèrmica (com passa habitualment), cal disposar d'un sistema en paral·lel que permeti realitzar fred mitjançant un sistema convencional de compressió.

Tenint en compte les eficiències dels equips d'absorció, es tindran 0,7 kW de fred per cada kW de calor disponible en el cas d'absorció de simple etapa, i 1,1 kW de fred per cada quilowatt de calor en el cas d'absorció de doble etapa.

En el cas d'una instal·lació de captadors solars dedicada a la refrigeració amb absorció de simple etapa, la superfície de captadors solars necessària seria d'uns 2 m² per quilowatt instal·lat de fred. La superfície horitzontal ocupada pels captadors solars seria d'uns 4,3 m² per quilowatt instal·lat de fred (com s'esmenta al capítol d'energia solar tèrmica, el CTE-HE4 indica la metodologia per al càlcul d'ombres i disposició dels panells).

Quan s'afegeix una màquina d'absorció a la corba de demanda de calor útil de la instal·lació se li afegeix la demanda de calor necessària per a accionar l'absorció. La corba de demanda resultant tindrà un perfil més pla, és a dir, una demanda de calor

més constant durant l'any. Això significarà un funcionament superior a plena càrrega de l'equip cogenerador, i consegüentment un millor rendiment de la instal·lació. En alguns casos, i si la demanda tèrmica de fred és dominant, es podrà instal·lar una potència de l'equip de cogeneració superior, augmentant la cobertura de les necessitats de calor de la instal·lació.

L'equilibri entre la potència de l'equip cogenerador i la potència de la màquina d'absorció es determina mitjançant l'estudi de viabilitat. D'una banda s'analitza la demanda tèrmica dominant i es dimensionen els equips i, de l'altra, s'avalua econòmicament el balanç d'explotació per a cada opció.

4.12.3. Normativa

Com ja s'ha comentat, les màquines d'absorció Aigua – Bromur de Liti, necessiten una torre de refrigeració. Per aquest motiu es necessita un control estricte dels sistemes de prevenció i control de la legionel·losi, en compliment del Decret 352/2004 .

4.12.4. Consideracions econòmiques

El preu de mercat de la unitat d'absorció, entre 1,5 i 2,5 cops el d'una unitat convencional de capacitat equivalent, està entre 500 i 1.400 €/kWfred .

Refrigeració solar

En el cas de la refrigeració solar, realitzant la inversió tant per la unitat d'absorció com per als captadors solars, el cost d'inversió estaria entre 2,5 i 6 cops respecte el sistema convencional, segons l'estudi ROCOCO.

La inversió necessària seria d'uns 3.000 – 4.500 €/kWfred. El 50% - 60% d'aquesta inversió correspon als captadors solars, la màquina d'absorció, la torre de refrigeració i l'acumulació. L'altra meitat és el sistema elèctric, regulació i monitorització, sistema de suport convencional, enginyeria i costos generals.

Tenint en compte que el cost específic dels captadors solars és elevat (1.200 – 1.500 €/m² de captador solar instal·lat), aquesta inversió es redueix considerablement en el cas que els captadors d'energia solar tèrmica ja existeixin, i solament s'hi ha d'afegir la unitat de refrigeració.

L'estalvi en l'explotació ve principalment per no consumir pràcticament gens d'electricitat per a la quantitat de fred produïda per la màquina d'absorció. En el cas de la refrigeració solar es parlaria de més d'un 95% d'estalvi en consum elèctric.

Trigeneració

En el cas de la trigeneració, els costos serien els indicats en el capítol de cogeneració i microcogeneració més una màquina d'absorció.

L'estalvi en l'explotació seria inferior que en la refrigeració solar pel fet de consumir gas natural, però igualment es tracta d'un estalvi important. El més interessant de la trigeneració des del punt de vista econòmic, és que la incorporació d'una màquina d'absorció, generalment, millora la rendibilitat d'una cogeneració.

La viabilitat d'una instal·lació de refrigeració solar i trigeneració en un centre esportiu és complex i requereix l'estudi detallat de la viabilitat tècnica i econòmica per a cada instal·lació esportiva. En tot cas, es recomana avaluar aquesta tecnologia en els casos següents:

- La producció de fred és centralitzada i és planteja substituir la refredadora existent.
- Es disposa d'un emplaçament per a la màquina de fred, torre de refrigeració i sistemes auxiliars.

- Hi ha energia tèrmica disponible i de fàcil integració al sistema: excedent d'una instal·lació de solar tèrmica, una cogeneració que durant l'estiu treballa a càrrega parcial.
- Si la instal·lació es troba en fase de disseny, llavors és necessari estudiar la viabilitat d'afegir una màquina d'absorció.

4.13. Sistema de gestió tècnica i monitorització de les instal·lacions

El sistema de gestió i monitorització de les instal·lacions permet integrar i controlar tots els sistemes i tecnologies d'una instal·lació. Consisteix en un sistema de control i automatització de les instal·lacions format per elements informàtics, de comunicació, electrònics i electromecànics, de manera que se centralitza la informació relacionada amb les instal·lacions, se'n programa i regula el funcionament i manteniment.

Per a edificis o instal·lacions esportives disseminades és especialment interessant la telegestió, que consisteix en la gestió centralitzada per a un conjunt d'edificis o instal·lacions.

Als apartats següents es parla, d'una banda, dels sistemes de regulació i control i, de l'altra, dels sistemes de gestió energètica (SGE). Aquests últims sorgeixen com a resposta a l'augment de la preocupació pel consum energètic.

4.13.1. Sistemes de regulació i control

Un sistema de control és un conjunt d'elements físics connectats de tal manera que poden realitzar el comandament, direcció o regulació d'un sistema determinat. L'objectiu d'un sistema de control és poder realitzar quatre tipus diferents de funcions:

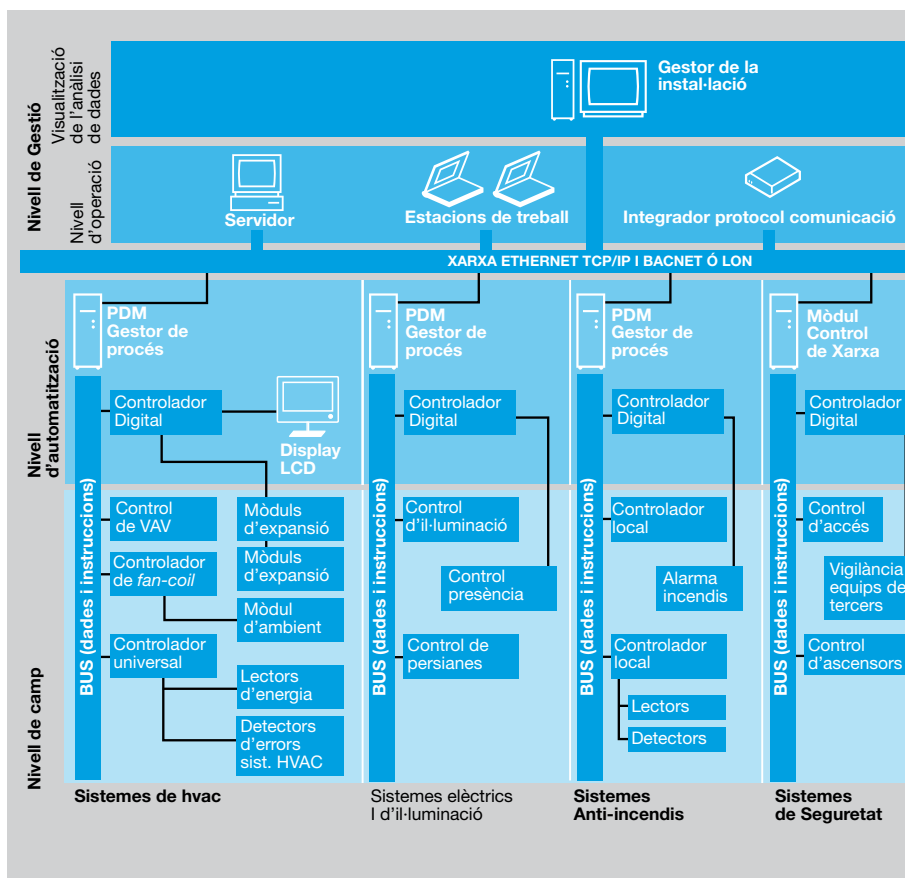
- Mantenir unes condicions de disseny. Els controladors mantenen el sistema en les condicions per a les quals han estat dissenyats (temperatura, humitat, etc.).
- Reducció de mà d'obra. El control automatitzat redueix la quantitat de mà d'obra necessària per a funcionar i mantenir els sistemes d'un edifici (encesa/apagada d'equips o circuits, etc.), reduint també així els costos d'explotació i els errors humans.
- Minimitzar costos d'energia i ús. Un sistema de control optimitza l'ús de l'energia en el funcionament de la instal·lació que comanda. Els sistemes de control que satisfan aquestes tres funcions s'anomenen sistemes de control operatiu.
- Mantenir els equips operatius en els nivells de seguretat. Un equip de control ha de mantenir un nivell de seguretat a fi d'evitar danys a les instal·lacions i persones. Aquest tipus de control s'anomena control de seguretat.

Un sistema de control permet gestionar totes les instal·lacions d'un edifici:

- Sistemes de transport: ascensors, escales mecàniques, etc.
- Sistemes de seguretat: accessos a portes, vigilància per vídeo CCTV, protecció de recintes, etc.
- Control d'incendis.
- Control sistema elèctric: bateries de correcció del factor de potència, control de consums...
- Sistemes d'il·luminació.
- Calefacció, refrigeració i ventilació.

El sistema de gestió uneix tots aquests sistemes en un nivell de gestió superposat (Figura 4.60). El servidor d'aquests sistemes és un SCADA (*Supervision Control And Data Acquisition*).

Figura 4.60. Sistema de Gestió Tècnica d'un edifici. Font: Estalvi i eficiència energètica en edificis públics. Quadern . Pràctic número 2, ICAEN 2009.



4.13.2. Monitorització energètica i Sistema de gestió energètica

Els sistemes de control i gestió explicats a l'apartat anterior estan enfocats al funcionament d'instal·lacions, sense necessitat d'emmagatzemar dades de consums específics dels diferents equipaments.

Una monitorització energètica es realitza d'una manera similar als sistemes de gestió tècnica: elements físics que es comuniquen amb un servidor, on s'emmagatzemen totes les dades, i amb un programari dedicat al tractament d'aquesta informació.

Els elements físics tenen l'objectiu de mesurar energia, o rendiment energètic d'un punt o equipament en específic. Per exemple, la monitorització energètica d'una planta refredadora es podria realitzar de les dues maneres següents:

- Consum energètic de la planta refredadora: instal·lar un mesurador específic d'energia elèctrica per a la planta refredadora.
- Rendiment energètic: el mateix que per a consum energètic, però afegint mesuradors d'energia tèrmica en el circuit hidràulic. El programari realitzaria la combinació adient de les dades elèctriques i tèrmiques per a obtenir el rendiment energètic de la planta refredadora.

Gràcies a una monitorització energètica es pot conèixer el funcionament real de les instal·lacions, i identificar punts d'actuació per a detectar punts de consum massa elevats, consums residuals, càrregues nocturnes, etc. Sense aquesta monitorització energètica no seria possible detectar aquest tipus d'ineficiències, i consegüentment, no seria possible corregir-les.

Aquest coneixement en temps real de consum i rendiment energètic permet optimitzar en un grau superior el funcionament de les instal·lacions com, per exemple:

- Arrencades i parades optimitzades en el temps.
- Parada d'equips en períodes de baixa càrrega i, per tant, amb un baix rendiment de funcionament.
- Arrencades esglaonades d'equips per a evitar puntes.
- Punts de consigna en funció d'altres condicionants (horaris, ocupació, temperatura exterior).
- Reducció de puntes de consum mitjançant la desconexió selectiva d'equips en períodes en els quals se supera un valor límit.

A més, un sistema de monitorització energètica és una eina important pel que fa a la valoració de viabilitat econòmica de mesures d'eficiència energètica. Gràcies a la monitorització energètica es disposa d'una informació acurada que permet minimitzar les incerteses en l'estudi d'implantació, donant més fiabilitat i confiança als beneficis econòmics i ambientals de la mesura avaluada.

Un centre esportiu, gràcies a la monitorització energètica, pot aconseguir estalvis energètics, els quals dependran de l'estat de les instal·lacions, del grau de manteniment, monitorització i seguiment de les instal·lacions de cada centre esportiu.

De manera general, amb un sistema de monitorització energètica es pot aconseguir un estalvi del 5% per canvis de comportament energètic. Aquests estalvis poden arribar a ser del 20% si la monitorització energètica va acompanyada d'un seguiment continuat de la instal·lació, d'una programació adequada del seu funcionament i de detecció de punts de millora i implantació de mesures d'eficiència energètica. Aquí és on intervenen els Sistemes de Gestió Energètica (SGE).

Implantar un SGE és establir un procediment organitzat de previsió i control del consum d'energia. Un SGE té la finalitat d'optimitzar el subministrament, la conversió i la utilització de l'energia adequant-se a les prestacions i necessitats de les instal·lacions.

A la Figura 4.61 es representa de manera qualitativa la diferència de consums energètics entre una instal·lació convencional i una instal·lació amb sistema de gestió energètica sistemàtica.

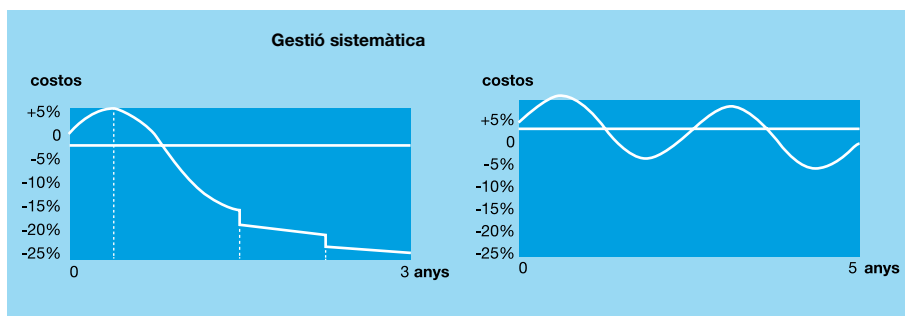


Figura 4.61. Evolució qualitativa del consum energètic amb i sense gestió sistemàtica.
Font: Gold Standard – IS393 Energy Management System – SEI Sustainable Energy Ireland

La metodologia emprada en el procés de gestió energètica comporta les fases següents:

- **Inventari d'equips consumidors.** Cal conèixer la quantitat d'equips consumidors i el tipus d'energia que consumeixen, així com les seves característiques (rendiment, potència absorbida, etc.).

- **Auditoria energètica.** Es realitza una anàlisi de la situació energètica actual per a conèixer els usos energètics de les instal·lacions. Amb aquestes dades s'elabora un diagnòstic, un estudi de millores i una anàlisi econòmica d'aquestes.

- **Formació i motivació del personal.** És un requisit indispensable per a un ús realment racional de l'energia.

- **Implantació d'un Sistema de Gestió Energètica**, certificat o no certificat, que compleixi els punts següents:

- Disposar de prou mesuradors d'energia en línia per a poder discretitzar consums energètics prou detallats.

- Tenir els mesuradors connectats a un sistema de monitorització i control, on es pugui consultar en temps real els consums, i que faci tractament automàtic de les dades i informes tipus.

- Objectius concrets de reducció d'energia associats a un pla estratègic de l'empresa o de les instal·lacions.

- Definició d'un organigrama de responsables.

- Assignació de recursos (personal, partida pressupostària pròpia, formació específica, etc.).

- Sistema procedimentat i protocolaritzat d'acció i de verificació de mesures energètiques.

- Supervisió de comandes de compres, per a valorar-ne la idoneïtat.

La nova norma EN 16001 Certificació en Sistemes de Gestió Energètica estableix les millors pràctiques en la gestió de l'energia. La norma especifica els requisits per a un SGE, per a permetre a les organitzacions desenvolupar i implantar una política energètica, identificar àrees significatives de consum energètic i localitzar les possibles reduccions d'energia.

Aquesta norma és integrable a la resta de normes ISO 9001 (Qualitat), ISO 14001 (Medi ambient), OHSAS 18001 (Seguretat i Salut), PAS 2050 (Verificació de la petjada de carboni), entre altres. Actualment, s'està treballant en l'equivalent a la norma ISO.

4.13.3. Normativa: Programa de gestió energètica i monitorització de consums

El RITE estableix que les instal·lacions tèrmiques disposaran d'un programa de gestió energètica, i proporciona indicacions per als punts següents:

- Avaluació periòdica del rendiment dels equips generadors de calor.
- Avaluació periòdica del rendiment dels equips generadors de fred.
- Instal·lacions d'energia solar tèrmica.
- Assessorament energètic.

D'altra banda, el RITE exigeix la instal·lació de sistemes de comptabilització de consums d'energia. També indiquen la obligatorietat d'instal·lar mesuradors: el CTE-HE4, per al sistema d'energia solar tèrmica i el Decret 95/2000, per a l'aigua del vas de piscina.

Mesuraments per a equips generadors de calor i de fred

L'empresa mantenidora realitzarà una anàlisi i avaluació periòdica del rendiment dels equips generadors de calor i de fred en funció de la seva potència tèrmica nominal instal·lada, mesurant i registrant els valors, d'acord amb les operacions i periodicitats indicades a la Taula 4.28, i la Taula 4.29. En les successives inspeccions o mesuraments, el rendiment del generador de calor ha de tenir un valor no inferior a 2 unitats respecte al determinat en la posada en servei.

Instal·lacions d'energia solar tèrmica

En instal·lacions amb superfície d'obertura de captació superior a 20 m² s'ha de realitzar un seguiment periòdic del consum d'aigua calenta sanitària i de l'aportació solar, mesurant i registrant els valors.

Un cop a l'any s'ha de realitzar una verificació del compliment de l'exigència que apareix al CTE-HE4 sobre aportació solar mínima d'aigua calenta.

Mesuraments de generadors de calor Directa	Periodicitat		
	20 kW<P≤70 kW	70 kW<P≤1000 kW	P>1000 kW
Temperatura o pressió del fluid portador a l'entrada i sortida del generador de calor.	2 anys	3 mesos	1 mes
Temperatura ambient del local o sala de màquines.	2 anys	3 mesos	1 mes
Temperatura dels gasos de combustió.	2 anys	3 mesos	1 mes
Contingut de CO i CO ² en els productes de combustió.	2 anys	3 mesos	1 mes
Índex d'opacitat dels fums en combustibles sòlids o líquids i de contingut de partícules sòlides en combustibles sòlids.	2 anys	3 mesos	1 mes
Tiratge en la caixa de fums de la caldera.	2 anys	3 mesos	1 mes

Taula 4.28. Mesuraments de generadors de calor i la seva periodicitat.

Taula 4.29. Mesuraments de generadors de fred i la seva periodicitat

Mesuraments de generadors de calor Directa	Periodicitat	
	20 kW < P ≤ 70 kW	70 kW < P ≤ 1000 kW
Temperatura del fluid exterior a l'entrada i sortida de l'evaporador i del condensador.	3 mesos	1 mes
Pèrdues de pressió a l'evaporador i el condensador en plantes refredades per aigua.	3 mesos	1 mes
Temperatura i pressió d'evaporació i de condensació.	3 mesos	1 mes
Potència elèctrica absorbida.	3 mesos	1 mes
Potència tèrmica instantània del generador, com a percentatge de la càrrega màxima.	3 mesos	1 mes
REE o COP instantani.	3 mesos	1 mes
Cabal d'aigua a l'evaporador i al condensador.	3 mesos	1 mes

Instal·lacions d'energia solar tèrmica

En instal·lacions amb superfície d'obertura de captació superior a 20 m² s'ha de realitzar un seguiment periòdic del consum d'aigua calenta sanitària i de l'aportació solar, mesurant i registrant els valors.

Un cop a l'any s'ha de realitzar una verificació del compliment de l'exigència que apareix al CTE-HE4 sobre Aportació solar mínima d'aigua calenta.

Assessorament energètic

L'empresa mantenidora ha d'assessorar el titular, recomanant millores o modificacions de la instal·lació, així com en el seu ús i funcionament, que redundin en una eficiència energètica superior.

A més, en instal·lacions de potència tèrmica nominal superior a 70 kW, l'empresa mantenidora ha de realitzar un seguiment de l'evolució del consum d'energia i d'aigua de la instal·lació tèrmica periòdicament, amb la finalitat de poder detectar possibles desviacions i prendre les mesures correctores oportunes. Aquesta informació s'ha de conservar durant un termini de, com a mínim, cinc anys.

Comptabilització de consums d'energia

El RITE estableix el que s'exposa a continuació:

- Tota instal·lació tèrmica que doni servei a més d'un usuari disposarà d'algun sistema que permeti repartir les despeses corresponents a cada servei entre els diferents usuaris. El sistema s'ha d'instal·lar en l'escomesa a cada unitat de consum, i ha de permetre regular i mesurar els consums, així com interrompre els serveis des de l'exterior dels locals.
 - Instal·lacions de potència tèrmica nominal superior a 70 kW:
 - dispositius per a mesurar i registrar el consum de combustible, de manera separada del consum a causa d'altres usos de la resta de l'edifici.
 - dispositiu que registri el nombre d'hores de funcionament del generador.
 - els compressors frigorífics han de disposar d'un dispositiu per a registrar el nombre d'arrencades que tingui.

- Instal·lacions de potència tèrmica nominal superior a 400 kW:
 - dispositius per a mesurar l'energia tèrmica generada. Aquest dispositiu es podrà emprar també per a modular la producció en funció de la demanda.
 - (generació fred) dispositiu per a mesurar i registrar el consum d'energia elèctrica de la central frigorífica (maquinària frigorífica, torres i bombes d'aigua refrigera-da, essencialment) de manera diferenciada del mesurament del consum d'energia de la resta d'equips del sistema de condicionament.
 - Les bombes i ventiladors de potència elèctrica del motor superior a 20 kW han de disposar d'un dispositiu que permeti registrar les hores de funcionament de l'equip.
 - Els ventiladors de més de 5 m³/s han de portar incorporat un dispositiu indirecte per al mesurament i control del cabal d'aire.

El CTE també realitza indicacions sobre el sistema de mesurament, en el seu apartat "HE-4 Aportació solar mínima d'aigua calenta sanitària": A més dels aparells de mesurament de pressió i temperatura que permeten la correcta operació, per al cas d'instal·lacions de més de 20 m² s'ha de disposar, com a mínim, d'un sistema analògic de mesurament local i registre de dades que indiqui, com a mínim, les variables següents:

- Temperatura d'entrada d'aigua freda de xarxa.
- Temperatura de sortida d'acumulador solar.
- Cabal d'aigua freda de xarxa.

El tractament de les dades proporcionarà, com a mínim, l'energia solar tèrmica acumulada al llarg del temps.

El Decret 95/2000 pel qual s'estableixen les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic també realitza indicacions de mesurament: en el cas d'instal·lacions amb piscina, cal disposar d'un sistema de control de l'aportació d'aigua nova i de l'aigua recirculada.



5. Pavellons i sales

En aquest capítol s'exposarà la manera de racionalitzar l'ús de l'energia a pavellons i sales poliesportives. En ambdós casos, l'espai esportiu consisteix en un terreny de pràctica cobert i tancat; el pavelló, amb una superfície de 640 a 1.215 m² i una alçada mínima de 7 metres i la sala poliesportiva, amb una superfície de 200 a 350 m² i una alçada mínima de 4 metres.

5.1. Criteris de confort

En un pavelló o sala poliesportiva es porten a terme activitats diferents, ja que en el mateix recinte hi ha persones practicant l'esport i espectadors en actitud sedentària. Naturalment, atesa la finalitat d'aquest tipus d'instal·lacions, cal assolir les exigències de confort dels esportistes, intentant, en la mesura del que és possible, que la zona especialment dedicada als espectadors ofereixi unes condicions de comoditat properes a llurs necessitats.

Seguidament es particularitzen les condicions higromètriques de confort, de qualitat d'aire i visuals específiques dels pavellons i de les sales poliesportives.

5.1.1. Confort tèrmic

Com s'ha indicat al Capítol 2, el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis, pel que fa referència a les exigències ambientals i de confortabilitat, fixa uns intervals de temperatura de confort que són propis d'activitats sedentàries, així com el procediment de càlcul per a activitats metabòliques superiors.

D'una banda, el RITE indica unes condicions de disseny i, de l'altra, limita les condicions d'ús amb un màxim de 21°C en recintes calefactats, i un màxim de 26°C en recintes refrigerats, quan s'usi energia convencional. Aquesta limitació d'ús no afecta els locals que justifiquin el manteniment de determinades condicions ambientals o disposin de normativa específica.

Els esportistes, amb la seva activitat física, redueixen la seva temperatura ambient de confort pel propi alliberament de calor. En aquests casos, les temperatures recomanades de confort es mostren a la Taula 5 1. La humitat relativa s'aconsella que es mantingui entre el 40 i el 60 %.

Petites variacions de la temperatura dels locals a escalfar repercuteixen en gran mesura en el consum energètic. Així, per exemple, la disminució d'1°C en la temperatura de l'aire d'un pavelló de 1.000 m³ permet un estalvi de l'ordre del 8% sobre el consum total d'energia per calefacció. És necessari, per tant, un control estricte de la temperatura ambient del poliesportiu.



Figura 5 1. Palau Sant Jordi.

Taula 5.1. Temperatures recomanades. Font: Les salles sportives et les salles polyvalents. Association Française pour le développement des équipements des sports et des loisirs (1982).

Taula 5 2. Relació de nivells d'il·luminació i uniformitats. Font: Norma UNE-EN 12193:2009

Tipus de dependència	Temperatura ambient recomanada
Esports col·lectius intensos (handbol, bàsquet...).	12 – 15°C
Esports amb activitat moderada (gimnàstica, dansa, nens, handbol, bàsquet...).	16 – 18°C
Dutxes i vestuaris.	20 – 22°C

Activitat	Il·luminació horitzontal (lux)		Uniformitat	
	Entrenament	Competició	Entrenament	Competició
Gimnàstica	300	500	0,6	0,7
Atletisme	300	500	0,6	0,7
Hoquei	500	750	0,7	0,7
Bàdminton	500	750	0,7	0,7
Tennis	300	500	0,7	0,7
Tennis taula	500	750	0,7	0,7
Boxa	1.000	2.000	0,8	0,8
Judo	500	750	0,7	0,7
Halterofília	500	750	0,7	0,7
Esgrima	300	500	0,7	0,7
Ciclisme	500	750	0,7	0,7
Patinatge artístic	300	500	0,6	0,7
Esquaix	500	750	0,7	0,7

5.1.2 . Qualitat de l'aire

La mateixa normativa citada en l'apartat de confort tèrmic dona els valors de ventilació en funció de l'ocupació i de la superfície de la sala, uns valors que es mostren a la Taula 2.6 del capítol 2.

5.1.3. Confort visual

A la Taula 5.2 es mostra un resum de les il·luminacions horitzontals amb llum artificial. Aquests valors estan basats únicament en el repartiment de l'enllumenat directe, ja que les influències de l'aportació indirecta no es poden calcular si no es coneixen els graus de reflexió més importants.

Figura 5.2. Il·luminació lateral i central al poliesportiu de l'Hospitalet. A la façana sud (zona graderies) l'envidrament és translúcid per a evitar enlluernaments.



Els índexs de reproducció cromàtica s'aconsellen iguals o superiors al 60%, mentre que per al cas d'entrenament físic a nivell d'aficionat n'hi ha prou que sigui superior al 20%.

En el cas d'instal·lacions exteriors o instal·lacions interiors amb una aportació de llum natural significativa, la temperatura de color de la il·luminació artificial haurà d'estar entre 4.000 K i 6.500 K quan s'utilitzi il·luminació amb projectors durant el dia i el crepuscle. Si no hi ha una aportació de llum natural significativa, llavors l'interval es pot estendre entre 3.000 K i 6.500 K.

5.2 Disseny arquitectònic

En aquest apartat es comentaran els aspectes arquitectònics que influeixen decisivament en el consum energètic del centre.

En edificis de nova construcció o ampliacions de més de 1.000 m² que renovin més del 25% dels tancaments, és obligatori complir la normativa que estableix el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE H1) "CTE H1: Limitació de la demanda energètica" pel que fa a l'envolupant de l'edifici. Al Capítol 3 es fa una explicació amb més detall d'aquesta normativa, i d'altres que cal tenir en compte.

L'orientació idònia de l'eix longitudinal de l'espai de pràctica esportiva, sempre que les condicions topogràfiques i el règim de vents ho permetin, és la direcció est-oest.

Les infiltracions d'aire fred degudes a la permeabilitat dels tancaments s'hauran de minimitzar ja que incrementen el consum energètic i redueixen el confort dels esportistes pels corrents d'aire fred que s'originen.

Els espais que són susceptibles de presentar condensacions són les dutxes, els vestidors i les sales de musculació. Com s'ha explicat en el Capítol 3, la humitat relativa mitjana mensual a les esmentades superfícies cal que sigui inferior al 80%, i la màxima condensació anual acumulada no serà superior a la quantitat d'evaporació possible en el mateix període. També s'han d'eliminar els ponts tèrmics per a evitar condensacions i, així, és indispensable col·locar l'aïllant a la cara exterior del tancament.

Per a l'orientació abans exposada convé que els paraments longitudinals permetin l'entrada de llum tan homogènia i difosa com sigui possible. Es recomana que la superfície de llumerna en els paràmetres longitudinals sigui com a mínim un 25% de la superfície de l'espai esportiu. Per a assolir la il·luminació completa cal una superfície de l'ordre del 30 al 40% de la superfície del local (doble a nord que a sud). Es disposarà de paraments opacs cecs darrere les porteries o cistelles per a evitar enlluernaments. En el cas d'il·luminació zenital s'aconsella que la superfície mínima de llurnes sigui del 10 % de la superfície de l'espai esportiu.

A la Figura 5.3 es mostren exemples d'il·luminació natural lateral i zenital. En el

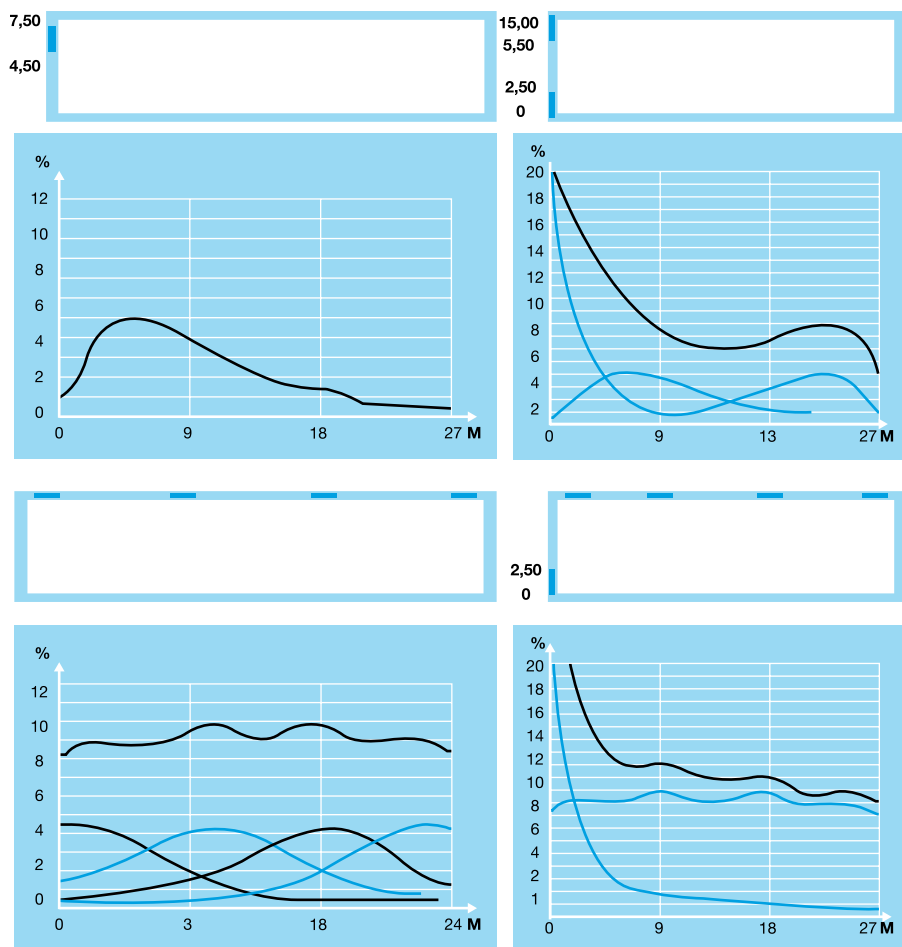


Figura 5.3 Exemples d'enllumenat natural lateral i central. Font: Les salles sportives et les salles polyvalentes. Association Française pour le développement des équipements des sports et des loisirs (1982).

cas de la il·luminació lateral s'observa que el factor de llum diürna decreix ràpidament amb la distància a la superfície transparent fins al punt que, més enllà dels 15 metres dels finestrals, és necessari l'enllumenat artificial.

L'enllumenat zenital comporta un repartiment molt bo de l'enllumenat natural en tot l'espai esportiu, tot i que la millor solució consisteix en combinar l'enllumenat natural zenital amb el lateral.

L'envidrament, fins a una altura de dos metres, ha de ser resistent als xocs o bé estar protegit i no presentar perill en cas de ruptura. S'han de preveure també sistemes de control solar per a impedir l'enlluernament o utilitzar elements translúcids.

El tipus de vidre emprat fins ara havia estat el simple. En zones orientades a nord i en sales tipus vestidors, es recomanava emprar vidre doble. Avui en dia, el CTE-HE1 de limitació de la demanda tèrmica, és el que limitarà quin tipus de vidre es pot utilitzar. Segons la superfície d'envidrament, com a mínim se'n necessitarà un de doble vidre. Un vidre doble disminueix en un 40% les pèrdues de calor amb relació a un vidre únic. El vidre doble també té la funció, a l'estiu, de reduir els guanys tèrmics entre un 10 i un 15 %.

5.2. Càlcul de la despesa energètica

En aquest apartat es detalla la metodologia de càlcul de la despesa atribuïda a la calefacció, a l'aigua calenta sanitària i a la il·luminació. L'explicació es fa després d'haver caracteritzat les particularitats arquitectòniques dels pavellons i sales poliesportives, ja que aquestes influeixen de manera decisiva en el consum energètic de la instal·lació esportiva.

5.2.1. Despesa en calefacció

En aquest apartat s'avaluarà la despesa energètica per climatització, ja sigui d'una sala, un conjunt d'elles o tot el pavelló poliesportiu. Les sales esportives habitualment no necessiten una aportació externa de calor ja que el propi exercici dels esportistes en genera prou. En el cas de pavellons amb graderies s'opta en molts casos per calefactar simplement l'espai on es troben els espectadors. A més, atès el gran volum dels pavellons, s'opta per ventilar-les enlloc de refrigerar-les.

La despesa per calefacció, en el cas que sigui necessària, serveix per a compensar les pèrdues tèrmiques a través de les superfícies que formen el tancament. Conseqüentment és molt necessari que els nivells d'aïllament estiguin prou estudiats, ja que és per on es produeixen les pèrdues més elevades.

Per a determinar la despesa per calefacció d'un pavelló esportiu, cal calcular la càrrega tèrmica, en la qual s'inclouen bàsicament:

- a-Les pèrdues tèrmiques per transmissió a través de les superfícies que formen el tancament.
- b-Les infiltracions paràsites d'aire exterior.
- c-Les renovacions d'aire per a mantenir les condicions higièniques de l'ambient interior.

A partir d'aquesta informació, es calcula el coeficient general de pèrdues de calor de l'edifici (UA) que és propi de cada construcció i independent del lloc on està ubicada, paràmetre amb el qual es pot calcular la despesa tèrmica per un període determinat de temps.

5.2.1.1. Càlcul de les pèrdues parcials

a. Pèrdues per transmissió

Les pèrdues de calor per transmissió a través de les superfícies del pavelló (murs, portes, finestres, el terra, l'estructura i la coberta) es poden calcular, per a cadascun dels elements i en condicions de règim permanent, mitjançant la relació:

$$q_i = K_i (T_a - T_e) / S_i$$

En què:

q_i : pèrdues a través de la superfície considerada (W).

K_i : coeficient global de transmissió tèrmica de l'esmentada superfície (W/m².°C).

S_i : àrea de la superfície en qüestió (m²).

T_a : temperatura interior (°C).

T_e : temperatura exterior (°C).

És necessari considerar, a més, un increment de les pèrdues originades en els

angles formats per dues o tres parets. S'ha d'afegir, per a cadascuna de les superfícies que formen l'angle, una àrea suplementària, la longitud de la qual és igual a la comuna amb l'altra paret i la seva amplada igual al gruix de les parets en qüestió.

A l'hora de calcular les pèrdues pel sostre, s'ha de tenir en compte que a la part alta de la sala es produeix una acumulació d'aire calent i, per tant, s'ha de considerar una temperatura superior ($2^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$).

Cal corregir la grandària de les superfícies de bescanvi en funció de l'orientació particular de cadascuna. Els percentatges d'augment de la Taula 5.3 preveuen diferents factors com la insolació; el grau d'humitat a cada paret; la direcció, la velocitat i la temperatura dels vents a la zona de situació; etc.

Per a calcular les pèrdues a través del terra vers algun soterrani, cal determinar la temperatura interior d'aquest local, que s'ha de prendre de 5°C , sempre i quan la temperatura exterior sigui de -5°C i la de l'ambient climatitzat de 20°C . En els casos en què això no es compleixi, l'expressió següent permet fer aquesta determinació:

$$T_{\text{sot}} = 5 + (T_a - 20) \cdot 0,4 + (T_e + 5) \cdot 0,6$$

En què:

T_{sot} : temperatura soterrani ($^{\circ}\text{C}$).

T_a : temperatura del local climatitzat ($^{\circ}\text{C}$).

T_e : temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$).

Orientació	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
Augment en %	-	2-5	5-10	10-15	15-20	15-20	10-15	5-10

Taula 5.3 Correccions de les superfícies de bescanvi en funció de l'orientació. Font: Acondicionamiento de aire y refrigeración; Carlo Pizzeti; Ed. Interciencia (1971).

b. Infiltracions d'aire

Les infiltracions d'aire exterior originen la sortida del mateix cabal d'aire ambient i, per tant, unes pèrdues de calor sensible (q_{sf}) que es determinen mitjançant l'expressió:

$$q_{\text{sf}} = c \cdot \rho \cdot Q_f \cdot (T_a - T_e)$$

En què:

q_{sf} : pèrdues per infiltracions d'aire (W).

Q_f : cabal d'aire d'infiltració (m^3/s).

T_a : temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$).

T_e : temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$).

c : calor específica de l'aire ($\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$).

ρ : densitat de l'aire (kg/m^3).

Les infiltracions es produeixen, sobretot, a través de les fissures que hi ha en portes i finestres que donen a l'exterior, i per l'obertura i el tancament constants, propis de la utilització d'aquests elements.

És difícil fer la determinació de Q_f d'una manera exacta, si bé hi ha diferents mètodes per portar-la a terme. En tots ells és necessari consultar les taules en què entren paràmetres tan diferents com superfícies d'obertures situades a les parts alta

i baixa de l'edificació, velocitat dels vents a la zona, qualitat dels marcs de les portes i finestres, grandària dels locals, orientació, etc. En aquest sentit, a l'Apartat 3.7.2.3. es mostra com es pot realitzar aquest càlcul, a partir del coneixement de les característiques dels tancaments o amb el mètode de les esclatxes.

c. Renovació d'aire

La renovació d'aire necessària per a mantenir les condicions ambientals higièniques origina una despesa energètica, ja que el volum introduït s'ha d'escalfar fins al nivell tèrmic interior.

El reglament d'instal·lacions tèrmiques als edificis (RITE) imposa uns valors de cabal d'aire de renovació que s'ha d'utilitzar en locals tancats. Aquesta reglamentació és obligatòria en edificis que incorporen sistemes de condicionament d'aire, i és recomanable per a pavellons esportius amb sistema de calefacció.

A la Taula 2.6 del Capítol 2 es mostren quins són aquests valors per als pavellons i sales poliesportives.

Així, les pèrdues per renovació de l'aire s'expressen per:

$$q_{re} = c \cdot \rho \cdot Q_r \cdot (T_a - T_e) = c \cdot \rho \cdot V \cdot n / 3600 \cdot (T_a - T_e)$$

En què:

q_{re} : pèrdues per renovació d'aire (W).

Q_r : cabal higiènic de renovació (m³/s).

V: volum higiènic (m³/persona).

n: ocupació horària del pavelló (persones/h).

T_a : temperatura interior (°C).

T_e : temperatura exterior (°C).

c: calor específica de l'aire (J/kg·°C).

ρ : densitat de l'aire (kg/m³).

Cal tenir present que el volum d'aire que s'introdueix ja té en compte el cabal d'infiltracions que s'ha restat prèviament.

5.2.1.2 Càlcul de les pèrdues totals

Considerant el conjunt dels aspectes definidors de la càrrega tèrmica, s'arriba a una expressió global única de les pèrdues de calor d'un pavelló esportiu, del tipus:

$$q_{ca} = \sum K_i \cdot S_i \cdot (T_a - T_e) + c \cdot \rho \cdot (V \cdot n / 3600 + Q_r) \cdot (T_a - T_e)$$

El primer sumand il·lustra la pèrdua de calor per transmissió a través dels elements definidors del tancament del pavelló. El segon representa les renovacions d'aire ambient i la fuga de calor deguda a les infiltracions paràsites d'aire exterior.

Es determina aleshores, el coeficient general de pèrdues de calor del pavelló (UA), que és propi de cada construcció i independent del lloc on aquesta està ubicada.

$$UA = \sum K_i \cdot S_i + c \cdot \rho \cdot (V \cdot n / 3600 + Q_r) = q_{ca} / T_a - T_e$$

En què:

UA: coeficient general de pèrdues de calor del pavelló (W/°C).

q_{ca} : pèrdues globals de calor del pavelló (W).

T_a : temperatura interior desitjada (°C).

T_e : temperatura exterior (°C).

Per a determinar quina ha de ser la quantitat d'energia (q_{ca}) que, durant un cert període de temps (mes, any, etc.), s'ha d'esmerçar per a compensar les pèrdues de calor del pavelló, es pot aplicar el mètode dels graus-dia, descrit en l'annex de climatologia.

Mètode dels graus-dia, mètode simplificat per a avaluar la despesa per calefacció.

$$q_{ca} = UA \cdot n \cdot h$$

En què:

UA: coeficient general de pèrdues de calor del pavelló (W/°C)

n: els graus-dia de calefacció per a un període determinat.

h: nombre d'hores diàries durant les quals es desitja mantenir una mateixa temperatura a l'interior del local.

Hi ha mètodes per a determinar la demanda energètica hora a hora durant un període determinat de temps (normalment un any). Aquests normalment són programes de simulació especialitzats, com Trnsys i Energy +.

5.2.1.3. Exemple

5.2.1.3.1 El cas del pavelló PAV-2 a Barcelona

En aquest exemple, s'avalua energèticament i econòmicament la millora de passar d'una renovació d'aire constant a una renovació d'aire modulant per a controlar la concentració de CO₂ a l'aire de la sala.

Aquesta avaluació es realitza sobre la demanda de calefacció d'un pavelló poliesportiu del tipus PAV-2 situat a la ciutat de Barcelona.

L'edifici de referència compleix els valors límit del coeficient global de transmissió dels tancaments marcats pel CTE-HE1 d'una manera simplificada i sense tenir en compte els espais complementaris.

Paràmetre	Valor
Temperatura desitjada a l'interior de la sala	15°C
Temperatura exterior	Graus-dia a 15°C de Barcelona

Taula 5.4 Condicions de temperatura interior i exterior

Paràmetre	Valor
Amplada (m)	23
Llargada (m)	44
Alçada (m)	8,5
Superfície espai esportiu (m²)	1.012
Superfície coberta (m²)	1.012

Taula 5.5 Dimensions d'una instal·lació PAV-2

Taula 5.6. Condicions d'utilització de la instal·lació.

Taula 5.7. Caracterització dels tancaments

Ocupació (persones/h)	Hores/dia	Ocupació diària (14h/dia)
120	4	480
60	3	180
30	7	210
0	10	0
		870

Material	Superfície sala (m²)	K (W/m² · °C)
Vidre	152	3,4
Coberta	1.012	0,41
Murs	987	0,73
Paviment	1.012	0,5

Tancaments

Per simplificar, no es considerarà un augment de les superfícies segons la seva orientació ni pels angles entre superfícies. Tampoc es tindrà en compte el bescanvi de calor entre la sala i els espais annexos.

Els coeficients globals de transmissió tèrmica (K) corresponen als valors límit (Ulim) del CTE-HE1 per a la zona climàtica de Barcelona ciutat (C2).

Com a superfície vidriada (amb doble vidre) es considerarà:

- 15 % de la superfície de l'espai esportiu com a envidrament lateral.

Altres

- Ocupació màxima instantània de 240 persones.
- Perímetre d'esclatxa de 300 m.

Preu de l'energia

En aquest exemple, es considera que la generació de calor es realitza mitjançant caldera de gas natural. A partir de les hipòtesis que es mostren a continuació, es troba que el preu del quilowatt útil de calor és de 0,062 €/kWh útil de calor.

- Preu del gas natural (sense IVA ni altres impostos o càrrecs): 0,05 €/kWh PCS .
- PCI/PCS = 0,902.
- Eficiència global del sistema de calefacció = 85%.

a. Caracterització dels tancaments

Seguidament, es mostren els valors de $K_i \cdot S_i$ de l'Equació 5.1, per als diferents tancaments:

- per als vidres $K_i \cdot S_i = 3,4 \cdot 152 = 516 \text{ W/}^\circ\text{C}$.
- per a la coberta $K_i \cdot S_i = 0,41 \cdot 1.012 = 415 \text{ W/}^\circ\text{C}$.
- per als murs $K_i \cdot S_i = 0,73 \cdot 987 = 721 \text{ W/}^\circ\text{C}$.
- per al paviment $K_i \cdot S_i = 0,5 \cdot 1.012 = 506 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

El total:

$$\Sigma K_i \cdot S_i = 2.158 \text{ W /}^\circ\text{C}$$

2 PCS: Poder Calorífic Superior. Els quilowatts que apareixen a la factura de gas natural són en PCS, mentre que per als càlculs energètics es necessita el Poder Calorífic Inferior (PCI).

b. Caracterització de les renovacions d'aire

La quantitat higiènica d'aire que cal introduir dins el local s'ha considerat de 8 l/s-persona per a la sala. Cal tenir en compte que en aquest cabal ja s'hi ha d'incloure les infiltracions. A la Taula 5.8 es mostren els valors de les renovacions en dues situacions:

- Renovació modulant.
- Renovació constant per a una ocupació màxima de 240 persones

Hores	Ocupació (ocupants/h)	Infiltracions (m³/h)	Renovació modulant (m³/h)	Renovació constant (m³/h)
4	120	1.118	3.456	6.912
3	60	1.118	1.728	6.912
7	30	1.118	864	6.912
10	0	1.118	0	0
Mitjana 14h	62	1.118	1.790	6.912

Taula 5.8 Càlcul de renovacions d'aire

La despesa energètica necessària per renovació es calcula mitjançant l'Equació 5.4. Amb: $c = 1.130 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$; $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$; $Q_f = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$, i els cabals mitjans de renovació (havent descomptat les infiltracions): Q_r (modulant) = $0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ i Q_r (constant) = $1,61 \text{ m}^3/\text{s}$, se'n deriva:

- Renovació modulant: $c \cdot \rho \cdot Q_r = 253 \text{ W/}^\circ\text{C}$
- Renovació constant: $c \cdot \rho \cdot Q_r = 2.182 \text{ W/}^\circ\text{C}$

c. Coeficient general de pèrdues de calor de l'edifici

El coeficient general de pèrdues de calor es troba segons l'Equació 5.6, obtenint els valors de la Taula 5.9. A continuació s'aplicarà el mètode dels graus-dia, Equació 5.7, per a conèixer la despesa tèrmica mensual en calefacció. A la Taula 5.10 hi ha el consum per a climatitzar la sala poliesportiva tant en el de renovació modulant com en el de renovació constant.

Material	Renovació modulant	Renovació constant
UA (W/°C)	2.832	4.761

Taula 5.9 Coeficients generals de pèrdues de calor

Mes	GD 15/15	Consum renovació modulant (kWh/mes)	Consum renovació constant (kWh/mes)
Gener	152	6.026	10.132
Febrer	114	4.520	7.599
Març	77	3.053	5.133
Abril	50	1.982	3.333
Maig	2	79	133
Juny	0	0	0
Juliol	0	0	0
Agost	0	0	0
Setembre	0	0	0
Octubre	5	198	333
Novembre	56	2.220	3.733
Desembre	117	4.639	7.799
Total anual	573	22.717 kWh/any	38.194 kWh/any

Taula 5.10 Consum per a climatitzar la sala poliesportiva

Amb modulació de la renovació s'obté un estalvi per aquest cas concret en relació amb la renovació constant de 15.478 kWh/any (41%), que es tradueix en 1.009 € anuals.

Tenint en compte que, per a la renovació modulant, es necessita una sonda de CO₂ (500 €) i una comporta per a regular la sortida d'aire (1.000 €), l'amortització és d'1,5 anys.

5.3.1.3.2. El cas de 3 tipus de pavellons a les 4 capitals de província de Catalunya

Aquest procediment s'ha replicat a pavellons del tipus 1, 2 i 3, a Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona.

Les hipòtesis realitzades per als diferents tipus de pavelló són les que s'indiquen a la Taula 5.11 i a la Taula 5.12.

Taula 5.11 Hipòtesis de càlcul per a les diferents tipologies de pavelló

Paràmetre	PAV - 1	PAV - 2	PAV - 3
Longitud d'escletxa (m)	200	300	400
Ocupació màxima horària	160	240	400

Taula 5.12 Caracterització dels tancaments per a les diferents ciutats segons U_{lim} del CTE-HE1.

K (W/m² · °C)	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Zona climàtica	C2	C2	D3	B3
Vidre	3,4	3,4	3	3,8
Coberta	0,41	0,41	0,38	0,45
Murs	0,73	0,73	0,66	0,82
Paviment	0,5	0,5	0,49	0,52

A les taules següents es mostren els resultats aplicats als diferents tipus de pavellons, a Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona. Es mostra el consum de calefacció per metre quadrat de la sala esportiva, amb renovació constant i modulant.

Taula 5.13 Resultats finals per a pavelló tipus PAV-1

Renovació per modulació	PAV -1			
	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Consum amb renovació constant (kWh/any · m²)	39	83	89	43
Consum amb renovació modulant (kWh/any · m²)	26	54	58	29
Estalvi (%)	34%	34%	35%	33%

Taula 5.14. Resultats finals per a pavelló tipus PAV-2

Renovació per modulació	PAV -2			
	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Consum amb renovació constant (kWh/any · m²)	38	80	86	42
Consum amb renovació modulant (kWh/any · m²)	22	48	50	26
Estalvi (%)	41%	41%	42%	39%

Renovació per modulació	PAV -3			
	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Consum amb renovació constant (kWh/any · m²)	45	96	104	49
Consum amb renovació modulant (kWh/any · m²)	21	44	46	24
Estalvi (%)	54%	54%	55%	52%

Taula 5 15. Resultats finals per a pavelló tipus PAV-3

5.3.2. Despesa en aigua calenta sanitària

Les necessitats d'aigua calenta sanitària en un pavelló poliesportiu, gairebé centrades exclusivament en les dutxes, representen entre el 20 i el 25 % del consum tèrmic per a una zona climàtica com la catalana.

L'energia invertida per a escalfar aquesta aigua es determina mitjançant l'expressió:

$$q_d = V_d \cdot \rho \cdot c / 3,6 \cdot (T_d - T_x)$$

En què:

q_d : potència necessària per a l'escalfament (W).

V_d : volum d'aigua que s'ha d'escalfar (m³/h).

ρ : densitat de l'aigua (kg/m³).

c : capacitat calorífica de l'aigua (kJ/kg·°C).

T_x : temperatura de l'aigua de la xarxa (°C).

T_d : temperatura a què s'ha d'escalfar l'aigua (°C).

En què:

$$V_d = n \cdot V$$

Essent:

V_d : volum d'aigua que s'ha d'escalfar (m³/h).

n : nombre d'ocupants per hora.

V : metres cúbics utilitzats per persona.

En cas de no disposar de dades reals sobre el consum d'aigua, es pot considerar un valor de V comprès entre 20 i 40 l per persona.

Per al rang de temperatures de treball de l'aigua calenta sanitària, la primera equació es pot reescriure com:

$$q_d = 1.162 \cdot n \cdot V \cdot (T_d - T_x)$$

A la xarxa interna de distribució d'aigua calenta sanitària, des del punt de producció o de l'acumulador fins als punts de consum, es produeixen unes pèrdues de calor que depenen de la distància recorreguda i del nivell d'aïllament de les canonades. Així mateix, en sistemes amb acumulació, hi ha pèrdues de calor a través de les parets del dipòsit.

Aquestes pèrdues de calor s'han de tenir en compte en el moment de realitzar el càlcul de la demanda energètica, incrementant Td.

5.3.2.1 Exemple

5.3.2.1.1 El cas del pavelló PAV-2 a Barcelona

En aquest exemple s'avalua l'estalvi energètic que l'energia solar tèrmica pot aportar a un pavelló.

Per al seu desenvolupament es parteix de l'aportació solar mínima per a ACS que exigeix el CTE-HE4, en edificis de nova construcció i rehabilitacions importants. Els resultats, però, serveixen també per a edificis ja construïts.

Aquesta avaluació es realitza sobre la tipologia d'un pavelló poliesportiu PAV-2 a Barcelona. Es realitzen les hipòtesis següents d'ús i ocupació de les instal·lacions:

- Es consideren 14 hores diàries de funcionament de les instal·lacions, així com 2 hores com a temps mitjà d'ús de l'equipament per cada usuari.
- Ocupació màxima de l'equipament esportiu de 75 usuaris per a PAV-2 segons les tipologies establertes pel Consell Català de l'Esport (CCE).

A continuació, i tenint en compte els 15 litres per servei a 60°C de demanda de referència que estableix el CTE per a vestuaris i dutxes col·lectives, es calcula que la necessitat d'ACS és de 7.875 litres/dia a 60°C.

Amb aquest valor de consum diari en litres i amb la zona climàtica corresponent a Barcelona, es busca al CTE la cobertura solar mínima de la demanda energètica per a ACS que exigeix (Taula 5.16).

Amb l'Equació 5.8 es calcula la demanda d'energia diària per a produir ACS. Per a Barcelona, la demanda d'energia diària necessària per a la producció d'ACS calculada es mostra a la Taula 5.17.

Els resultats finals per aquesta tipologia de pavelló (PAV-2) a Barcelona són els que es presenten a la Taula 5.18.

5.3.2.1.2 El cas de 3 tipus de pavellons a les 4 capitals de província de Catalunya

Aquest procediment s'ha replicat a pavellons del tipus 1, 2 i 3, a Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona, seguint el mateix procediment de càlcul.

A la Taula 5.19 es mostren els valors de demanda d'ACS als 3 tipus de pavelló, i la cobertura solar mínima exigida segons la zona climàtica en què es troben (Barcelona i Girona, zona II, Lleida i Tarragona, zona III).

Els resultats finals es presenten a la Taula 5.20, a la Taula 5.21 i a la Taula 5.22 per cada tipologia de pavelló.

Taula 5.16 Demanda ACS, zona climàtica i aportació solar mínima.

Tipologia PAV-2	Barcelona
Demanda total d'ACS de l'edifici (l/d)	7.875
Zona climàtica	II
Aportació solar mínima (CTE)	45%

Mes	T aigua de xarxa (°C)	Energia diària per a ACS (kWh/dia)	Energia mensual per a ACS (kWh/mes)
Gener	8	476,2	14.764
Febrer	9	467,1	13.079
Març	11	448,8	13.912
Abril	13	430,5	12.914
Maig	14	421,3	13.060
Juny	15	412,1	12.364
Juliol	16	403,0	12.492
Agost	15	412,1	12.776
Setembre	14	421,3	12.639
Octubre	13	430,5	13.344
Novembre	11	448,8	13.463
Desembre	8	476,2	14.764
Demanda energia per a ACS anual (kWh/any)			159.571
Demanda energia mitjana per a ACS diària (kWh/dia)			437,3

Taula 5.17. Demanda energètica per a ACS per a un PAV-2 a Barcelona.

Taula 5.18. Resultats finals per a pavelló tipus PAV-2 a Barcelona.

Taula 5.19. Demanda d'ACS, zona climàtica i aportació solar mínima.

Taula 5.20. Resultats finals per a pavelló tipus PAV-1.

Demanda de calor per a ACS	Per servei (kWh/servei)	Diari (kWh/dia)	Anual (kWh/any)
Demanda de calor total	0,83	437,3	159.571
Demanda coberta amb energia solar - segons CTE	0,37	196,8	71.807
Percentatge d'estalvi amb energia solar	45%		

	PAV-1		PAV-2		PAV-3	
Ocupació màxima equipament esportiu	30		75		105	
Demanda total d'ACS de l'edifici (l/d)	3.150		7.875		11.025	
Zona climàtica	II	III	II	III	II	III
Aportació solar mínima	30%	50%	45%	63%	65%	70%

Tipus	Demanda energètica per a ACS	PAV-1			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Servei	Demanda de calor total (kWh/servei)	0,83	0,87	0,89	0,87
Anual	Demanda de calor total (kWh/any)	63.828	66.503	67.840	66.503
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	19.148	19.951	33.920	33.251
Percentatge d'estalvi amb energia solar	30%	30%	50%	50%	1,4

Taula 5 21 Resultats finals per a pavelló tipus PAV-2.

Tipus	Demanda energètica per a ACS	PAV-2			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Servei	Demanda de calor total (kWh/servei)	0,83	0,87	0,89	0,87
Anual	Demanda de calor total (kWh/any)	159.571	166.257	169.599	166.257
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	71.807	74.815	106.848	104.742
Percentatge d'estalvi amb energia solar	30%	45%	45%	63%	63%

Taula 5 22. Resultats finals per a pavelló tipus PAV-3.

Tipus	Demanda energètica per a ACS	PAV-3			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Servei	Demanda de calor total (kWh/servei)	0,83	0,87	0,89	0,87
Anual	Demanda de calor total (kWh/any)	223.399	232.759	237.439	232.759
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	145.209	151.293	166.207	162.931
Percentatge d'estalvi amb energia solar	30%	65%	65%	70%	70%

5.3.3. Despesa en il·luminació

El consum en il·luminació depèn molt del disseny de l'edifici, en el sentit de si aprofita o no la il·luminació natural, del tipus d'utilització del centre (esbarjo, entrenament, competició normal o competició professional), del tipus de làmpades i de la reflexió de les parets, sostres i terres.

El càlcul del nombre i disposició de les fonts de llum es realitza generalment amb ajuda d'un ordinador. La rapidesa i precisió que proporciona el càlcul amb suport informàtic permet definir la il·luminació i el coeficient d'uniformitat per a les diferents zones de la pista.

A títol orientatiu i amb la finalitat d'obtenir una idea del nombre de punts de llum necessaris per assolir un determinat nivell d'il·luminació horitzontal (E) es pot utilitzar l'expressió:

$$N = \phi_{\text{total}} / \phi_{\text{il·luminària}} = E \cdot S / \eta / \phi_{\text{il·luminària}}$$

En què:

N: nombre de lluminàries.

ϕ total: flux lluminós total de la pista poliesportiva (lm).

ϕ lluminària: flux lluminós de la lluminària (lm).

E: nivell d'il·luminació horitzontal (lux).

S: superfície de la sala esportiva (m²).

η : factor d'utilització.

El factor d'utilització considera que no tot el flux lluminós de les làmpades contribueix al nivell d'il·luminació de la pista, ja que es produeixen pèrdues a les pantalles reflectores, així com pèrdues del flux lluminós per envelleiment de les làmpades i l'acumulació de pols a les làmpades i lluminàries. Es pot considerar un valor mitjà entre 0,25 i 0,35.

Dades inicials	
L·luminàries	70
Potència del tub fluorescent (W)	$2 \times 58 = 116$
Consum balast electromagnètic sobre consum total	23%
Consum balast electrònic sobre consum total	10%
Preu de l'electricitat (€/kWh)	0,13
Hores/dia de funcionament	14
Cost balast electrònic per a 2 làmpades de 58W (€)	25

Taula 5 23 Dades inicials.

Taula 5 24 Potència total consumida en funció del tipus de balast usat.

Taula 5 25 Resultat de la mesura per a una lluminària

Equip consumidor	Balast electromagnètic	Balast electrònic
Potència consumida –pels tubs fluorescents (W)	116	116
Potència consumida pel balast (W)	35	13
Potència consumida total	151	129
Consum energia (kWh/any·lluminària)	770	659
Cost (€/any·lluminària)	100	86

Balast electromagnètic	Consum energia (kWh/any·lluminària)	770
Balast electrònic	Consum energia (kWh/any·lluminària)	659
	Estalvi	14%
	PRI (anys)	1,7

Per tant, conegut el nombre de lluminàries i la potència elèctrica que absorbeix cada una (tant per les làmpades com pel transformador), es pot fer una valoració de la potència necessària en il·luminació en funció de les hores previstes de funcionament i de quin serà el consum energètic. Per això és necessari realitzar un projecte luminotècnic.

5.3.3.1 Exemple d'il·luminació 1: substitució de balasts

A continuació s'exemplifica, per a un pavelló o sala poliesportiva il·luminada amb tubs fluorescents integrats en lluminàries, la diferència de consum energètic que es produeix utilitzant reactàncies electròniques enlloc de reactàncies electromagnètiques estàndard.

A més a més del consum energètic, no s'ha d'oblidar que amb la utilització de les reactàncies electròniques s'augmenta el temps de vida útil i es disminueix la depreciació del flux lluminós dels tubs fluorescents minvant també els costos de manteniment.

La situació inicial és un recinte amb 70 lluminàries amb 2 fluorescents de 58W cadascuna amb balast electromagnètic. A la Taula 5.23, hi ha les dades inicials de l'exemple.

Aquest estudi es realitza inicialment sobre una sola lluminària composta per dos tubs fluorescents, i a continuació es fa extensible a la resta de la instal·lació. Com es pot observar a la Taula 5.24 i a la Taula 5.25, l'estalvi aconseguit en la substitució de balast és significatiu (14%), aconseguint un període de retorn de la inversió inferior als 2 anys.

5.3.3.2. Exemple d'il·luminació 2: substitució de làmpades

En aquest exemple es presenta una substitució de la il·luminació actual per una altra de més eficient, en aquest cas amb tecnologia LED.

La situació de partida és la següent:

- La substitució es realitza en diferents sales de l'edifici, on principalment predominen dos tipus de funcionament:
 - Zona 1: tot el dia (14 hores diàries).
 - Zona 2: el 75% del dia (10,5 hores diàries).
- Les tecnologies presents actualment són:
 - tubs fluorescents de 36W (120 cm, T8).
 - bombetes incandescent de 60W.
 - projectors halògens de 250 W.

Les característiques de la instal·lació d'il·luminació de les dues zones, així com la substitució proposada, es presenten a la Taula 5.26. En aquesta taula es mostren també les hipòtesis de vida útil de cada tecnologia de làmpada i el cost unitari.

Inicialment, es compara el balanç d'explotació de la il·luminació actual amb el de la il·luminació proposada. En aquest balanç, es té en compte el cost de l'energia consumida i el cost de les reposicions.

Considerant les dues zones esmentades i un preu de l'energia elèctrica de 0,13 €/kWh, s'obtenen els valors de la Taula 5.27 de consums i costos.

Les reposicions es calculen a partir de la vida útil de la làmpada i les hores de funcionament, trobant la mitjana de reposicions anuals necessàries. En el cas de la il·luminació proposada, es calcula, però no es té en compte en el balanç d'explotació, ja que la vida útil de les làmpades LED és molt superior al Període de Retorn de la Inversió (el qual es veu més endavant). Això fa que el cost de reposicions de la tecnologia LED tingui importància en el balanç d'explotació un cop és instal·lada, però, per a avaluar econòmicament la mesura i trobar el PRI, no és necessari.

Per al càlcul de consum d'energia, s'ha simplificat considerant que el consum prové solament de la làmpada (no es té en compte el consum per a l'equip auxiliar).

Taula 5.26 Característiques dels sistemes d'il·luminació actuals i proposats

		Il·luminació actual			Il·luminació proposada		
		1: Tub fluorescent 120cm T8	2: Bombeta incandescent 60W	3: Projector halogenur metàl·lic 250W	1: Tub LED T8 120cm	2: Bulb LED	3: Projector LED
Potència unitària	W	36	60	250	18	13	100
Vida útil	h	8.000	5.000	11.000	50.000	50.000	50.000
Cost unitari	€/ut.	6,5	1,5	75	50	45	340
Zona 1 (14 hores/dia)							
Nombre de làmpades	Uts	80	10	70	80	10	70
Potència total	kW	2,9	0,6	17,5	1,4	0,1	7
Zona 2 (10,5 hores/dia)							
Nombre de làmpades	Uts	35	4	30	35	4	30
Potència total	kW	1,26	0,24	7,5	0,63	0,052	3

		II-luminació actual			II-luminació proposada		
		1: Tub flu- orescent 120cm T8	2: Bombeta incan- descent 60W	3: Projector halogenur metàl·lic 250W	1: Tub LED T8 120cm	2: Bulb LED	3: Projector LED
Zona 1 (14 hores/dia)							
Consum energètic	kWh/any	14.717	3.066	89.425	7.358	664	35.770
Cost energia	€/any	1.913	399	11.625	957	86	4.650
Reposicions anuals	uts/any	51	10	33	8	1	7
Cost reposicions	€/any	332	15	2.439	409	46	2.432
Cost total	€/any	2.245	414	14.064	957	86	4.650
Zona 2 (10,5 hores/dia)							
Consum energètic	kWh/any	4.829	920	28.744	2.414	199	11.498
Cost energia	€/any	628	120	3.737	314	26	1.495
Reposicions anuals	uts/any	17	3	10	3	0	2
Cost reposicions	€/any	109	5	784	134	14	782
Cost total	€/any	737	124	4.521	314	26	1.495

Taula 5.27 Balanç d'explotació per a la Zona 1 i la Zona 2.

Taula 5.28 Estalvis i període de retorn de la inversió.

		Tub LED T8 120cm	Bulb LED	Projector LED
Zona 1				
Estalvi energia	kWh/any	7.358	2.402	53.655
Estalvi consum	€/any	957	312	6.975
Estalvi reposicions	€/any	332	15	2.439
Estalvi TOTAL	€/any	1.289	328	9.414
Cost implantació	€	4.000	450	23.800
PRI	anys	3,1	1,4	2,5
Zona 2				
Estalvi energia	kWh/any	2.414	721	17.246
Estalvi consum	€/any	314	94	2.242
Estalvi reposicions	€/any	109	5	784
Estalvi TOTAL	€/any	423	98	3.026
Cost implantació	€	1.750	180	10.200
PRI	anys	4,1	1,8	3,4
Estalvi energètic	%	50%	78%	60%
Estalvi econòmic	%	57%	79%	67%

Els estalvis energètics i econòmics aconseguits amb la substitució es detallen a la Taula 5.28. En aquesta taula també s'indica el cost d'implantació i l'amortització de la inversió, per a cadascun dels tipus de làmpades.

Es pot observar que l'estalvi energètic que es deriva de la substitució és molt important, essent superior al 50% en els tres tipus de làmpades.

A la Taula 5.29 es presenta un resum de la substitució a les 2 zones per separat i conjuntament.

Taula 5.29. Estalvis totals i període de retorn de la inversió per a les zones 1, 2 i ambdues alhora.

	Unitats	Zona 1	Zona 2	Zona 1 + Zona 2
Estalvi energia	kWh/any	63.415	20.381	83.796
Estalvi econòmic	€/any	11.030	3.547	14.577
Cost implantació	€	28.250	12.130	40.380
PRI	anys	2,6	3,4	2,8

Es pot apreciar com, en funció de les hores d'ús, la inversió té un retorn més ràpid o més lent, ja que les reposicions són més freqüents i el consum energètic és més elevat.

A la pràctica, també seria necessari saber quantes làmpades hi ha per lluminària, ja que el cost d'instal·lació pot variar significativament.

5.4. Instal·lacions

Es comenten a continuació les instal·lacions de ventilació, de calefacció, d'ACS, i d'il·luminació que es recomanen per a pavellons i sales.

No es parla de la refrigeració ja que és una opció rarament implantada en pavellons i que, generalment, consisteix a aprofitar les brises fresques de l'estiu per afavorir la refrigeració natural de l'edifici; tot i així, de ser necessària, són vàlids els comentaris del Capítol 4.

5.4.1. Ventilació

La ventilació forçada (mitjançant ventiladors) només s'ha d'utilitzar quan la renovació d'aire per ventilació natural és insuficient, i cal complementar-la.

Com ja s'ha remarcat, és imprescindible suprimir la ventilació en els períodes de no ocupació i modular automàticament la renovació, en els casos en què es disposi d'ocupacions i contaminacions molt variables. En cas que això darrer no sigui possible, és útil definir intervals d'ocupació del pavelló en relació amb l'ocupació màxima instantània d'esportistes i públic prevista en el disseny. Aquests nivells d'ocupació són els següents:

- 0: ocupació mínima o nul·la. En aquest cas, la renovació d'aire s'aconsegueix per les infiltracions mateixes a través de portes i finestres.
- Una dècima part de l'ocupació màxima instantània, com a hipòtesi d'ocupació dèbil.
- Una quarta part de l'ocupació màxima instantània, com a hipòtesi d'ocupació mitjana.
- La meitat de l'ocupació màxima instantània, en cas d'ocupació forta.
- Ocupació màxima instantània, en el cas límit d'afluència d'espectadors i esportistes.

Per a cada interval hi haurà una renovació d'aire diferent. La instal·lació es dissenya per a una ocupació mitjana. En cas que l'ocupació de la sala sigui més gran, les necessitats d'aire suplementàries es poden obtenir per extracció forçada a la mateixa sala d'activitats o bé obrint portes i finestres.

A les sales d'esport de poca alçada i forta ocupació, es recomana una renovació de l'aire superior a la tradicional, i la ventilació s'hauria de perllongar més enllà de la fi de l'activitat durant un període temporitzat.

El mateix aire exterior pot servir per a ventilar successivament diversos locals. Així, l'aire de ventilació de l'espai es pot aprofitar seguidament per a ventilar els vestuaris i, finalment, les dutxes i lavabos on es disposa de l'extracció.

Una altra solució interessant és preveure un extractor de gran cabal en cas d'alta aflluència i d'un extractor petit en continu durant les hores d'utilització ordinària (Figura 5.4). L'extractor pot servir en les èpoques caloroses per a crear un ambient confortable en cas de no disposar de refrigeració.

Quan el cabal d'extracció sigui superior al 0,5 m³/s és obligatori recuperar l'energia amb una eficiència mínima que va del 40 al 75% en funció del cabal i les hores de funcionament (Apartat 4.6.3., Taula 4.16).

Alguns sistemes com els tubs radiants a gas o els aerotermos, aplicables a la calefacció de pavellons, precisen de cabals addicionals de renovació, ja que són sistemes que realitzen la combustió en el mateix espai esportiu.

5.4.2. Calefacció

S'ha de remarcar que, en molts casos, els espais esportius no es calefacten, sinó que només es ventilen, ateses les condicions temperades a l'hivern a bona part de la nostra geografia.

En el cas de calefactar, la calefacció té com a missió principal mantenir una temperatura relativament baixa (12 - 18°C) als espais esportius i una temperatura més elevada (20 - 22 °C) a la zona de vestuaris i dutxes. Les petites variacions de la temperatura dels locals a calefactar repercuteixen en gran mesura en el consum energètic. Com s'ha dit, la disminució d'1°C en la temperatura de l'aire d'un pavelló de 1.000 m³ permet un estalvi de l'ordre del 8% sobre el total d'energia per a calefacció. És necessari, per tant, un control acurat de les temperatures.

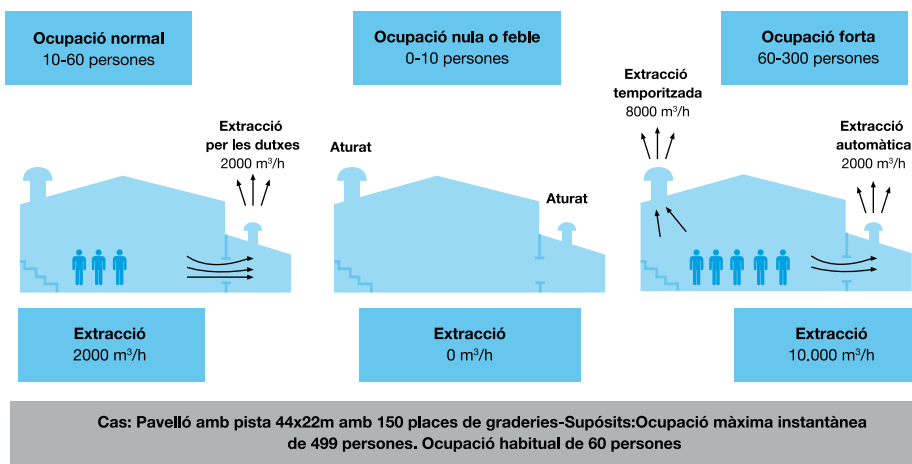


Figura 5.4. Exemple de renovació d'aire.

Com ja s'explica al Capítol 2, el RITE limita la temperatura en determinats edificis (administració, comercials, concurrència pública, espectacles públics, restauració, transport de persones), a un màxim de 21°C a l'hivern i un mínim de 26°C a l'estiu de recintes climatitzats amb energia convencional.

En el cas dels espais esportius, la concepció de la calefacció ha d'estar relacionada amb les característiques pròpies de les sales esportives: grans volums, temperatures de servei reduïdes i utilització intermitent. Atès que els volums a calefactar són importants i l'alçada dels pavellons és considerable, la distribució de la calefacció no es pot realitzar per convecció natural i s'ha de fer amb instal·lacions de convecció forçada o radiació. A causa de les necessitats intermitents de calefacció, la instal·lació haurà de ser fàcilment controlable i haurà de permetre arribar ràpidament a les condicions de confort.

En un pavelló sense piscina coberta, els generadors de calor recomanats des d'un punt de vista d'instal·lació centralitzada per donar cobertura a la calefacció, són les calderes i les bombes de calor.

La distribució de calor es pot fer per sistemes que impulsen aire calent, donant lloc a una convecció forçada o a sistemes radiants.

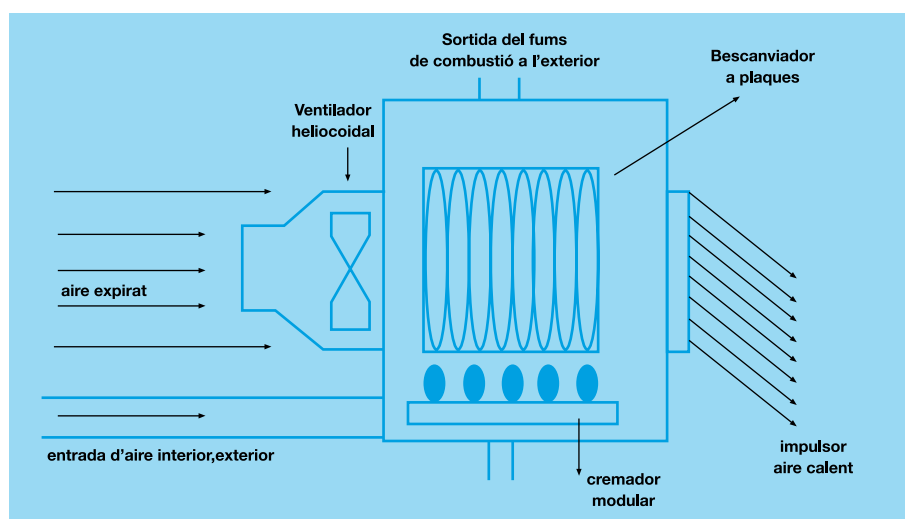
5.4.2.1. Calefacció per impulsió d'aire calent

A les instal·lacions centralitzades, el generador de calor escalfa l'aigua; aquesta aigua és vehiculada a les sales que s'han de calefactar i on cedeix la calor que porta mitjançant climatitzadors (Figura 4.34 del Capítol 4), fan-coils o radiadors als espais reduïts.

Els climatitzadors amb difusors rotacionals o toveres són una opció vàlida tant per a climatitzar una sala gran com per a vestuaris o sales de musculació. Els sistemes que usen fancoils i radiadors no són apropiats per a climatitzar sales grans, en canvi sí que ho són per a sales de dimensions menors o vestuaris ja que, en situar un aparell a cada sala, es poden condicionar independentment. Es tracta d'una distribució de calor individualitzada.

Per a pavellons, també hi ha solucions descentralitzades com els aerotermos (Figura 5.5); en aquest cas l'aire s'escalfa directament a l'aerotermos, que està alimentat amb gas o energia elèctrica.

Figura 5.5 Aerotermos a gas.



L'aire que s'ha d'escalfar, pot provenir de la recirculació de l'aire interior o bé tractar-se d'aire extern. L'aparell produeix la calor en el mateix lloc d'utilització, eliminant així les pèrdues de distribució i equilibrament. L'aire s'escalfa en un bescanviador a través dels fums de combustió, donant una resposta ràpida a la calefacció del pavelló en el cas d'un correcte dimensionament.

L'aeroterms es compon d'un cremador atmosfèric, un bescanviador d'acer inoxidable, d'un ventilador helicoïdal i disposa d'unes lames per a dirigir la impulsió de l'aire. La regulació és tot o res, i es pot regular a partir d'un termòstat propi de la seva zona. Els models d'aeroterms alimentats amb gas, preferibles als elèctrics per qüestions econòmiques i d'eficiència energètica, oscil·len des d'una potència de 20 kW fins a 120 kW.

Amb els sistemes d'impulsió d'aire s'ha de controlar que les velocitats de l'aire a les zones d'activitat siguin inferiors a 0,2 m/s, i per al cas d'esports sensibles als corrents d'aire com el bàdminton o el tennis de taula, aquest valor no ha de sobrepassar els 0,1 m/s, tal com indica el RITE.

5.4.2.1.1. Control de l'estratificació de l'aire interior

La densitat de l'aire calent és inferior a la de l'aire fred i per això se situa a les capes altes. Pot haver-hi una diferència important de temperatura entre la part baixa i la part alta del pavelló (Figura 5.7). Per mantenir la part baixa a la temperatura de confort caldria una despesa suplementària d'energia important. D'altra banda, la massa d'aire en contacte amb l'estructura superior del pavelló propicia un increment de les pèrdues de calor a través del sostre que encara eleva més les necessitats de calefacció. Per evitar l'estratificació és necessari moure un volum d'aire de tres o quatre vegades per hora, sense necessitat d'introduir aire exterior.

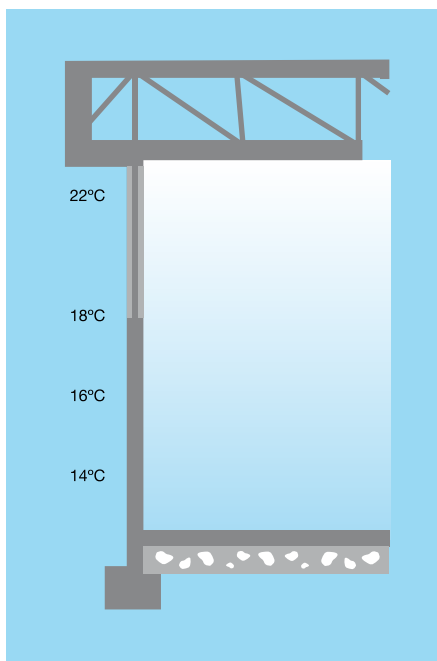
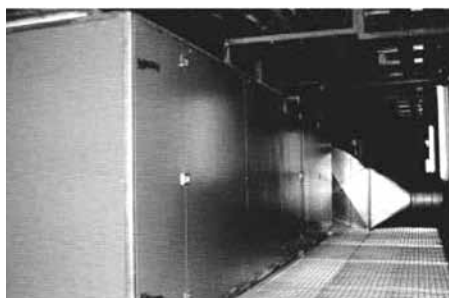


Figura 5.6 Calefacció i ventilació amb un climatitzador.

Figura 5.7 Estratificació de l'aire calent en un pavelló esportiu.

A l'estiu, aquesta estratificació no és perjudicial i es pot aprofitar per a fer disminuir els problemes de sobreescalfament de l'edifici; així, propiciant la presència d'una bossa d'aire calent a la zona superior del pavelló, es reduirà l'entrada de calor per conducció a través del sostre de l'edifici. En temporada de calefacció, el control de l'estratificació de l'aire es pot fer creant un moviment descendent de l'aire contrari al moviment natural que tendeix a l'estratificació. En aquest sentit, es recomana:

- Efectuar la impulsio de l'aire per la part baixa de l'edifici.
- Dirigir la impulsio d'aire cap al terra mitjançant làmines mòbils.
- Disminuir la temperatura d'impulsió.
- Extreure l'aire del pavelló també per la zona baixa, ja que és on l'aire té una temperatura inferior.
- Forçar, si és necessari, el moviment d'aire dins la sala d'activitats mitjançant ventiladors per aconseguir una millor homogeneïtzació de les temperatures.
- Realitzar una taxa de tres o quatre renovacions per hora.

L'extracció d'aire pels annexos també pot ser un mètode eficaç per a disminuir l'estratificació, sempre que la transferència d'aire entre la sala d'activitats i els annexos s'efectuï per la zona inferior de l'espai.

L'estalvi d'energia que es pot aconseguir minimitzant l'estratificació de l'aire és variable en funció del grau que tinguï i de les pròpies característiques tipològiques del pavelló, però pot arribar al 20-30 % del consum total de calefacció.

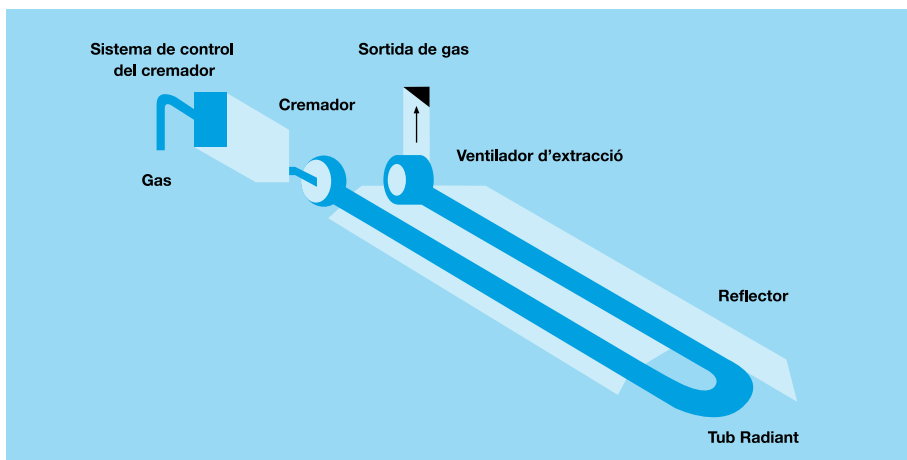
Remarcar l'existència de desestratificadors, que consisteixen en un ventilador especialment dissenyat que, col·locat a la part alta de la dependència, mescla capes d'aire situades a diferents alçades.

5.4.2.2. Calefacció per sistemes radiants

El principal avantatge d'aquest sistema és que el confort s'assoleix amb temperatures ambientals 2 o 3°C inferiors als valors usuals, a causa de la influència de la temperatura radiant, amb l'estalvi d'energia que això implica. A més, s'eviten problemes de molèsties causades per corrents d'aire i genera menys estratificació que els sistemes per convecció

Els tubs radiants a gas, Figura 5.8 permeten arribar a la temperatura de règim en pocs minuts (5-15). Són una solució ideal per a pavellons amb intermitències d'ocu-

Figura 5.8 Tubs radiants per a l'escalfament de pavellons.



pacions i on és necessari delimitar zones de l'espai esportiu. Amb aquesta tecnologia s'assoleixen estalvis energètics sobre el 30 % en relació amb els sistemes d'impulsió d'aire calent.

El tub d'acer és escalfat pels productes de combustió del cremador. La radiació produïda és dirigida cap a la zona a calefactar per un reflector d'alumini o acer inoxidable. Cada aparell està format d'un cremador, d'un tub radiant (en forma recta o de "U") i d'un ventilador d'extracció. La temperatura del tub radiant no sobrepassa els 300°C a l'entorn del cremador, mentre que els gasos són expulsats a una temperatura de 60 a 70°C. Els tubs es poden connectar en sèrie i, si es fa així, la sortida de fums es pot fer col·lectiva. Es tracta d'un sistema de regulació tot o res, propi de sales amb grans alçades com els pavellons. Per a altres espais, caldrà cercar un sistema alternatiu de calefacció.

Els panells radiants són aplicables també a poliesportius i ofereixen els mateixos avantatges que els tubs radiants a gas però a partir d'una instal·lació centralitzada d'aigua. Els panells estan formats per feixos de tubs de secció triangular o cilíndrica disposats als extrems dels col·lectors. La separació entre tubs és molt reduïda i el pont tèrmic entre els tubs i la planxa que els uneix permet assolir una temperatura superficial del panell radiant molt elevada i bastant pròxima a la del fluid calefactor (que pot variar entre els 40 i els 200 °C). Es recomana la utilització de reflectors, la part superior dels quals està aïllada amb llana de vidre; reflectors que, per la proximitat amb els tubs, esdevé també un element radiant. La regulació es pot fer a partir de la temperatura ambient zonal amb una vàlvula mescladora.

Amb el terra radiant, el terra del pavelló s'escalfa fins a una temperatura propera als 20°C i a la vegada s'escalfa l'ambient per radiació i convecció. La baixa temperatura requerida de l'aigua (35 a 45°C) permet la utilització de calderes d'alt rendiment, bomba de calor, energia solar, o la recuperació de calor dels condensadors. El principal inconvenient d'aquest sistema és la seva gran inèrcia que dificulta molt la possibilitat de calefacció intermitent (d'1 a 2 hores). És per això que s'usa en sales poliesportives de manera continua i en la calefacció dels vestidors; en aquest darrer cas ofereix, a més, els avantatges d'un contacte agradable en trepitjar les rajoles i que eixuga el terra i, per tant, millora les condicions higièniques.

El terra radiant és incompatible amb alguns tipus de paviments, com alguns parquets o els materials sintètics aïllants. En cas d'utilitzar algun d'aquest tipus de ma-



Figura 5.9 Calefacció amb panells radiants.

terials s'haurà de verificar la compatibilitat consultant-ho amb els subministradors.

En el cas concret d'un pavelló poliesportiu, situat a la zona pirinenca, amb una superfície de 1.038 m², quan es calefactava amb aerotermos, el consum de gasoil era de 31.000 litres³. En passar a terra radiant el consum va disminuir fins a 15.000 litres. Aquest cas exemplifica l'estalvi d'un sistema radiant envers d'un per convecció d'aire. Naturalment, les condicions climatològiques especialment rigoroses de la seva localització fan que l'estalvi sigui de la magnitud esmentada.

Els radiadors s'apliquen per a calefactar petits espais i permeten condicionar sales a diferents temperatures amb la utilització de vàlvules termostàtiques.

5.4.3. Aigua calenta sanitària

L'aigua calenta sanitària en pavellons poliesportius pot ser produïda mitjançant calderes, bombes de calor i captadors solars tèrmics.

Les instal·lacions disposaran de les característiques comentades al Capítol 4.

5.4.4. Il·luminació

Atesa la diversitat de dimensions, formes i utilitzacions es fa molt difícil donar unes pautes generals per al disseny luminotècnic d'un pavelló o sala poliesportiva.

Com ja s'ha vist, l'eficàcia de les làmpades es valora amb el paràmetre lúmens/Watt. En aquest sentit les millors làmpades que es poden utilitzar en pavellons i sales són:

- Els LED.
- Les làmpades d'halogenurs metàl·lics.

També són eficients les làmpades fluorescents i fluorescents compactes (CFL), així com les làmpades de vapor de sodi d'alta i baixa pressió.

Les làmpades tubulars fluorescents es consideren, en general, correctes per al disseny de l'enllumenat en locals amb una alçada inferior als 7 m.

Les làmpades d'halogenurs metàl·lics i el vapor de sodi d'alta pressió s'aconsellen per a alçades superiors. A més del fet que la seva eficiència energètica és lleugerament millor i la potència superior a la dels fluorescents, permeten disposar de menys punts de llum.

La tecnologia LED permet il·luminar tot tipus d'espais interiors, amb diferents tipus de lluminàries adaptables a les formes constructives de les ja existents (fluorescents, halògenes, vapor de sodi, incandescents, etc.). Això fa que siguin una opció molt recomanable per a il·luminació interior.

Es recomana fer servir reactàncies electròniques enlloc de les electromagnètiques. Aquesta mesura es prioritzarà en els punts de llum que estiguin més hores encesos i que disposin de més potència. Hi ha una normativa que exigeix paràmetres mínims d'eficiència als balasts i lluminàries, que es detalla a l'apartat d'il·luminació del Capítol 4, i que fa que els balasts de baixa eficiència no es puguin fabricar.

S'aconsella que les lluminàries tinguin un rendiment òptic elevat; tot i així, hi ha d'altres prioritats com l'estanquitat de la lluminària per a vestuaris o la robustesa perquè no les deteriorin les pilotes o altres objectes.

Per saber la disposició i nombre exacte de les lluminàries i la potència de les làmpades, és imprescindible realitzar un projecte luminotècnic que garanteixi les corresponents característiques del confort visual, per a cada subespai esportiu en què es pugui definir (Figura 5.11).

A la Figura 5.12 es poden veure les corbes de distribució lumínica (corbes Isolux) per a una solució d'il·luminació de 59 projectors simètrics, cadascun amb una làmpada d'halogenurs metàl·lics de 400 W. Cada A indica una lluminària, pel que es tenen 31

3 CSTB (Centre Científic i Tècnic de l'Edifici) de França. Estudi del gimnàs de Grosbliedestroff. Cortesia de Multibeton®.

punts amb una lluminària, i 14 punts amb dues lluminàries.

5.5. Avaluació de mesures

A continuació es donen ordres de magnitud de consums i estalvis energètics assolibles de mesures d'ús racional de l'energia en la calefacció de l'espai esportiu, l'aportació d'energia solar tèrmica en la producció d'ACS i enllumenat.



Figura 5.10 Construcció d'un terra radiant

Figura 5.13 Captadors solars i lames de protecció solar al Poli-esportiu del Guinardó.

Figura 5.11. Importància de la zonificació i doble encesa pels diferents subespais esportius del pavelló triple esportiu Font: Fitxa tècnica d'equipament esportiu PAV-3 del Consell Català de l'Esport. Versió Febrer 2010.

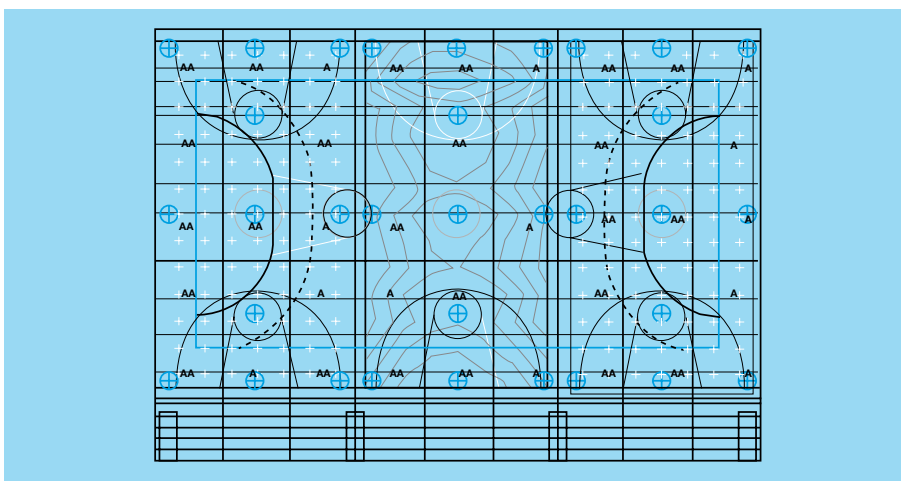
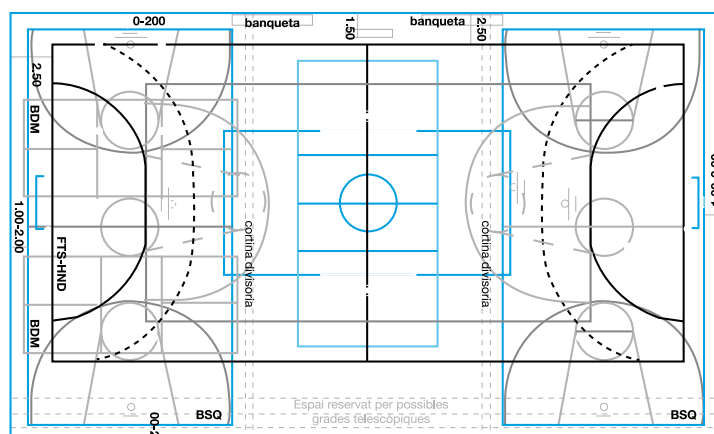


Figura 5.12. Exemple de la distribució de la il·luminació horitzontal en pavelló cobert. Font: Guia de l'eficiència energètica en instal·lacions esportives. Fenercom 2008.



5.5.1. Calefacció de l'espai esportiu

Per a una situació de referència d'aïllament tèrmic, s'han avaluat diferents mesures amb les dades i metodologia de l'exemple de calefacció inclòs en aquest capítol.

Considerant que moltes instal·lacions esportives actuals han estat construïdes abans de l'aplicació del nou CTE, es considera que la situació de referència és la que correspon a un edifici construït abans de l'entrada en vigor de l'actual reglament d'edificació (CTE), l'aïllament tèrmic del qual correspon al compliment de la normativa anterior (NRE-AT-87). La renovació d'aire d'aquest edifici de referència és amb modulació constant.

Una primera mesura avalua una millora de l'aïllament tèrmic tal que aconsegueixi complir el CTE-HE1. La segona mesura avalua la renovació de l'aire per modulació segons ocupació.

A la Taula 5.30 es mostren les conductivitats tèrmiques que s'han utilitzat per als tancaments. La millora d'aïllament aconsegueix que l'edifici assoleixi les conductivitats marcades en aquesta taula com a CTE.

Les hipòtesis per a l'avaluació econòmica de les mesures són les següents:

- Preu energia (calor útil): 0,065 €/kWh.
- Cost per a la renovació modulant: 1.500 €.
- Cost per a la millora de l'aïllament, per unitat de resistència tèrmica ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) de l'aïllant:

- Coberta: 2,5 €/m²

Taula 5.30. Caracterització dels tancaments per a les diferents ciutats segons Ulim del CTE-HE1.

Tipus tancament	Edifici referència	CTE - K ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)			
		PAV-2			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
		C2	C2	D3	B3
Coberta	1,75	0,41	0,41	0,38	0,45
Murs	1,5	0,73	0,73	0,66	0,82
Paviment	2	0,5	0,5	0,49	0,52

Taula 5.31 Resultats finals per a pavelló tipus PAV-1

		PAV -1			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Edifici referència (NRE-AT-87)	Despesa calefacció ($\text{kWh any}/\text{m}^2$)	68	144	160	72
1. Millora aïllaments opacs	Despesa calefacció ($\text{kWh any}/\text{m}^2$)	39	83	89	43
	Estalvi (%)	43%	43%	44%	41%
	PRI (anys)	8,9	4,2	3,9	8,0
2. Renovació de l'aire per modulació segons ocupació	Despesa calefacció ($\text{kWh any}/\text{m}^2$)	55	116	128	58
	Estalvi (%)	20%	20%	20%	19%
	PRI (anys)	2,7	1,3	1,1	2,9
Mesures 1 + 2	Despesa calefacció ($\text{kWh any}/\text{m}^2$)	26	54	58	29
	Estalvi (%)	62%	62%	64%	60%
	PRI (anys)	7,0	3,3	3,1	6,2

- Mur: 3,5 €/m²
- Paviment: 6,5 €/m²

Les mesures d'eficiència energètica interactuen entre elles i això fa que aquestes dues mesures s'avaluïn individualment, i conjuntament.

A les taules següents es mostren els resultats aplicats als diferents tipus de pavellons, a Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona. Es mostra el consum de calefacció per metre quadrat de la sala poliesportiva, l'estalvi que s'aconsegueix, i el període de retorn de la inversió (PRI).

5.5.2. Energia solar tèrmica en la producció d'aigua calenta sanitària

Amb relació a l'aigua calenta sanitària, per al consum de 15 litres a 60°C per servei, s'ha vist quin és l'estalvi energètic que l'energia solar tèrmica pot aportar a un pavelló, basant-se en l'aportació solar mínima que exigiria el CTE-HE4.

A la Taula 5.19 es mostren els valors de demanda d'ACS als 3 tipus de pavelló, i la cobertura solar mínima exigida segons la zona climàtica en què es troben (Barcelona i Girona zona II, Lleida i Tarragona zona III).

		PAV -2			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Edifici referència (NRE-AT-87)	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	67	141	157	71
1. Millora aïllaments opacs	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	38	80	86	42
	Estalvi (%)	43%	43%	45%	41%
	PRI (anys)	9,0	4,2	3,9	8,0
2. Renovació de l'aire per modulació segons ocupació	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	51	109	120	55
	Estalvi (%)	23%	23%	23%	23%
	PRI (anys)	1,5	0,7	0,6	1,4
Mesures 1 + 2	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	22	48	50	26
	Estalvi (%)	66%	66%	68%	64%
	PRI (anys)	6,4	3,0	2,8	5,7

Taula 5.32 Resultats finals per a pavelló tipus PAV-2

Taula 5.33 Resultats finals per a pavelló tipus PAV-3

		PAV -3			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Edifici referència (NRE-AT-87)	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	73	155	172	78
1. Millora aïllaments opacs	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	45	896	104	49
	Estalvi (%)	38%	38%	40%	37%
	PRI (anys)	9,0	4,3	4,0	8,1
2. Renovació de l'aire per modulació segons ocupació	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	49	104	115	52
	Estalvi (%)	33%	33%	33%	33%
	PRI (anys)	0,8	0,4	0,3	0,7
Mesures 1 + 2	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	21	44	46	224
	Estalvi (%)	71%	71%	73%	70%
	PRI (anys)	5,2	2,5	2,3	4,6

Taula 5.34 Demanda d'ACS, zona climàtica i aportació solar mínima.

	PAV-1		PAV-2		PAV-3	
Ocupació màxima equipament esportiu	30		75		105	
Demanda total d'ACS de l'edifici a 60°C (l/d)	3.150		7.875		11.025	
Zona climàtica	II	III	II	III	II	III
Aportació solar mínima	30%	50%	45%	63%	65%	70%

Taula 5.35 Resultats finals per a pavelló tipus PAV-1.

Taula 5.36 Resultats finals per a pavelló tipus PAV-2.

Taula 5.37 Resultats finals per a pavelló tipus PAV-3.

Tipus	Demanda energètica per a ACS	PAV-1			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Servei	Demanda de calor total (kWh/servei)	0,83	0,87	0,89	0,87

Anual	Demanda de calor total (kWh/any)	63.828	66.503	67.840	66.503
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	19.148	19.951	33.920	33.251
Percentatge d'estalvi amb energia solar		30%	30%	50%	50%

Tipus	Demanda energètica per a ACS	PAV-2			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Servei	Demanda de calor total (kWh/servei)	0,83	0,87	0,89	0,87

Anual	Demanda de calor total (kWh/any)	159.571	166.257	169.599	166.257
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	71.807	74.815	106.848	104.742
Percentatge d'estalvi amb energia solar		45%	45%	63%	63%

Tipus	Demanda energètica per a ACS	PAV-3			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Servei	Demanda de calor total (kWh/servei)	0,83	0,87	0,89	0,87

Anual	Demanda de calor total (kWh/any)	223.399	232.759	237.439	232.759
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	145.209	151.293	166.207	162.931
Percentatge d'estalvi amb energia solar		65%	65%	70%	70%

Els resultats finals es presenten a la Taula 5.20, a la Taula 5.21 i a la Taula 5.22 per cada tipologia de pavelló.

5.5.3. Enllumenat

A la Taula 5.25, s'ha estimat l'estalvi en un punt de llum compost per dos tubs fluorescents de 58 W funcionant 14 hores diàries amb balast electrònic.

Aplicant aquests resultats a una instal·lació composta per 70 lluminàries s'obté que, amb una inversió de 1.750€ en balasts electrònics, es poden aconseguir uns estalvis anuals de 1.012 €, i el PRI es manté.

Finalment, a la Taula 5.39 s'estima l'estalvi d'una substitució d'il·luminació per tecnologia LED. Les làmpades actuals són de fluorescents de 36W, bombetes incandescent de 60W i projectors halògens de 250W.

Aquestes es divideixen en dos grups, un en què treballen durant 14 hores diàries i l'altre en què treballen durant 10,5 hores diàries.

Balast electromagnètic	Consum energia (kWh/any-lluminària)	770
Balast electrònic	Consum energia (kWh/any-lluminària)	659
	Estalvi	14%
	PRI (anys)	1,7

Taula 5.38 Avaluació de mesures en enllumenat: balast electrònic

Taula 5.39 Avaluació de mesures en enllumenat: làmpades de tecnologia LED

Estalvi energètic	59%
Estalvi econòmic	66%
PRI (anys)	2,8



6. Piscines cobertes

Les piscines cobertes són estanys artificials dins d'espais tancats on es practiquen diversos esports aquàtics (natació, waterpolo, etc.). La tipologia que tenen ve condicionada per les dimensions dels vasos. El vas constitueix l'espai esportiu característic d'aquestes instal·lacions.

6.1 Criteris de confort

El confort a les piscines cobertes, per la sensibilitat dels paràmetres que hi intervenen, és un cas absolutament diferent del dels pavellons esportius o dels vestidors d'instal·lacions a l'aire lliure.

6.1.1 Confort tèrmic

El confort tèrmic, en una piscina coberta, s'assoleix quan s'iguali la producció de calor de l'individu amb la seva dissipació de calor per evaporació, radiació, convecció i evaporació, sense arribar als mecanismes fisiològics de temperament.

Com ja s'ha esmentat al Capítol 2, les condicions ambientals en piscines cobertes climatitzades a Catalunya estan regulades pel Reglament sanitari de piscines d'ús públic¹, així com pel RITE, amb els valors que es mostren a la Taula 6.1.

Figura 6.1 Piscina Municipal de Granollers.

Taula 6.1 Condicions tèrmiques per a piscines cobertes.



Temperatura de l'aigua	Entre 24 i 30°C
Temperatura de l'aire	1 a 2°C > a la de l'aigua
Volum d'aire	8 m³/m² làmina d'aigua
Humitat relativa	<65%

¹ Decret 95/2000 pel qual s'estableixen les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic.

El RITE estableix que la temperatura a l'interior del recinte de la piscina sempre ha de ser 1 o 2°C per sobre de la temperatura del vas i, com a molt de 30°C. La humitat relativa s'haurà de mantenir per sota del 65 %. El reglament esmentat també estableix que la temperatura del vas de la piscina ha d'estar entre 24 i 30°C segons ús de la piscina (excloent piscines per a usos terapèutics).

Des del punt de vista de consum energètic els valors recomanats es mostren a la Taula 6.2, tot i així, com es desenvolupa als subapartats següents, hi ha altres condicionants que afecten els valors d'aquestes variables.

6.1.1.1 El confort tèrmic al vas de la piscina

A l'aigua, el bescanvi tèrmic amb el cos és molt més elevat que a l'exterior del vas. L'equilibri tèrmic, en el cas d'un banyista en repòs dins del vas de la piscina, se situa a una temperatura de l'aigua de 33°C. A mesura que incrementa el nivell d'activitat del banyista (la taxa metabòlica pot variar entre 175 i 280 W/m²), en funció de si són banyistes o nedadors entrenats², incrementa la producció de calor del seu metabolisme essent necessàries temperatures de l'aigua inferiors.

A més de l'activitat, la temperatura de confort depèn d'altres factors com l'edat i l'estat físic, tal com es mostra a la Taula 6.3.

6.1.1.2 El confort tèrmic al recinte dels vasos de la piscina

Aconseguir les condicions de confort tèrmic al recinte d'una piscina coberta depèn dels paràmetres següents:

- Temperatura mitjana radiant dels tancaments.
- Temperatura seca de l'aire ambient.
- Humitat relativa.
- Velocitat de l'aire.
- Activitat del banyista.
- Vestit de l'ocupant.

Temperatura de l'aigua	Entre 25 i 26°C
Temperatura de l'aire	Entre 26 i 28°C
Temperatura vestidors	23°C
Humitat relativa	<65%

Taula 6.2 Valors recomanats de les condicions tèrmiques.

Competició	24 a 26°C
Entrenament	26 a 28°C
Aprenentatge	29°C
Disminuïts físics	29°C
Piscina infantil	30°C
Nens de 3 a 6 anys i tercera edat	32°C (1)
Dones embarassades	30 a 32°C (1)

Taula 6.3 Temperatures recomanades de l'aigua segons l'activitat i els usuaris. Font: Bâtiments à hautes performances énergétiques: Sports (1995). nes cobertes. (1) Segons el RITE, la temperatura no pot excedir els 30°C, excloent piscines per a usos terapèutics.

² Thermal Environment for Indoor Swimming pools; N.S. Billington (1972)

Totes aquestes variables s'han de controlar per oferir unes condicions de confort satisfactòries quan el banyista, mullat i després d'haver realitzat un esforç, surt de l'aigua del vas. En sortir de l'aigua, el banyista pot tenir sensació de fred, conseqüència de la ràpida evaporació de l'aigua sobre la pell que absorbeix una quantitat de calor del cos de l'individu (2,16 kJ per gram d'aigua). La sensació de fred pot ser compensada per la temperatura de l'aire, l'energia radiant (solar o dels tancaments).

Per controlar l'evaporació i la pèrdua de calor de l'individu, s'ha de mantenir un cert nivell d'humitat; la pèrdua de calor serà més important com més sec estigui l'ambient. Tot i així, un grau higromètric massa alt ($> 80\%$) facilita les condensacions sobre les parets fredes i produeix una sensació d'opressió en els banyistes. Pel contrari, un grau higromètric massa baix ($< 40\%$) produeix, com s'ha comentat, sensació de fred, malgrat que la temperatura ambient sigui adient, a causa de l'evaporació ràpida de l'aigua sobre la pell.

La temperatura mitjana superficial d'un banyista dins l'aigua és igual a la temperatura de l'aigua, és a dir, entre 25 i 27°C. A la sortida de l'aigua, les condicions ambientals hauran de ser tals que, la temperatura superficial del banyista es mantingui constant: el banyista no tindrà la impressió de tenir ni més calor, ni més fred que quan estava nedant. Això es produirà si la temperatura humida de l'aire és igual a 25 o 27°C amb absència de radiació i amb unes condicions de 29°C de temperatura de l'aire i una humitat relativa del 70 %.

Amb un diagrama psicromètric s'observa que, per a una temperatura de l'aire de 27,5°C i una humitat relativa del 70 %, la temperatura humida és igual a 23,2°C: mentre que per a la mateixa temperatura de l'aire i a una humitat relativa del 40 %, la temperatura humida és tan sols de 18,2 °C. Queda clar, doncs, que la pèrdua de calor serà, per tant, més important com més sec sigui l'aire.

Es pot aconseguir el mateix grau de confort a temperatures altes i humitats relatives baixes que a temperatures baixes i humitats relatives altes, tal com es mostra a la Figura 6.2. Els arguments que decideixen les condicions òptimes són el consum d'energia (que evoluciona tal com s'indica a la Figura 6.2) i la possible aparició de condensacions que depèn del grau d'aïllament dels tancaments.

A l'hivern, s'aconsella reduir sensiblement la humitat i augmentar la temperatura de l'aire per contrarestar la baixa temperatura dels paraments i l'aparició de condensacions.

A la Figura 6.3 es mostren les zones de confort, amb una humitat del 65 % i una velocitat de l'aire de 0,1 m/s diferenciant-se per tres categories d'usuaris; els banyistes molls, els banyistes eixuts i les persones vestides.

6.1.2 Qualitat de l'aire

Les principals fonts de contaminació de l'aire a les piscines cobertes són conseqüència de:

- La respiració i transpiració humanes que provoquen l'aparició de CO, CO₂, H₂O i bioefluents (olors).
- El vapor d'aigua després pel vas de la piscina que no constitueix una contaminació pròpiament dita, però que té efectes importants sobre la humitat relativa.
- Compostos organoclorats, resultat de la reacció química entre els productes de desinfecció de l'aigua (principalment el clor) i les matèries orgàniques introduïdes pels banyistes o directament provinents de l'aigua potable. Aquests organoclorats són volàtils i, sota l'acció d'agitació de l'aigua produïda pels banyistes, passen de la superfície del líquid a l'aire ambient.

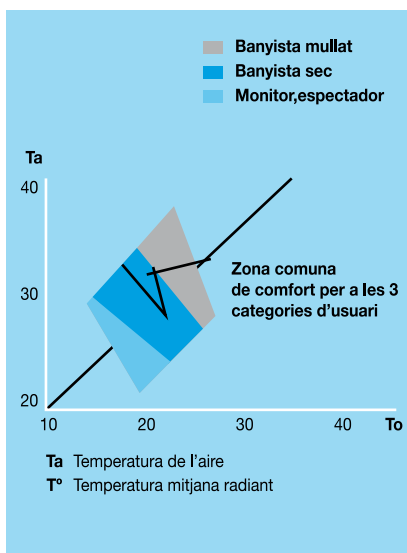
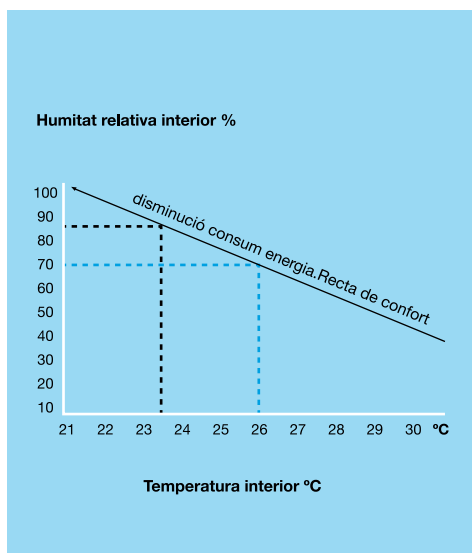


Figura 6.2 Recta de confort d'una piscina coberta en funció de la temperatura i la humitat relativa.

Figura 6.3 Zones de confort d'una piscina. Font: Simultaneous establishment of thermal comfort for different categories of men in a swimming pool; J.T.H. Lammers, P.J.J. Hoen; Danish Building Research Institute, First International Indoor Climate Symposium (1978)

- Productes de desinfecció àmpliament utilitzats per a netejar les platges.

Per al cas de la contaminació per bioefluents humans cal dir que es produeix una adaptació ràpida dels ocupants a aquesta olor (entorn d'1 a 3 min.). Quant als organocolors, no solament no hi ha adaptació sinó que accentuen la irritació i el desconfort amb el temps d'exposició.

Pel que fa a la ventilació, el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques als Edificis, tal com es pot veure al Capítol 2, fixa un valor específic per a les piscines de 2,5 l/s d'aire exterior per cada metre quadrat de làmina d'aigua i platja de la piscina, sempre que les condensacions no s'eliminin per introducció d'aire exterior, cas en el qual s'haurà d'augmentar considerablement el cabal d'aire exterior.

6.1.3 Confort visual

Els valors d'il·luminació horitzontal recomanats en piscines es mostren a la Taula 6.4. Els valors de la taula s'han d'acomplir sobre el vas de la piscina i a les proximitats. A mesura que ens allunyem d'aquest nivell pot disminuir progressivament fins als 100 lux.

Cal també destacar que, una il·luminació sota l'aigua és molt útil per a millorar la visibilitat, fer les piscines més segures per als nedadors i reduir els enlluernaments per reflexos sobre l'aigua. A més, per a piscines on es practiqui natació sincronitzada, la il·luminació interior és imprescindible. Per a aquest tipus d'aplicació es recomanen uns 750 lux³.

Activitat	Il·luminació horitzontal (lux)		Uniformitat ($E_{min}/E_{mitjana}$)	
	Entrenament	Competició	Entrenament	Competició
Natació	500	750(1)	0,7	0,7
Salts	500	750	0,7	0,7
Waterpolo	500	750(1)	0,7	0,7

Taula 6.4 Valors d'il·luminació horitzontal. Font: Norma UNE-EN 12193:2009.

(1) No es pot usar il·luminació subaquàtica.

Figura 6.4 Il·luminació natural a la Piscina Municipal de Castellar del Vallès.

Taula 6.5 Condicions a partir de les quals es presenta condensació.



Temperatura exterior	0°C	-5°C	-10°C
K (W/m²·°C)	2,2	1,8	1,5
Temperatura vestidors	23°C		
Humitat relativa	<65%		

6.2 Disseny arquitectònic

En edificis de nova construcció o ampliacions de més de 1.000 m² que renovin més del 25% dels tancaments, serà obligatori complir la normativa establerta pel Codi Tècnic de l'Edificació (CTE H1) "CTE H1: Limitació de la demanda energètica" pel que fa a l'envolupant de l'edifici. Al Capítol 3 es fa una explicació amb més detall d'aquesta normativa, i d'altres que cal tenir en compte.

La forma i orientació idònies són que la piscina disposi de l'eix principal situat en la direcció d'est a oest, perquè exposa la cara sud vidrada, on s'ubica la sala del vas, a la màxima radiació solar a l'hivern. Aquesta vidriera és recomanable que arribi fins al terra per aconseguir una atmosfera més agradable a l'interior, tot permetent la continuïtat visual amb l'exterior. Els espais annexos poden situar-se al costat nord fent d'espais tampons. Naturalment, a l'estiu caldran elements de protecció de la radiació solar, com ara voladissos, brisoleis o persianes automatitzades.

El factor de forma, quocient entre la superfície dels tancaments exteriors i el volum embolcallat, es recomana, des del punt de vista energètic, que no sobrepassi el valor màxim de 0,3 m⁻¹.

Les piscines cobertes estan caracteritzades per una gran demanda energètica i una quantitat de vapor d'aigua important a l'ambient que fa que es produeixin condensacions. Per a disminuir les pèrdues calorífiques i sobretot les condensacions, cal que disposin d'un bon aïllament i que els vidres siguin dobles amb cambra.

A la Taula 6.5 es mostra a partir de quines temperatures exteriors i coeficients de transmissió de calor es donen condensacions en els tancaments per a unes condicions internes de 28°C i 65 % d'humitat relativa.

Pel que fa, però, a un menor consum d'energia, el Codi Tècnic de l'Edificació estableix, al document bàsic HE1, els valors límit admissibles dels coeficients de transmissió tèrmica, de factor solar, etc.

Els valors de transmissió de calor han de ser aplicats a tots els punts dels tancaments, especialment als ponts tèrmics i als tancaments transparents. Per al primer cas, és imprescindible que l'aïllament estigui disposat a l'exterior del tancament mentre que, per als vidres es necessitaran elements addicionals.

S'ha de tenir en compte que els valors de transmissió de calor augmenten considerablement si hi ha condensacions intersticials; així, els coeficients K d'una cobertura (la part més conflictiva) poden passar de $0,5 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ a $2 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ en vuit anys a més de la degradació que pot comportar el material. És per això que les barreres de vapor (Taula 3-7 del Capítol 3) són imprescindibles i han de situar-se sense discontinuïtat a la part interior del tancament posant especial atenció a les juntes i singularitats dels tancaments.

La protecció contra les condensacions intersticials és un punt de consideració vital ja que, en més d'un país europeu, i també a Catalunya, es troben exemples d'enfonsament de la coberta pel seu deteriorament estructural a partir de les condensacions.

Tot i disposar de vidre amb cambra (K entorn de 3), i com s'observa a la Taula 6.5, no sempre es podrà evitar la condensació. La utilització d'un vidre amb cambra de baixa emissivitat (amb una major K, vegeu la Taula 3.4 del Capítol 3) redueix les pèrdues calorífiques. A més, produeix a la vegada, un augment de la temperatura de la cara interior del vidre, amb la qual cosa es redueixen encara més les possibles condensacions i fa més confortable la zona pròxima a la finestra. La solució correntment aplicada, per raons econòmiques, és la impulsó vertical d'aire calent des de la part baixa del tancament vidrat.

Cal que la piscina coberta tingui una inèrcia tèrmica elevada per tal que, davant de variacions climàtiques externes, no variïn massa les condicions internes i es minimitzin les infiltracions per a evitar desconfortants corrents d'aire fred i limitar les pèrdues.

Es recomana també que l'edifici disposi de dos ambients: d'una zona humida (piscina, dutxes) i d'una zona seca. Així, es disposa d'independència per a ventilar i calefactar la zona seca en relació amb la zona humida, a la vegada que fa d'espai tampó entre les condicions de la piscina i les externes. Aquesta diferenciació es pot assolir fent treballar la zona seca a lleugera sobrepressió sobre la humida.

Els revestiments interiors dels tancaments han de poder resistir l'atmosfera humida i corrosiva. El guix està completament desaconsellat; la fusta, mentre no sigui aglomerada i estigui tota en la mateixa atmosfera, és una possible solució. L'enrajolat, sempre que estigui ben col·locat, és una de les millors solucions.

La gran superfície envitrallada ofereix una bona aportació de llum natural. Tot i així, en èpoques caloroses, pot comportar un sobreescalfament de l'ambient. Així, per exemple, 300 m de superfície envidriada transmeten 600 W/m^2 i representen 108 kW que es reparteixen de la manera següent:

- 30 % escalfament del vas.
- 10% absorbit pels tancaments.
- 60 % restant, 108 kW, en el recinte de la piscina.

Aquest exemple⁴ mostra la importància dels elements de protecció solar i de disposar d'obertures o extractors que puguin permetre, a l'estiu i temporalment, l'evacuació de la humitat.

Aquesta darrera mesura es pot afavorir amb la introducció, per la part baixa del recinte de la piscina, d'aire nou en llocs on no pugui molestar els banyistes ni que

4 Bâtiments à hautes performances énergétiques: Sports (1995)

Figura 6.5 Brisolei a la
Piscina Municipal de
Palafrugell.

Figura 6.6 Condensaci-
ons en un vidre senzill.



afavoreixi l'evaporació de l'aigua, amb la qual cosa augmenta l'estratificació i l'evacuació d'aire calent.

Amb una sola superfície envidrada en el recinte de la piscina és difícil assegurar un correcte percentatge de FLD (Factor de Llum Diürna) en els punts més allunyats de l'entrada de llum. Per a evitar en les hores diürnes la utilització de llum artificial es fa necessari la utilització de lluernes i enllumenat natural bilateral. Per a minimitzar els problemes d'enlluernament es poden utilitzar elements de protecció solar o materials translúcids.

El correcte aïllament tèrmic en els vestidors també és molt important per les relativament elevades temperatures d'ús i evitar el desconfort d'estar al costat d'un tancament fred.

Serà necessari també, tal com indica el RITE, protegir la làmina d'aigua de les piscines climatitzades mitjançant una barrera tèrmica per a evitar les pèrdues de calor degudes a l'evaporació d'aigua.

6.2.1. Tipologies de cobertors mòbils

L'elecció del tipus de cobriment de piscines entre les diferents opcions tècniques en el mercat també té una lectura específica des del punt de vista energètic i, per tant, hauran de complir els requisits exigits per la normativa vigent quant a limitació de la demanda energètica.

Actualment, la més comú és la coberta de policarbonat, que consisteix en una coberta rígida mòbil que es caracteritza per un conjunt de mòduls de suport, disposats en forma telescòpica, sobre els quals s'ancora la coberta i on el mecanisme d'obertura i tancament es realitza de manera automatitzada. El material de la coberta pot ser policarbonat cel·lular o compacte; en general, s'utilitza el cel·lular pel seu pes inferior i un millor coeficient d'aïllament.

Quan la coberta té una llum màxima de 20 metres, es pot dissenyar l'estructura de suport amb perfils d'alumini. Els tractaments per a protegir les estructures són el lacat o anoditzat superficial. Per a llums superiors als 20 m els perfils han de ser d'acer galvanitzat o pintat amb pintures anticorrosives.

Hi ha altres tipologies de cobriment dissenyats a mida en edificis amb una arquitectura particular.

També, en els darrers anys, s'han utilitzat altres tipus de cobertures mòbils, les quals, ara difícilment complirien els requisits de limitació de la demanda energètica, però s'ha considerat convenient parlar-ne perquè n'hi ha d'instal·lades: les cobertes

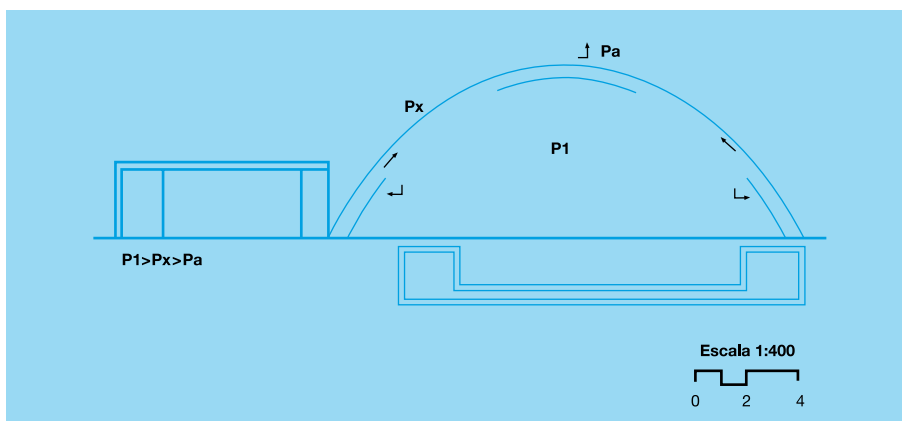


Figura 6.8 Esquema de piscina coberta tèxtil inflable de membrana doble.

pressoestàtiques i les tensoestàtiques.

La coberta pressoestàtica, d'arquitectura tèxtil, està formada per una lona amb absència d'elements estructurals de suport, de fàcil muntatge i desmuntatge i de reduït cost d'implantació: aquesta coberta pot ser de membrana simple o doble.

L'estabilitat de les cobertes pressoestàtiques de membrana simple es basa en la diferència de pressions que hi ha a l'interior i a l'exterior. Per aconseguir-ho, es crea una sobrepressió interior amb una aportació de 3 a 5 renovacions d'aire per hora i pressió que oscil·la entre els 15 i 25 mm de columna d'aigua com a màxim. Aquest tipus de cobertura, des del punt de vista energètic (amb una $K_m = 5,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$), és totalment desaconsellable per les elevades pèrdues tèrmiques que es deriven a través de l'embolcall i, a la vegada, comporten un consum continuat d'aire exterior calent.

La coberta de membrana doble consisteix en una doble capa, on cadascuna se suporta mitjançant una pressió interior superior a la de l'exterior, tal com es mostra a la Figura 6.8. La coberta de membrana doble, en disposar d'una cambra d'aire entre les dues membranes, augmenta l'aïllament tèrmic ($K_m = 2,6 \text{ W/m}^2\text{°C}$); per contra, hi ha una sensible pèrdua de poder de captació d'energia solar per transmissió, ja que si el coeficient de transmissió d'una lona simple és del 70 %, es redueix al 49 % en el cas de doble lona. Tot i així, són cobertes energèticament molt més recomanables que les de membrana simple, a banda que s'eviten les condensacions interiors quan les temperatures exteriors són molt baixes. Les cobertes de membrana doble s'optimitzen quan incorporen recuperadors de calor aprofitant l'aire que s'extreu. En aquesta ocasió, no per la part zenital de la coberta sinó per un lateral tot preescalfant l'aire d'entrada.

El material que compon bàsicament les cobertes pressoestàtiques és teixit de polièster d'alta resistència recobert per ambdues cares amb PVC, per a resistir llargues exposicions a la intempèrie i per a suportar els raigs ultraviolats; és antiestàtic, lacat i autoextingible.

Les cobertes tensoestàtiques es caracteritzen, a grans trets, per una estructura porticada d'alumini que utilitza lona com a tancament. Per raons d'aprofitar al màxim l'energia, a vegades s'instal·la una doble coberta de sostre amb cambra d'aire, així com doble tancament en una de les façanes frontals i laterals, fent que sempre coincideixi la instal·lació amb la façana nord. Això permet aïllar la façana nord i aprofitar la radiació solar per a la façana sud.

L'estructura acostuma a ser d'alumini anoditzat, mentre que el compost tèxtil d'alta tenacitat emprat per a cobrir el sostre i els tancaments laterals és polièster amb PVC.

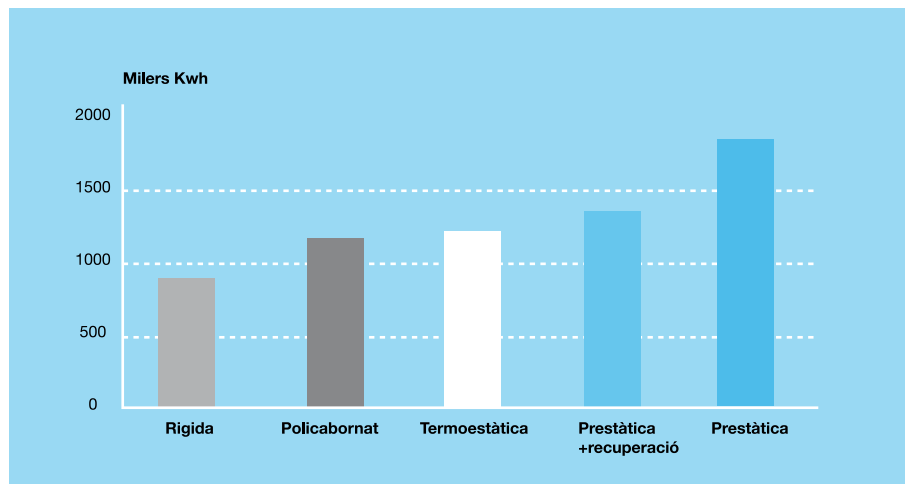
El compost està sotmès a tractaments contra el florit i els raigs ultraviolats.

Un avantatge funcional evident, apart de l'energètic, que té la coberta mòbil de policarbonat davant de les tèxtils és que, en dies de pluja o mal temps, es poden realitzar les activitats previstes tancant l'estructura.

A la Figura 6.9 es visualitza el consum energètic anual per a una determinada tipologia de piscina, segons el tipus de coberta.

Figura 6.9 Comparativa del consum entre els diferents mesos d'octubre i maig per a la climatització del recinte d'una piscina segons diferents tipus de coberta.

S'ha considerat una piscina amb un fons de 50 a 25 m amb unes condicions climàtiques lligades per la normativa. 15 hores de funcionament diari, una ocupació de 38 persones hora, i la reducció nocturna de la temperatura a uns 20°C per la utilització. Convé remarcar que l'elecció del tipus de cobriment no només depèn del consum energètic sino també del cost econòmic, la necessitat de disposar de piscina coberta a l'estiu la provisionalitat de l'instal·lació etc.



6.3. Càlcul de la despesa energètica

En aquest apartat s'avaluarà la despesa energètica que comporta la calefacció del vas de la piscina i la climatització de l'ambient on es troba ubicada.

La metodologia per a calcular la despesa energètica d'altres dependències de la piscina, de l'enllumenat en general o de l'aigua calenta sanitària, ja ha estat tractada en el capítol dedicat a pavellons i sales poliesportives (Capítol 5).

6.3.1. Despesa en la calefacció del vas de la piscina

Les variables que condicionen les pèrdues de calor de l'aigua del vas d'una piscina coberta són quatre:

- Temperatura de l'aigua.
- Temperatura de l'aire ambient.
- Humitat relativa de l'aire ambient.
- Nivell d'ocupació de la piscina.

El balanç energètic de l'aigua continguda en una piscina es pot escriure de manera general com:

$$q_t = q_e + q_r - q_c + q_{re} + q_k \quad (W / m^2) \quad \text{Equació 6.1}$$

En què:

q_t = pèrdues totals del vas.

q_e = pèrdues de calor per evaporació.

q_r = pèrdues o guanys de calor per radiació.

q_c = guanys de calor per convecció.

q_{re} = pèrdues de calor per renovació de l'aigua del vas.

q_k = pèrdues de calor per conducció a través dels murs i solera del vas.

Pèrdues de calor per evaporació

El bescanvi tèrmic per evaporació entre l'aigua de la piscina i l'aire ambient és conseqüència d'un bescanvi de masses. Hi ha una difusió de vapor d'aigua des de la superfície de la piscina cap a l'aire ambient. L'aigua que es vaporitza pren l'energia necessària per fer-ho de l'aigua que resta a la piscina, de manera que aquesta es refreda.

La pèrdua de calor per evaporació depèn de:

- Contingut d'humitat de l'aire ambient.
- Pressió de vapor de l'aigua.
- Grau d'agitació de la superfície de la piscina, és a dir, del nombre d'ocupants que hi ha a cada moment.
- Velocitat de l'aire.

El cabal màssic horari evaporat es determina mitjançant l'expressió :

$$M_e = 9 \cdot (X_s - X_a) \cdot (1 + V/1,2) \cdot S + 0,42 \cdot N + 0,08 \cdot n \quad \text{Equació 6.2}$$

En què:

M_e = cabal d'aigua evaporat per hora (kg/h).

X_s = humitat absoluta en saturació a la temperatura de l'aigua de la piscina (kg vapor/kg aire sec).

X_a = humitat absoluta a la temperatura de l'aire ambient (kg vapor/kg aire sec).

V = velocitat de l'aire a la superfície del vas (m/s).

S = superfície d'aigua (m²).

N = nombre de banyistes considerats per hora.

n = nombre d'espectadors.

Es pot considerar una ocupació màxima de 6 m² per banyista. Per a vasos d'aprenentatge, la densitat d'ocupació augmenta.

Com s'observa a l'Equació 6.2, per tal de minimitzar l'evaporació de l'aigua, és important que la velocitat de l'aire sigui nul·la o quasi nul·la, amb la qual cosa es recomana que la impulsió d'aire calent per a climatitzar la sala es realitzi de baix a dalt i el retorn es realitzi també per baix, però de manera que no afecti els vasos de la piscina.

Tal com s'ha dit, quan l'aigua s'evapora absorbeix l'energia necessària per fer-ho del líquid que queda a la piscina. Aquesta calor absorbida es denomina calor latent de vaporització i, en el cas de l'aigua, val 680 Wh/kg.

La pèrdua de calor deguda a l'evaporació de l'aigua respon aleshores a:

$$q_e = 680 \cdot M_e / S \quad (W / m^2) \quad \text{Equació 6.3}$$

El càlcul del consum energètic associat a aquestes pèrdues es realitzarà tenint en compte les diferents ocupacions al llarg d'un dia o període i les diferents condicions de l'aire ambient (dia i nit).

Aquestes pèrdues per evaporació es poden reduir instal·lant una manta tèrmica sobre la làmina d'aigua de la piscina climatitzada, tal com indica el RITE. L'estalvi de l'evaporació està entorn del 90%, ja que no és un sistema que cobreixi hermèticament

l'aigua. A l'apartat "6.4.1.2. Manta tèrmica" se'n parla amb més detall.

Pèrdues o guanys de calor per radiació

L'aigua de la piscina experimenta un bescanvi de calor en forma d'energia radiant amb les superfícies que l'envolten. Quan la temperatura d'aquestes superfícies és menor que la de l'aigua, aquest bescanvi implica una pèrdua de calor del líquid del vas.

La pèrdua per radiació es produeix sobretot durant la nit. En el període diürn, a causa de la presència del sol, pràcticament no apareix aquest tipus de bescanvi. En cas contrari, l'aigua del vas de la piscina s'escalfa per la calor radiada.

La fórmula general que il·lustra el flux radiant és:

$$q_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{ag}^4 - T_s^4) \quad \text{Equació 6.4}$$

En què:

σ = constant de Stefan-Boltzman; $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

ε = emissivitat de l'aigua; 0,95.

T_{ag} = temperatura de l'aigua (K).

T_s = temperatura de la superfície que forma el tancament (K)

i:

$$T_s = T_a - K/h \cdot (T_a - T_e) \quad \text{Equació 6.5}$$

En què:

T_a = temperatura de l'ambient interior ($^{\circ}\text{C}$).

T_e = temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$).

K = coeficient de transmissió de calor del tancament ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$).

h = coeficient superficial de transmissió de calor ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

Els valors de U es poden obtenir a partir de les dimensions i materials de construcció dels tancaments. Pel que fa referència als valors del coeficient superficial de transmissió de calor, es poden tenir en compte els valors següents:

- Vidre $1/h = 0,112 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$.
- Coberta $1/h = 0,090 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$.
- Murs $1/h = 0,095 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$.
- Estructura $1/h = 0,095 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$.

Aquest balanç s'ha de realitzar per totes les superfícies que bescanvien calor amb l'aigua de la piscina, sumant els resultats afectats pel signe corresponent (pèrdua o guany de calor).

Guanys de calor per convecció

El bescanvi de calor per convecció es produeix quan la temperatura ambient és diferent de la temperatura de l'aigua de la piscina. Si és superior com és el cas de les piscines cobertes, l'aigua guanya calor a un ritme que depèn de la diferència entre les dues temperatures, i del coeficient superficial de transmissió de calor h entre la làmina d'aigua i l'aire.

L'expressió que permet determinar el flux de calor és:

$$q_c = h \cdot (T_{ag} - T_{ag}) \quad \text{Equació 6.6}$$

En què:

h = coeficient superficial de transmissió de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

T_{ag} = temperatura de l'aigua ($^\circ\text{C}$).

T^a = temperatura de l'aire ($^\circ\text{C}$).

En piscines cobertes on l'aire està en condicions de poc moviment, es pot considerar l'expressió:

$$h = 0,6246 - (T_{\text{ag}} - T_{\text{ag}})^{1/3} \quad (\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad \text{Equació 6.7}$$

Pèrdues de calor per renovació de l'aigua del vas

Les condicions higièniques de l'aigua s'asseguren fent-la circular pels filtres i afegint-hi substàncies desinfectants, però també cal fer-ne una renovació periòdica. Això comporta que l'aigua que s'introdueix s'ha d'escalfar des de la temperatura de servei a la xarxa d'abastament fins a la temperatura d'utilització.

La normativa antiga (NRE-AT-87) estableix que la renovació d'aigua ha de ser, com a mínim, del 5%. L'actual normativa 6 no especifica cap valor en concret, sinó que estableix els valors límit de qualitat i concentracions a l'aigua i a l'ambient. Aquestes condicions es poden assolir mitjançant l'aportació d'aigua de xarxa o bé d'aigua depurada. Tanmateix el valor de renovació del 5% es pot emprar com a referència.

La despesa energètica requerida per a produir aquest escalfament val:

$$q_{\text{re}} = (Q_{\text{re}} \cdot \rho \cdot C_p / 3,6 \cdot S) \cdot (T_{\text{ag}} - T_{\text{ex}}) \quad (\text{W}/\text{m}^2) \quad \text{Equació 6.8}$$

En què:

Q_{re} = cabal horari d'aigua a escalfar (m^3/h).

ρ = densitat de l'aigua (kg/m^3).

C_p = calor específica de l'aigua ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$).

T_{ag} = temperatura de l'aigua del vas ($^\circ\text{C}$).

T_x = temperatura de xarxa de l'aigua ($^\circ\text{C}$).

S = superfície de la piscina (m^2).

La densitat i la calor específica de l'aigua varien lleugerament amb la temperatura. En el marge de temperatures de treball es poden prendre els valors:

- $C_p = 4,19 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$.

- $\rho = 999,2 \text{ kg}/\text{m}^3$.

De manera que l'expressió queda com:

$$q_{\text{re}} = (Q_{\text{re}} \cdot 4.189 / 3,6 \cdot S) \cdot (T_{\text{ag}} - T_{\text{ex}}) \quad (\text{W}/\text{m}^2) \quad \text{Equació 6.9}$$

Pèrdues de calor per conducció a través dels murs i solera del vas

Atès que l'aigua de la piscina és a uns 25°C i la temperatura exterior del vas és inferior a aquest valor, hi ha un flux de calor per conducció des de l'aigua cap a fora, a través de les parets i solera.

El vas de la piscina pot tenir disposicions diferents:

- Totalment penjat: tant els murs com la solera estan en contacte amb l'aire de les galeries interiors.

- La solera recolzada directament a terra i els murs en contacte amb l'aire, amb registre de desguàs.

L'expressió que determina aquestes pèrdues de calor és:

$$Q_{re} = K \cdot S_{sp} \cdot (T_{ag} - T_{ex}) / S \quad (W/m^2) \quad \text{Equació 6.10}$$

En què:

K = coeficient de transmissió de calor dels murs i solera ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

S_{sp} = superfície de la solera i de les parets del vas.

T_{ag} = temperatura de l'aigua del vas ($^\circ C$).

T_{ex} = temperatura exterior a les superfícies que formen el vas ($^\circ C$).

S = superfície del vas de la piscina.

Si es tracta del terreny, la temperatura exterior pot oscil·lar de 8 a 6 $^\circ C$.

Quan el vas de la piscina no està amb contacte directament amb el terreny, sinó suspès i en contacte amb l'aire de les galenes, cal determinar-ne la temperatura ambient mitjançant:

$$T_{ex} = 0,4 \cdot T_a + 0,6 \cdot T_e \quad (^\circ C) \quad \text{Equació 6.11}$$

En què:

T_a = temperatura interior del local ($^\circ C$).

T_e = temperatura ambient a l'exterior ($^\circ C$).

En aquest mateix cas, per determinar les pèrdues per la solera es considera que la temperatura del terreny pren els valors següents:

- Novembre, desembre, gener i febrer 8 $^\circ C$.
- Març, abril, maig i octubre 11 $^\circ C$.
- Juny, juliol, agost i setembre 13 $^\circ C$.

Es considera també que a través de la solera hi ha un flux de calor constant al llarg de les 24 hores, mentre que a través de les parets, el flux de calor varia cada 12 hores en funció de la T_{ex} . Això dóna idea de la importància que la solera estigui ben aïllada.

6.3.1.1. Exemple de càlcul de despesa energètica del vas

6.3.1.1.1. Cas de piscina PCO-2 a Barcelona

En aquest exemple s'analitza la despesa energètica per a escalfar el vas d'una piscina PCO-2 situada a Barcelona.

L'edifici de referència compleix els valors límit del coeficient global de transmissió dels tancaments marcats pel CTE-HE1, d'una manera simplificada i sense tenir en compte els espais complementaris.

Dades del projecte

Paràmetre	Vas 1
Temperatura desitjada a l'interior del recinte de la piscina	29°C
Humitat relativa	65%
Temperatura de l'aigua	27°C
Temperatura exterior	• Graus-dia a 29°C de la zona 1 (Barcelona) (vegeu l'annex) • Temperatures exteriors mitjanes, diürnes i nocturnes, per a cada mes, a partir dels Graus-dia: dia: de 8h a 20h; nit: de 20h a 8h.
Temperatura aigua de xarxa	Temperatura mitjana mensual de l'aigua de xarxa a Barcelona (vegeu l'annex).
Temperatura mitjana mensual del terra	• Novembre, desembre, gener i febrer: 8°C. • Març, abril, maig i octubre: 11°C. • Juny, juliol, agost i setembre: 13°C.

Taula 6.6 Temperatures i altres dades ambientals

Taula 6.7 Dimensions d'una piscina PCO-2

Taula 6.8 Freqüència d'utilització dels vasos.

Taula 6.9 Condicions d'utilització dels vasos

Paràmetre	Vas 1	Vas 2
Llargada (m)	25	12,5
Amplada (m)	12,5	6
Alçada (m)	2	0,9
Superfície (m²)	312,5	75
Volum (m³)	625	67,5

Hores/dia	Vas 1 (banyistes/m² làmina aigua)	Vas 2 (banyistes/m² làmina aigua)
4	0,15	0,2
5	0,1	0,15
6	0,05	0,1

A partir de la Taula 6.7 i la Taula 6.8 es mostren les condicions d'utilització dels vasos de la Taula 6.9.

Hores/dia	Vas 1		Vas 2	
	Ocupació (banyistes/h)	Ocupació diària (15h/dia)	Ocupació (banyistes/h)	Ocupació diària (15h/dia)
4	47	188	15	60
5	31	156	11	56
6	16	94	8	45
9	0	0	0	0
		438		161

Tancaments

Per simplificar, no es considerarà un augment de les superfícies segons la seva orientació ni pels angles entre superfícies. Tampoc es tindrà en compte el bescanvi de calor entre el recinte de la piscina i els espais annexos.

Els coeficients globals de transmissió tèrmica (K) corresponen als valors límit (U_{lim}) del CTE-HE1 per a la zona climàtica de Barcelona ciutat (C2). Les característiques dels tancaments es mostren a la Taula 6.10.

Taula 6.10 Caracterització dels tancaments

Material	K (W/m ² · °C)	1/h (m ² ·°C / W)
Vidre	3,4	0,112
Coberta	0,41	0,09
Murs	0,73	0,095

Altres

- No hi ha espectadors.
- Velocitat de l'aire a la làmina d'aigua: 0,1 m/s.
- Renovació diària d'aigua del vas: 5%.

a. Pèrdues de calor per evaporació

Aplicant l'Equació 6.2, s'obtenen els valors d'evaporació de l'aigua indicats a la Taula 6.11.

Finalment, amb l'Equació 6.3 s'obtenen les pèrdues de calor per evaporació indicades a la Taula 6.14 i a la Taula 6.15.

Taula 6.11 Dades d'evaporació d'aigua segons condicions d'utilització dels vasos

Hores/dia	Vas 1		Vas 2	
	M evap (kg/h)	Me (kg/dia)	Me (kg/h)	Me (kg/dia)
4	36	145	10	41
5	30	149	9	44
6	23	139	7	43
9	17	150	4	36
		584		164

b. Pèrdues de calor per radiació

Aplicant l'Equació 6.4 i l'Equació 6.5, amb $T_{ag} (K) = T_{ag} (°C) + 273 = 300 K$ ($T (K) = T (°C)$), per cada tipologia de tancament que radia als vasos, s'obtenen els valors de la Taula 6.12.

Taula 6.12 Pèrdues per radiació

		T exterior°C	Ts (vidre) °C	Ts(coberta)°C	Ts (mur)	grad vidre W/m²	grad cober. W/m²	grad mur W/m²	grad tot W/m²
Gen	Dia	11,3	22,2	28,3	27,8	27,0	-7,9	-4,5	14,6
	Nit	8,3	21,1	28,2	27,6	33,3	-7,2	-3,3	22,8
Feb	Dia	12,3	22,6	28,4	27,8	24,9	-8,1	-4,9	11,9
	Nit	8,6	21,2	28,2	27,6	32,5	-7,3	-3,4	21,8
Mar	Dia	14,0	23,3	28,4	28,0	21,2	-8,5	-5,6	7,1
	Nit	10,1	21,8	28,3	27,7	29,5	-7,6	-4,0	17,9
Abr	Dia	15,5	23,9	28,5	28,1	17,9	-8,8	-6,2	2,8
	Nit	11,7	22,4	28,4	27,8	26,2	-8,0	-4,7	13,5
Mai	Dia	19,2	25,3	28,6	28,3	10,1	-9,6	-7,7	-7,3
	Nit	15,4	23,8	28,5	28,1	18,2	-8,8	-6,2	3,3
Jun	Dia	22,6	26,6	28,8	28,6	2,5	-10,4	-9,1	-16,9
	Nit	18,9	25,2	28,6	28,3	10,6	-9,5	-7,6	-6,5
Jul	Dia	25,8	27,8	28,9	28,8	-4,5	-11,0	-10,4	-26,0
	Nit	21,8	26,3	28,7	28,5	4,2	-10,2	-8,8	-14,7
Ago	Dia	26,5	28,1	28,9	28,8	-6,1	-11,2	-10,7	-28,1
	Nit	22,7	26,6	28,8	28,6	2,4	-10,4	-9,2	-17,2
Set	Dia	22,5	26,5	28,8	28,5	2,7	-10,3	-9,1	-16,7
	Nit	18,9	25,1	28,6	28,3	10,7	-9,5	-7,6	-6,4
Oct	Dia	19,0	25,2	28,6	28,3	10,4	-9,6	-7,7	-6,9
	Nit	15,6	23,9	28,5	28,1	17,8	-8,8	-6,3	2,7
Nov	Dia	15,1	23,7	28,5	28,0	18,9	-8,7	-6,1	4,1
	Nit	11,9	22,5	28,4	27,8	25,7	-8,0	-4,8	12,9
Des	Dia	12,0	22,5	28,4	27,8	25,4	-8,0	-4,8	12,6
	Nit	9,3	21,5	28,3	27,6	31,2	-7,4	-3,7	20,1

Finalment, multiplicant pel nombre d'hores diürnes i nocturnes (12 hores en ambdós casos) i els dies d'un mes, s'arriba als valors de pèrdues de calor per radiació indicats a la Taula 6.14 i a la Taula 6.15.

c. Pèrdues de calor per convecció

En aquest cas, l'Equació 6.6 es transforma en:

$$q_c = h \cdot (T - Tag) = 0,6246 \cdot (Ta - Tag)^{4/3} = 0,6246 \cdot 2^{4/3} = 1,57 \text{ W/m}^2$$

Multiplicant aleshores per les 24 hores d'un dia i pels dies d'un mes s'obté l'energia absorbida de l'aire per l'aigua en Wh per metre quadrat de làmina d'aigua. Els valors de pèrdues de calor per convecció s'indiquen a la Taula 6.14 i a la Taula 6.15.

d. Pèrdues de calor per renovació de l'aigua

El 5% diari de renovació del volum de cada vas, repercutit per hora (d'un total de 24) és d'1,3 i de 0,14 m³/h per al vas 1 i per al vas 2 respectivament. Amb l'aplicació de l'Equació 6.9 i multiplicant per les hores i els dies s'obtenen els valors de pèrdues de calor per renovació de l'aigua indicats a la Taula 6.14 i a la Taula 6.15.

e. Pèrdues de calor per conducció de les parets i solera del vas

Les parets se suposen envoltades per galeries i, per tant, s'aplicarà l'Equació 6.11 per a trobar la Tex. La temperatura exterior per la solera serà la temperatura mitjana mensual del terra definida a "dades de projecte".

Amb aquestes dades i aplicant l'Equació 6.10 s'obtenen els valors de les pèrdues de calor per conducció de les parets i solera del vas indicats a la Taula 6.13

Taula 6.13 Pèrdues per conducció.

		T exterior°C	Tex°C	VAS 1			VAS 2		
				Qk parets W	Qk sole- ra W	Qk tot Wh/ m ² -mes	Qk pa- rets W	Qk sole- ra W	Qk tot Wh/ m ² -mes
Gen	Dia	11,3	18,4	518	2.375	3.444	115	570	3.398
	Nit	8,3	16,6	626	2.375	3.573	139	570	3.517
Feb	Dia	12,3	19,0	483	2.375	3.073	107	570	3.034
	Nit	8,6	16,8	613	2.375	3.213	136	570	3.163
Mar	Dia	14,0	20,0	420	2.000	2.880	93	480	2.843
	Nit	10,1	17,7	561	2.000	3.049	125	480	2.999
Abr	Dia	15,5	20,9	365	2.000	2.724	81	480	2.692
	Nit	11,7	18,6	504	2.000	2.885	112	480	2.841
Mai	Dia	19,2	23,1	234	2.000	2.659	52	480	2.638
	Nit	15,4	20,8	370	2.000	2.821	82	480	2.788
Jun	Dia	22,6	25,2	110	1.750	2.143	25	420	2.134
	Nit	18,9	22,9	243	1.750	2.296	54	420	2.275
Jul	Dia	25,8	27,1	-4	1.750	2.079	-1	420	2.079
	Nit	21,8	24,7	138	1.750	2.248	31	420	2.235
Ago	Dia	26,5	27,5	-30	1.750	2.047	-7	420	2.050
	Nit	22,7	25,2	107	1.750	2.211	24	420	2.201
Set	Dia	22,5	25,1	114	1.750	2.147	25	420	2.137
	Nit	18,9	22,9	245	1.750	2.298	54	420	2.277
Oct	Dia	19,0	23,0	239	2.000	2.665	53	480	2.644
	Nit	15,6	21,0	362	2.000	2.812	80	480	2.780
Nov	Dia	15,1	20,7	381	2.375	3.175	85	570	3.142
	Nit	11,9	18,7	496	2.375	3.307	110	570	3.264
Des	Dia	12,0	18,8	492	2.375	3.413	109	570	3.369
	Nit	9,3	17,2	590	2.375	3.530	131	570	3.477
Anual (Wh/m ² -any)						66.693	65.979		65.979

Resum de totes les pèrdues

La despesa total de calor per als vasos de piscina és de 425.258 kWh/any. Considerant un preu de calor útil de 0,065 €/kWh, això resulta en un cost de 27.733 €/any.

Vas1	Dies	Qevap (Wh/m²·mes)	Qrad (Wh/m²·mes)	Qconv (Wh/m²·mes)	Qrenov (Wh/m²·mes)	Qkond (Wh/m²·mes)	Qtot (Wh/m²·mes)	Qtot (kWh/mes)
Gen	31	39.362	13.916	-1.171	68.537	7.017	127.661	39.894
Feb	28	35.553	11.330	-1.058	58.646	6.286	110.757	34.612
Mar	31	39.362	9.277	-1.171	57.715	5.929	111.112	34.723
Abr	30	38.092	5.902	-1.133	48.872	5.609	97.341	30.419
Mai	31	39.362	-1.487	-1.171	46.894	5.480	89.078	27.837
Jun	30	38.092	-8.451	-1.133	41.890	4.439	74.838	23.387
Jul	31	39.362	-15.141	-1.171	39.679	4.327	67.056	20.955
Ago	31	39.362	-16.835	-1.171	43.286	4.258	68.900	21.531
Set	30	38.092	-8.307	-1.133	45.381	4.445	78.478	24.524
Oct	31	39.362	-1.563	-1.171	50.501	5.477	92.606	28.939
Nov	30	38.092	6.121	-1.133	55.853	6.482	105.415	32.942
Des	31	39.362	12.151	-1.171	68.537	6.943	125.821	39.319
Anual	365	463.452	6.916	-13.787	625.790	66.693	1.149.063	359.082

Taula 6.14. Pèrdues mensuals del vas 1.

Taula 6.15. Pèrdues mensuals del vas 2.

Vas2	Dies	Qevap (Wh/m²·mes)	Qrad (Wh/m²·mes)	Qconv (Wh/m²·mes)	Qrenov (Wh/m²·mes)	Qkond (Wh/m²·mes)	Qtot (Wh/m²·mes)	Qtot (kWh/mes)
Gen	31	46.002	13.916	-1.171	30.842	6.915	96.504	7.238
Feb	28	41.550	11.330	-1.058	26.391	6.197	84.411	6.331
Mar	31	46.002	9.277	-1.171	25.972	5.841	85.922	6.444
Abr	30	44.518	5.902	-1.133	21.992	5.534	76.813	5.761
Mai	31	46.002	-1.487	-1.171	21.102	5.427	69.872	5.240
Jun	30	44.518	-8.451	-1.133	18.851	4.409	58.193	4.365
Jul	31	46.002	-15.141	-1.171	17.856	4.315	51.861	3.890
Ago	31	46.002	-16.835	-1.171	19.479	4.251	51.726	3.879
Set	30	44.518	-8.307	-1.133	20.421	4.414	59.914	4.494
Oct	31	46.002	-1.563	-1.171	22.725	5.424	71.417	5.356
Nov	30	44.518	6.121	-1.133	25.134	6.406	81.046	6.078
Des	31	46.002	12.151	-1.171	30.842	6.846	94.669	7.100
Anual	365	541.635	6.915,6	-13.787	281.606	65.979	882.348	66.176

6.3.1.1.2. El cas de 3 tipus de piscines a les 4 capitals de província de Catalunya

Aquest procediment s'ha replicat a piscines del tipus 1, 2 i 3, a Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona.

Les hipòtesis realitzades per als diferents tipus de piscina són les que s'indiquen a la Taula 6.16 i a la Taula 6.17. Els resultats es presenten a la Taula 6.18

Taula 6.16 Tem-
peratures i altres
dades ambientals
a les diferents
ciutats

Taula 6.17
Dimensions de les
piscines de tipus
1, 2 i 3

Taula 6.18 Ca-
racterització dels
tancaments per a
les diferents ciu-
tats segons Ulim
del CTE-HE1.

Taula 6.19 Resul-
tats finals per a
piscines cobertes
de tipus 1, 2 i 3 per
a 4 ciutats.

Paràmetre	Valor
Temperatura exterior	• Graus-dia a 29°C de la zona 1 (Barcelona) , zona 3 (Tarragona), zona 5 (Girona), zona 7 (Lleida) (vegeu l'annex). • Temperatures exteriors mitjanes, diürnes i nocturnes, per a cada mes, a partir dels Graus-dia: dia: de 8 h a 20 h; nit: de 20 h a 8 h.
Temperatura aigua de xarxa	Temperatura mitjana mensual de l'aigua de xarxa dels 4 municipis (vegeu l'an-nex).

Paràmetre	PCO-1		PCO-2		PCO-3	
	Vas 1	Vas 2	Vas 1	Vas 2	Vas 1	Vas 2
Llargada (m)	25	-	25	12,5	25	16,6
Amplada (m)	12,5	-	12,5	6	16,6	8
Alçada (m)	2	-	2	0,9	2	0,9
Superfície (m ²)	312,5	-	312,5	75	415	133
Volum (m ³)	625	-	625	67,5	830	120

K (W/m ² · °C)	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Zona climàtica	C2	C2	D3	B3
Vidre	3,4	3,4	3	3,8
Coberta	0,41	0,41	0,38	0,45
Murs	0,73	0,73	0,66	0,82

		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
PCO-1	Consum de calor del vas (kWh/any · m ² làmina aigua)	1.149	1.248	1.294	1.294
	Consum de calor del vas (kWh/any)	359.082	389.896	404.464	404.464
PCO-2	Consum de calor del vas (kWh/any · m ² làmina aigua)	1.097	1.187	1.229	1.213
	Consum de calor del vas (kWh/any)	425.258	459.960	476.262	470.038
PCO-3	Consum de calor del vas (kWh/any · m ² làmina aigua)	1.083	1.170	1.210	1.196
		593.096	640.846	663.086	655.135

6.3.1.2. Exemple de mesurament d'energia solar tèrmica per a ACS i per al vas de la piscina

6.3.1.2.1. Cas de piscina PCO-2 a Barcelona

En aquest exemple s'avalua l'estalvi energètic que l'energia solar tèrmica pot aportar a una piscina coberta.

Per a construir-la es parteix de l'aportació solar mínima per a ACS i de l'escalfament del vas que exigeix el CTE-HE4, en edificis de nova construcció i rehabilitacions importants. Els resultats, però, també serveixen per a edificis ja construïts.

Aquesta avaluació es realitza sobre la tipologia d'una piscina coberta PCO-2 a Barcelona.

Per a estimar la demanda d'ACS, se segueix el mateix procediment que a l'exemple d'ACS del capítol 5, però amb les hipòtesis d'ús i ocupació de les instal·lacions següents:

- 15 hores diàries de funcionament de les instal·lacions, així com 1,5 hores de temps mitjà d'ús de l'equipament de cada usuari.

- Ocupació màxima de l'equipament esportiu de 105 usuaris per a PCO-2 segons les tipologies establertes pel Consell Català de l'Esport (CCE).

La demanda de calor per a l'escalfament del vas de piscina s'agafa de les estimacions realitzades a l'exemple desenvolupat per a aquest propòsit en el present capítol.

En aquest cas (PCO-2 a Barcelona), es calculen 15.750 litres diaris.

A la Taula 6.20 es mostra la demanda d'ACS en litres/dia (a 60°C) i l'aportació solar mínima que el CTE marca per a aquesta demanda i per a la zona climàtica II. I a la Taula 6.21 es mostra la demanda de calor associada a l'ACS.

Tipologia PAV-2	Barcelona
Demanda total d'ACS de l'edifici (l/d a 60°C)	15.750
Zona climàtica	II
Aportació solar mínima (CTE)	70%

Taula 6.20. Demanda ACS, zona climàtica i aportació solar mínima.

Taula 6.21. Demanda energètica per a ACS en una PCO-2 a Barcelona.

Mes	T aigua de xarxa (°C)	Energia diària per a ACS (kWh/dia)	Energia mensual per a ACS (kWh/mes)
Gener	8	953	29.527
Febrer	9	934	26.157
Març	11	898	27.824
Abril	13	861	25.827
Maig	14	843	26.120
Juny	15	824	24.728
Juliol	16	806	24.985
Agost	15	824	25.553
Setembre	14	843	25.278
Octubre	13	861	26.688
Novembre	11	898	26.926
Desembre	8	953	29.527
Demanda energia per a ACS anual (kWh/any)			319.141
Demanda energia mitjana per a ACS diària (kWh/dia)			874,6

Els resultats finals per aquesta tipologia de piscina coberta (PCO-2) a Barcelona són els que es presenten a la Taula 6.23.

El grau de cobertura solar establert pel CTE per a piscines cobertes és del 30% per a la zona climàtica II.

La demanda energètica per a calefactar el vas de la piscina amb i sense cobertura solar, i amb manta tèrmica o sense es presenta a la Taula 6.23.

Taula 6.22
Resultats finals
d'ACS per a pavelló
tipus PCO-2 a
Barcelona.

Demanda de calor per a ACS	Per servei (kWh/servei)	Diari (kWh/dia)	Anual (kWh/any)
Demanda de calor total	0,83	874,6	319.141
Demanda coberta amb energia solar - segons CTE	0,58	612,3	223.399
Percentatge d'estalvi amb energia solar	70%		

Taula 6.23
Demanda de
calor del vas per
a piscina coberta
del tipus PCO-2 a
Barcelona.

Demanda de calor per a vas de piscina		Per a superfície de làmina d'aigua (kWh/any·m²)	Anual (kWh/any)
Sense manta tèrmica	Demanda de calor total	772	299.322
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE	232	89.797
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	30%	
Amb manta tèrmica	Demanda de calor total	535	207.349
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE	161	62.205
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	30%	

D'aquesta manera, la demanda de calor total (ACS + vas de piscina) i la cobertura d'energia solar, es mostren a la Taula 6.24.

Taula 6.24
Resultats finals
per a PCO-2 a
Barcelona.

Demanda de calor per a ACS + vas de piscina	Sense manta tèrmica	Amb manta tèrmica
Demanda de calor total (kWh/any)	618.464	526.491
Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	313.196	285.604
Percentatge d'estalvi amb energia solar	49%	46%

6.3.1.2.2. El cas de 3 tipus de piscines a les 4 capitals de província de Catalunya

Aquest procediment s'ha replicat a piscines cobertes del tipus 1, 2 i 3, a Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona, essent els 2 primers de la zona climàtica II, i els 2 darrers de la zona climàtica III.

	PCO-1		PCO-2		PCO-3	
Demanda total d'ACS de l'edifici (l/d)	13.500		15.750		20.250	
Zona climàtica	II	III	II	III	II	III
Aportació solar mínima d'ACS	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Aportació solar mínima vas piscina	30%	50%	30%	50%	30%	50%

Taula 6.25 Demanda d'ACS, zona climàtica i aportació solar mínima per a ACS i vas de la piscina.

Taula 6.26 Resultats finals per a piscina tipus PCO-1

Demanda de calor per a vas de piscina		PCO-1			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	521.881	621.977	653.380	647.649
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	265.984	300.598	384.838	380.827
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	49%	52%	41%	41%
Amb manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	447.720	547.653	578.734	573.003
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	243.736	278.300	347.515	343.504
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	46%	49%	40%	40%

Taula 6.27 Resultats finals per a piscina tipus PCO-2.

Demanda de calor per a vas de piscina		PCO-2			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	618.464	730.356	767.113	726.776
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	313.196	352.112	451.396	429.890
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	49%	52%	41%	41%
Amb manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	526.491	638.181	674.539	634.770
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	285.604	324.459	405.109	383.888
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	46%	49%	40%	40%

Taula 6.28. Resultats finals per a piscina tipus PCO-3.

Demanda de calor per a vas de piscina		PCO-3			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	829.635	982.003	1.032.304	976.984
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	413.020	465.608	603.375	573.996
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	50%	53%	42%	41%
Amb manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	699.386	851.468	901.205	846.690
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	373.946	426.447	537.825	508.848
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	47%	50%	40%	40%

6.3.2. Despesa en el tractament de l'aire

L'evaporació constant d'aigua de la superfície de la piscina i la respiració dels ocupants fa que l'ambient es carregui d'humitat, amb el perill que es produeixin condensacions, les quals atempten contra la vida dels materials que formen les diferents superfícies del tancament, així com un deteriorament de les condicions de confort.

És necessari, doncs, per a climatitzar el recinte de la piscina, introduir aire més sec per a absorbir aquest vapor. Hi ha dues maneres d'obtenir aquest cabal:

- Agafant aire exterior i escalfant-lo fins a la temperatura adient.
- Fent tornar a circular l'aire interior carregat d'humitat, a través d'un dispositiu d'asseccament.

El primer mètode implica que l'aire interior és impulsat cap a fora i se'n menysprea, per tant, el contingut de calor. El gran consum d'energia, en aquest cas, ve determinat pel fet que s'ha d'estar escalfant continuament l'aire exterior abans d'introduir-lo.

La quantitat d'aire necessari per a absorbir l'aigua que s'evapora és:

$$V_a = M_e / \rho_a \cdot (X_a - X_e) \quad \text{Equació 6.12}$$

En què:

V_a = aire sec a introduir (m^3/h).

M_e = vapor d'aigua a absorbir (kg/h).

ρ_a = densitat de l'aire exterior (kg/m^3).

X_a = humitat absoluta de l'aire interior (kg vapor/ kg aire sec).

X_e = humitat absoluta de l'aire exterior (kg vapor/ kg aire sec).

Si l'aire introduït s'agafa de l'exterior, la potència necessària per a escalfar-lo fins a les condicions d'exploació és:

$$q_a = V_a \cdot \rho_a \cdot C_p \cdot (T_a - T_e) \quad \text{Equació 6.13}$$

En què:

V_a = volum d'aire exterior que s'introdueix (m^3/h).

ρ_a = densitat de l'aire exterior (kg/m^3).

T_a = temperatura interior ($^{\circ}C$).

T_e = temperatura exterior ($^{\circ}C$).

Aquest aire nou que cal introduir per tal d'assolir l'assecatge del recinte de la piscina, per la seva volumetria, ja inclou el cabal higiènic de renovació.

Amb la segona filosofia s'han utilitzat elements com la bomba de calor i/o recuperadors rotatius de calor per a deshumidificar l'ambient, de manera que l'aire interior és refredat a fi que condensi el vapor que conté i, posteriorment, escalfat perquè retorni a l'ambient. Actualment, s'han imposat en grans piscines públiques o privades, per raons econòmiques, les bombes de calor deshumectadores que són tractades a l'apartat següent.

6.4. Instal·lacions

La instal·lació de producció de calor ha de poder respondre a les demandes d'aigua calenta per part dels vasos, a l'aigua calenta sanitària i a la calefacció. A les piscines

cobertes es poden aplicar les diferents tecnologies de generació tèrmica: calderes, bombes de calor, cogeneració i solar tèrmica per la continuïtat i quantitat de consum d'aigua calenta sanitària.

Convé aclarir que, en cas que es necessiti cloració o ozonificació de l'aigua calenta, primer s'escalfarà, i seguidament, serà tractada convenientment per acollir-se als requisits higiènics⁶.

Amb relació a l'aigua calenta sanitària s'ha de destacar, per al cas concret de les dutxes, que, per accedir al vas del recinte, el fet de ser generosos amb la quantitat d'aigua subministrada i de disposar d'un detector de presència, enlloc de pulsadors temporitzats, pot disminuir notablement els tractaments de l'aire i de l'aigua en disminuir la contaminació que poden aportar els banyistes.

Els detalls referents a les instal·lacions dels vestidors es troben al capítol d'instal·lacions a l'aire lliure (Capítol 7).

Una part important de l'electricitat consumida prové de les bombes d'aigua, dels ventiladors i de la deshumectació. Per a limitar el consum elèctric es pot reduir la velocitat dels diferents fluids dimensionant amb més diàmetre les xarxes d'aigua i d'aire.

6.4.1. Mesures sobre l'aigua del vas

6.4.1.1. Recuperació de calor en la renovació d'aigua del vas de la piscina

L'aigua dels vasos ha de ser renovada contínuament, bé per recirculació prèvia depuració o bé per entrada d'aigua nova.

La normativa antiga (NRE-AT-87) estableix que la renovació d'aigua ha de ser com a mínim del 5%. L'actual normativa⁶ no especifica cap valor en concret, sinó que estableix els valors límit de qualitat i concentracions a l'aigua i a l'ambient. Aquestes condicions es poden assolir mitjançant l'aportació d'aigua de xarxa o bé d'aigua depurada. Tanmateix el valor de renovació del 5% es pot emprar com a referència.

Una renovació del 5% representa, per a un vas de 25 x 12,5 m i fondària mitjana d'1,8 m, un volum de 28 m³ d'aportació d'aigua nova. D'aquí es dedueix la necessitat de disposar d'un recuperador de calor.

6.4.1.2. Manta tèrmica

El RITE obliga actualment a instal·lar una manta tèrmica per a evitar pèrdues de calor durant les hores en què no es fa servir la piscina climatitzada.

La manta tèrmica consisteix en un cobertor de material plàstic i gruix inferior a 1 cm que es disposa sobre el vas de la piscina, on flota, durant les hores que no es fa servir.

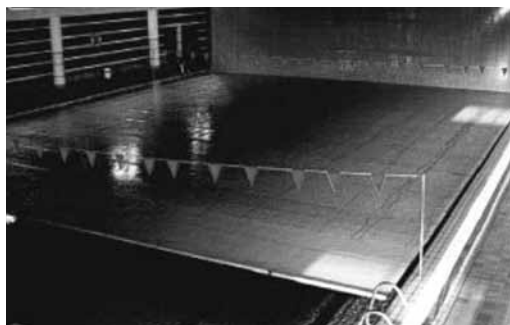


Figura 6.11. Manta tèrmica de l'INEFC de Lleida.

⁶ Decret 95/2000 pel qual s'estableixen les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic.

Entre els diferents tipus de cobertors hi ha els que principalment eviten l'evaporació de l'aigua, i els que, a més, són isotèrmics i minimitzen la pèrdua de calor per conducció.

Els primers, solen ser mantes de polietilè de bombolles d'aire, amb una ràfia de protecció, també de polietilè (Figura 6.12, esquerra). Es desaconsellen aquest tipus de mantes pels problemes higiènics que comporten (en trencar-se les bombolles esdevenen nius de brutícia) i perquè no tenen les característiques d'aïllament tèrmic necessàries.

Els segons, les mantes isotèrmiques, consten de tres capes:

- Capa aïllant d'escuma de polietilè, poliestirè o poliuretà de cèl·lula tancada (que no absorbeix aigua). Al mercat hi ha diferents gruixos: 3 mm, 5 mm, 10 mm, essent el més comú el de 5 mm. L'escuma té un acabat amb forma de piràmide (Figura 6.12, dreta) i, per tant, té dos gruixos: el que arriba fins a la base de la piràmide (l'indicat) i el que arriba fins a la punta (uns 2 mm més). Això cal tenir-ho en compte a l'hora d'interpretar les especificacions de la manta tèrmica que aporta el proveïdor.

- Capa inferior: un film de polietilè que protegeix l'escuma dels productes químics i limita més encara l'absorció d'aigua. N'hi ha que també són impermeables al vapor d'aigua, proporcionant una eficiència tèrmica més gran, i sobretot, una vida útil més llarga.

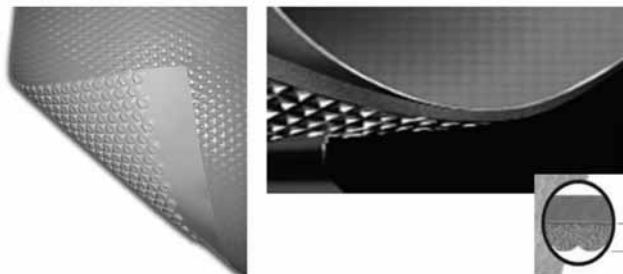
- Capa superior:

- De ràfia (a més densitat de fil, millor): també pot incorporar un film de protecció. Aconsellada per a piscines coberta.

- De polièster recobert de polietilè o recobert de PVC, molt més resistent, i per això es pot fer servir en piscines exteriors.

Els materials plàstics de la capa superior han de rebre un tractament per a resistir la radiació ultraviolada. El grau de resistència a la radiació afectarà la vida de les mantes amb un grau significatiu d'exposició al sol.

Figura 6.12
Imatges de mantes
cobertores per a
piscines. Font:
Daisy Pool Cover,
IngerPool, Tecno-
pool, de Lleida.



A banda d'aquests dos tipus (bombolles i escuma aïllant), també hi ha cobertors de lames de persiana (de PVC o policarbonat), i cobertor de PVC, d'un ús més adequat per a piscines exteriors.

Es recomana assegurar-se de la garantia que ofereix el fabricant, ja que pot variar significativament. Fins i tot el mateix fabricant pot oferir diferents garanties per als seus productes.

Amb aquesta mesura es redueix significativament l'evaporació de l'aigua del vas de la piscina, un 90-95%, ja que no és un sistema del tot estanc. A més, com que la conductivitat tèrmica de la manta és de l'ordre de la de la llana de vidre o mineral, les

pèrdues per transmissió són mínimes i s'aconsegueixen estalvis del 25% en les pèrdues tèrmiques al vas de la piscina i consegüentment, en les necessitats de calefacció de l'aigua del vas, a part de l'estalvi d'aigua que es genera.

Un altre estalvi energètic important prové de la disminució de la necessitat de tractament d'aire per a controlar la humitat durant les hores en què no funciona.

Les característiques que haurien de tenir les mantes tèrmiques són:

- Conductivitat tèrmica $< 7 \text{ W/m}^{20}\text{C}$.
- Fàcil neteja.
- Inexistència d'efectes secundaris sobre la qualitat de l'aigua.
- Facilitat de manteniment i reparació.
- Sistema d'enrotllament controlable per a una o dues persones.
- Resistència als raigs UV (depenent del seu grau d'exposició).

Altres consideracions

La manta tèrmica, per evitar que sigui un niu de possible brutícia i contaminants, ha de ser netejada i desinfectada regularment.

A l'hora d'utilitzar les mantes tèrmiques, els gestors de les instal·lacions han de tenir en compte que han de treure les corxeres abans de posar la manta, i tornar-les a posar en l'ús següent.

Els avantatges de la manta tèrmica són sovint menyspreats per la creença de la poca funcionalitat d'aquests equipaments, o sigui que pel temps que es necessita per a desplegar i plegar la manta i el deteriorament dels components, acaba per desencoratjar-ne la utilització. La pràctica demostra que quan es parteix de materials de prou qualitat, no apareixen aquests problemes i el temps de recollida va des dels 5 minuts fins al quart d'hora depenent de les dimensions i de si es fa automàticament o manualment.

El problema de la manta tèrmica és més que res una qüestió d'integració arquitectònica, primer de la ubicació dels rodets que la recullen i seguidament, que, a vegades, les piscines tenen formes no rectangulars que dificulten desplegar la manta tèrmica que cobreix tota la superfície del vas.

A les piscines de vasos de grans dimensions, el sistema de recollida o desplegament ha de ser automàtic (Figura 6.13) per a facilitar que la manta tèrmica sigui un element usat diàriament. Ja en el moment de concepció arquitectònica de la piscina s'ha de considerar el sistema de manipulació i d'emmagatzematge de la manta tèrmica.

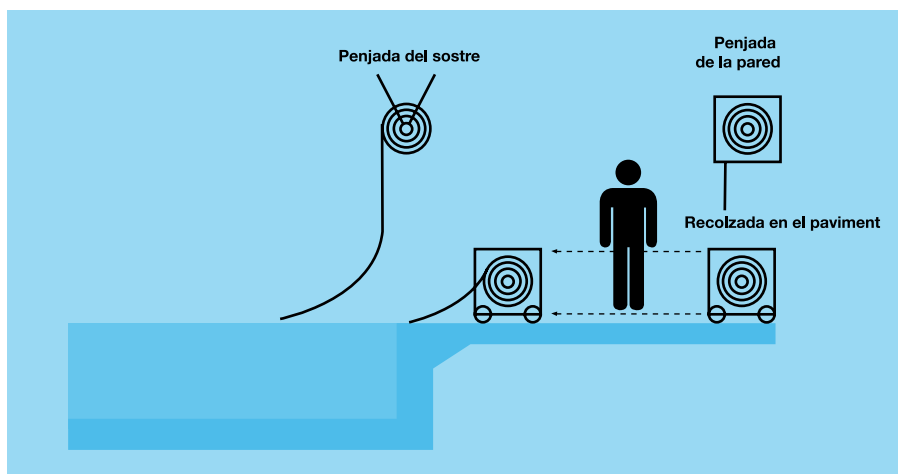


Figura 6.13. Diferents disposicions de recollida de manta tèrmica.

6.4.2. Tractament de l'aire

El tractament de l'aire del recinte d'una piscina coberta és una de les aplicacions més especials que hi ha per les peculiars característiques higromètriques que s'han d'assolir, i que consisteixen en mantenir un grau d'humitat i de temperatura de l'ambient dins uns marges estrets.

Per a les piscines cobertes petites (del tipus domèstic) o piscines més grans però amb un ús discontinu (no tots els dies de la setmana, o no gaires hores per dia), la solució energèticament més econòmica pot ser mantenir les condicions de confort interior amb la modulació d'introducció d'aire exterior. Un dels esquemes que millor compleix aquestes condicions des del punt de vista energètic és el de la Figura 6.14. Quan la humitat augmenta en el recinte, ultrapassant els límits aconsellables, s'obren cada vegada més les comportes G i B mentre es va tancant la comporta A, per afavorir l'entrada d'aire nou sec, un aire que s'haurà de portar a les condicions de temperatura mitjançant la bateria de postescalfament. En cas d'estar en unes condicions d'humitat més recomanables, es fa una petita extracció del cabal higiènic o de l'excedent d'humitat, es recircula gran part de l'aire de retorn per la comporta A, i s'introdueix la part proporcional d'aire nou.

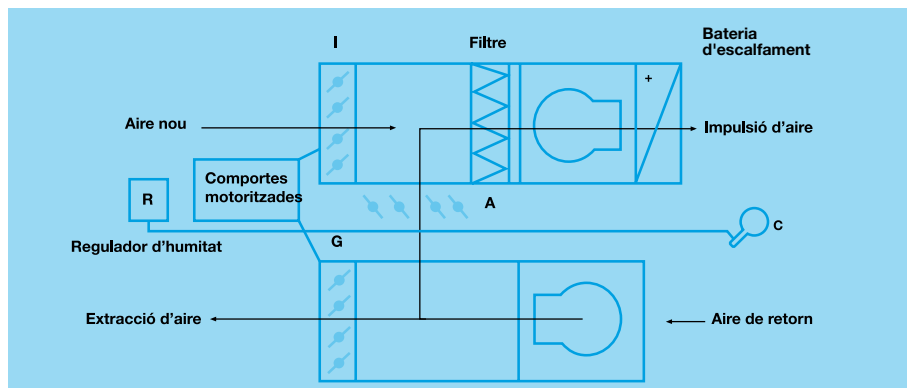
Actualment les diferents piscines del tipus municipal, amb una explotació intensiva de les seves instal·lacions, utilitzen la bomba de calor deshumectadora per a assolir les condicions de confort. Abans d'entrar en detall en aquesta tecnologia, s'ha de remarcar que, a vegades, es planteja l'opció d'utilitzar l'aire del recinte de la piscina per a ventilar altres dependències com ara les dutxes. Aquesta mesura és totalment desaconsellable, per l'aportació d'humitat i de compostos corrosius i indesitjables i els riscos de condensació, ja que entra en contacte amb recintes més freds.

6.4.2.1 Bomba de calor deshumectadora

Aquesta és la millor solució aplicable a piscines de grans dimensions (vasos iguals o superiors als 25 x 12,5) i un ús continuat de les instal·lacions.

La bomba de calor deshumectadora consta de dos condensadors, un d'aire i un altre d'aigua, i d'un evaporador d'aire. Per a potències de deshumectació grans, la bomba de calor disposa de dos circuits frigorífics amb dos compressors, dos evaporadors i tres o quatre condensadors; dos d'aire i un o dos d'aigua. Segons les necessitats, la bomba de calor deshumectadora pot arribar a tenir fins a tres compressors. En aquests casos, els condensadors d'aigua es fan més petits per a evitar sobreescalfaments de l'aigua del vas de la piscina. Això no seria necessari si el projecte d'instal·lacions preveïés des d'un inici l'aprofitament de la bomba de calor deshumectadora per a preescalfar l'aigua ca-

Figura 6.14 Des-humidificador per modulació de la renovació d'aire.



lenta sanitària. Aleshores, els condensadors d'aigua poden ser més grans, amb la qual cosa s'optimitza encara més energèticament aquesta tecnologia. Atès que molts dels fabricants ofereixen bombes de calor a mida, la capacitat de transferència de calor dels diferents condensadors es pot repartir com es vulgui.

La bomba de calor deshumectadora funciona de la manera següent: l'aire carregat d'humitat que s'ha d'evacuar de la sala es fa passar per l'evaporador on es produeix el refredament de l'aire i condensació de bona part del vapor d'aigua que conté. S'ha produït, doncs, una cessione de calor sensible i latent que ha estat absorbida pel fluid refrigerant de la bomba de calor. Aquesta calor es pot alliberar al mateix corrent d'aire circulant a través del condensador d'aire o a l'aigua a través del condensador d'aigua o tots dos a la vegada.

S'ha de remarcar que una part de l'aire interior s'expulsa a l'exterior per a permetre la renovació. Hi ha sistemes que ho realitzen després del circuit frigorífic (Figura 6.15 A) o abans d'arribar-hi (Figura 6.15 B) -aquesta segona alternativa és una solució més flexible. Tant l'escalfament de l'aire com el del vas de la piscina necessitaran una aportació calorífica addicional a partir del generador de calor.

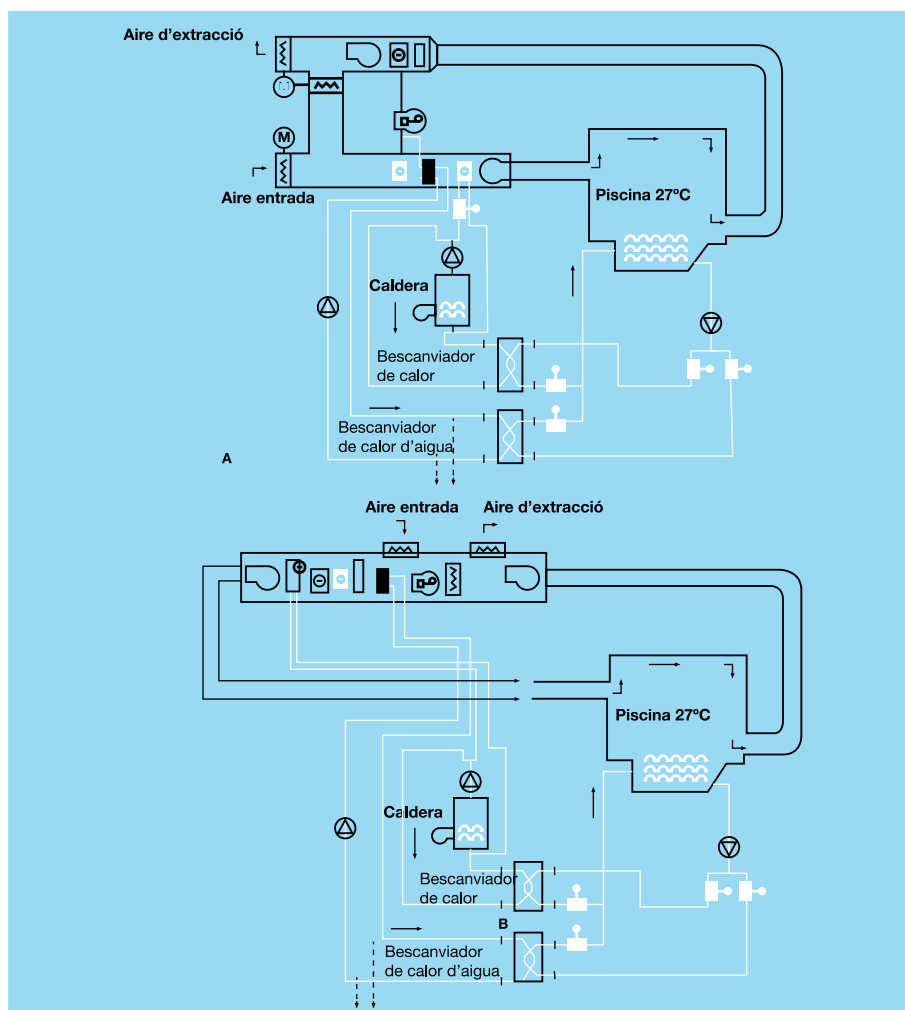


Figura 6.15.
Funcionament de
la bomba de calor
deshumectadora.

Com s'ha comentat en altres capítols, la renovació de l'aire higiènic es pot realitzar també mitjançant una sonda de qualitat de l'aire (CO_2).

Durant els períodes d'hivern en què no s'ocupa, el sistema funciona sense extracció i renovació d'aire exterior, simplement deshumidifica amb les bateries. Si es disposés d'una manta tèrmica, el funcionament de la bomba de calor es podria minimitzar durant tot l'any en els períodes que està ocupada. Aquest és un altre gran avantatge de la manta tèrmica, que minimitza el consum elèctric de la bomba de calor. Aquesta mesura ha d'anar lligada amb la reducció de les condicions de consigna del recinte ja que, si no, la bomba de calor intentarà arribar a les temperatures de règim normals a través de la bateria de reforç. D'aquesta manera es poden fer disminuir notablement les condicions de temperatura de la sala sense que es produixin condensacions, ja que la humitat relativa haurà disminuït, també, de manera remarcable.

S'ha de remarcar que es tracta d'una instal·lació que ha d'estar constituïda d'elements inoxidable; hi ha casos on les aletes d'alumini de l'evaporador estan recobertes d'una fina capa de poliuretà per a augmentar-ne la protecció. La instal·lació ha d'estar allunyada de l'ambient corrosiu de la piscina, amb la qual es comunicarà mitjançant conductes d'aire. També requereix una regulació i manteniment acurats: el recull dels condensats és una bona manera de comprovar el bon funcionament del deshumidificador (per exemple, 2,72-3 kg d'aigua condensada per kWh consumit⁷).

El fet que la bomba de calor deshumectadora pugui disposar de dos ventiladors permet que el recinte de la piscina treballi amb depressió en relació amb la resta de dependències, i s'evita la circulació d'uns corrents d'aire humits i corrosius.

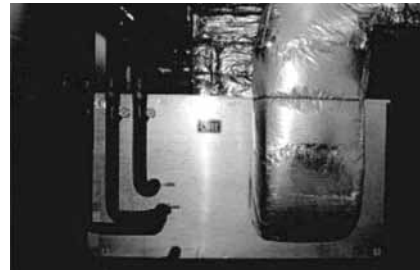
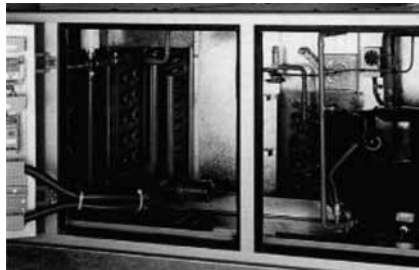
El disseny de la bomba de calor no ha de ser sobredimensionat. És preferible preveure l'aportació d'aire nou suplementari per afrontar les condicions extremes o modificacions de consigna. L'elecció de la potència de la bomba deshumectadora es fa a partir dels quilograms de vapor evaporats per hora a l'ambient (que depenen, en gran mesura, de l'ocupació), però és important també considerar el cabal d'aire que pot escalfar, fent funcionar només els condensadors d'aire, per assegurar de 3 a 8 renovacions per hora el volum del recinte. Per a les condicions normals de funcionament, la potència del compressor és de 70 a 85 W/m² de làmina d'aigua.

La presa d'aire de retorn és important que es realitzi per la part baixa del recinte per a eliminar les substàncies contaminants que envolten els usuaris.

La impulsió de l'aire nou es pot realitzar de maneres diferents: a nivell de les platges de la piscina, mitjançant difusors acoblats a conductes verticals o amb un sistema mixt que és el més recomanable. En aquest darrer cas, un 70 % de la impulsió es faria a nivell de les platges i la resta per conductes situats a la part alta del recinte.

Figura 6.16. Bateria de postescalfament, condensador, evaporador i compressor d'una bomba de calor deshumectadora.

Figura 6.17 Instal·lació d'una bomba de calor deshumectadora.



7 Observatoire des piscines couvertes; Diatechine; Ademe délégation Picardie; 1992 i 1994.

És important que bona part d'aquest aire calent s'envii cap a les zones susceptibles de presentar condensació; molt especialment les superfícies vidrades. Es recomana que la velocitat de l'aire no sobrepassi els 0,2 m/s.

6.4.3. Il·luminació

Les làmpades més emprades i recomanables en la il·luminació de piscines són les làmpades d'halogenurs metàl·lics o LED, però també es poden aplicar les de vapor de sodi d'alta pressió i les làmpades fluorescents, ja que aquest conjunt de làmpades presenta unes característiques bones d'eficàcia (lm/W) i de reproducció cromàtica.

Les lluminàries hauran d'estar adaptades a una atmosfera humida i corrosiva. L'estanquitat total de les lluminàries que permet allargar la vida útil de la instal·lació ha de preveure el problema de sobreescalfament dels focus de llum en no disposar d'aire de ventilació. La posició de les lluminàries haurà de permetre que la llum penetri a l'aigua i que eviti els reflexos.

El tipus de coberta marcarà la situació de les lluminàries. Una coberta accessible permetrà la disposició de lluminàries amb sistemes òptics simètrics sobre el vas de la piscina. Per contra, una coberta no accessible farà que no es puguin situar lluminàries sobre el vas de la piscina i, per tant, s'hagin de situar lateralment amb sistemes òptics asimètrics.

A la Figura 6.18 es mostra la distribució de la il·luminació horitzontal adequada per a una piscina coberta.

6.5. Avaluació de mesures

A continuació es donen ordres de magnitud de consums i estalvis energètics assolibles de mesures d'ús racional de l'energia en el recinte dels vasos, l'aportació d'energia solar tèrmica en la producció d'ACS i l'escalfament del vas de la piscina, així com en l'enllumenat.

6.5.1. Calefacció de la piscina: vas més aire

Per a dues situacions de referència de mètode de control de la humitat (amb aire exterior o amb bomba deshumectadora), s'ha avaluat la mesura energètica d'instal·lació.

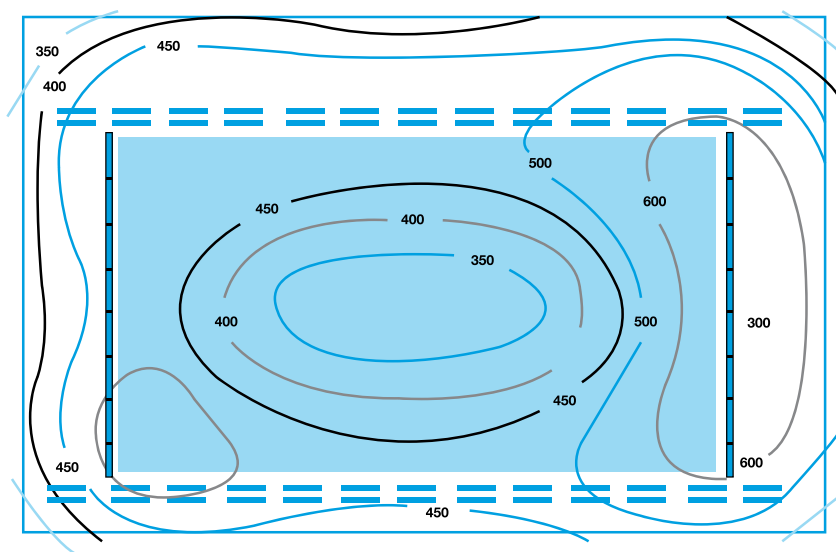


Figura 6.18.
Exemple de la
distribució de
la il·luminació
horitzontal en una
piscina coberta.
Font: Licht.Wissen
08. Sports and Lei-
sure. Any 2010.

lar una manta tèrmica per a utilitzar-la durant les hores que no s'utilitza la piscina.

El consum energètic total que es considera, correspon a la suma de la despesa per a escalfar el vas de la piscina i la despesa per a tractar l'aire del recinte de la piscina.

Les piscines de referència són les que s'ha exposat en l'exemple de calefacció del vas de la piscina d'aquest capítol i, pel que fa a la metodologia i les dades de projecte, són les mateixes.

El consum associat al tractament de l'aire té en compte la renovació d'aire i la calor que es perd a través dels tancaments. La despesa en la renovació d'aire és diferent per a les dues situacions de referència.

En el primer cas de referència, en què la humitat es controla sense deshumectadora, agafant prou aire exterior per a vèncer la humitat interior i escalfant-lo fins a la temperatura adient, s'utilitzen l'Equació 6.12 i l'Equació 6.13.

En el segon cas de referència, en què la humitat es controla mitjançant deshumectadora, la renovació d'aire s'ha considerat de 2,5 l/s d'aire exterior per cada metre quadrat de làmina d'aigua. Per a calcular la despesa de calor del tractament d'aire, s'ha considerat que la recuperació de calor de la deshumectadora és suficient per a tornar a pujar els graus de temperatura que s'han baixat a l'aire en la deshumectació.

Per a l'avaluació energètica de la manta tèrmica, s'ha considerat que l'evaporació es redueix en un 90%, ja que no és un sistema que cobreix hermèticament l'aigua, i que la temperatura de la sala durant aquestes hores es pot reduir a 18°C.

A la Taula 6.29 es mostren les conductivitats tèrmiques que s'han utilitzat per als tancaments. I a la Taula 6.30 es mostren les dimensions dels recintes de les piscines que s'han considerat en aquesta avaluació.

Com a superfície vidrada es considera el 50% de la superfície dels laterals del recinte de la piscina.

Taula 6.29 Caracterització dels tancaments per a les diferents ciutats segons Ulim del CTE-HE1.

K (W/m² · °C) Zona climàtica	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
	C2	C2	D3	B3
Vidre	3,4	3,4	3	3,8
Coberta	0,41	0,41	0,38	0,45
Murs	0,73	0,73	0,66	0,82
Paviment	0,5	0,5	0,49	0,52

Taula 6.30 Dimensions del recinte per a les piscines de tipus 1, 2 i 3.

Paràmetre	PCO-1	PCO-2	PCO-3
Llargada (m)	35	41	43
Amplada (m)	22,5	22,5	26,6
Alçada (m)	6	6	6

Les hipòtesis per a l'avaluació econòmica de les mesures són les següents:

- Preu energia (calor útil): 0,065 €/kWh.
- Cost de la manta tèrmica, incloent sistema de recollida: 70 €/m² làmina d'aigua.

A les taules següents es mostren els resultats aplicats als diferents tipus de piscina coberta a Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona. Es mostra el consum de calefacció per metre quadrat de làmina d'aigua, l'estalvi que s'aconsegueix i el període de retorn de la inversió (PRI).

Demanda de calor per a vas de piscina			PCO-1			
			Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense des-humectadora	Edifici de referència	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.948	2.072	2.198	2.109
	Amb manta tèrmica	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.424	1.533	1.656	1.561
		Estalvi (%)	27%	26%	25%	26%
		PRI (anys)	2,0	2,0	2,0	2,0
Amb manta tèrmica	Edifici de referència	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.643	1.752	1.836	1.800
	Amb manta tèrmica	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.261	1.368	1.466	1.398
		Estalvi (%)	23%	22%	20%	22%
		PRI (anys)	2,8	2,8	2,9	2,7

Taula 6.31. Resultats finals per a piscina coberta tipus PCO-1.

Taula 6.32. Resultats finals per a piscina coberta tipus PCO-2.

Taula 6.33. Resultats finals per a piscina coberta tipus PCO-3.

Demanda de calor per a vas de piscina			PCO-2			
			Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense des-humectadora	Edifici de referència	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.883	1.997	2.120	2.032
	Amb manta tèrmica	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.365	1.465	1.584	1.490
		Estalvi (%)	28%	27%	25%	27%
		PRI (anys)	2,1	2,0	2,0	2,0
Amb manta tèrmica	Edifici de referència	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.562	1.662	1.740	1.708
	Amb manta tèrmica	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.187	1.284	1.377	1.313
		Estalvi (%)	24%	23%	21%	23%
		PRI (anys)	2,9	2,8	3,0	2,7

Demanda de calor per a vas de piscina			PCO-3			
			Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense des-humectadora	Edifici de referència	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.818	1.928	2.048	1.958
	Amb manta tèrmica	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.311	1.408	1.523	1.430
		Estalvi (%)	28%	27%	26%	27%
		PRI (anys)	2,1	2,1	2,0	2,0
Amb manta tèrmica	Edifici de referència	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.494	1.590	1.665	1.631
	Amb manta tèrmica	Despesa calefacció (kWh any/m ²)	1.130	1.223	1.312	1.249
		Estalvi (%)	24%	23%	21%	23%
		PRI (anys)	2,9	2,9	3,0	2,8

6.5.2. Energia solar tèrmica per a l'aigua calenta sanitàària i escalfament del vas de la piscina

Amb relació a l'aigua calenta sanitàària i l'escalfament del vas de la piscina, s'ha vist quin és l'estalvi energètic que l'energia solar tèrmica pot aportar a una piscina coberta, basant-se en l'aportació solar mínima que exigiria el CTE-HE4.

A la Taula 6.34 es mostren els valors de demanda d'ACS als 3 tipus de piscina coberta, i la cobertura solar mínima exigida segons la zona climàtica en què es troben (Barcelona i Girona a la zona II, Lleida i Tarragona a la zona III), tant per a ACS com per a l'escalfament del vas de la piscina.

Taula 6.34 Demanda d'ACS, zona climàtica i aportació solar mínima per a ACS i vas de la piscina.

	PCO-1		PCO-2		PCO-3	
Demanda total d'ACS de l'edifici (l/d)	13.500		15.750		20.250	
Zona climàtica	II	III	II	III	II	III
Aportació solar mínima d'ACS	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Aportació solar mínima vas piscina	30%	50%	30%	50%	30%	50%

Els resultats finals es presenten a la Taula 6.26, a la Taula 6.27 i a la Taula 6.28 per cada tipologia de piscina coberta.

Taula 6.35 Resultats finals per a pavelló tipus PCO-1.

Demanda de calor per a vas de piscina		PCO-1			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	521.881	621.977	653.380	647.649
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	265.984	300.598	384.838	380.827
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	49%	52%	41%	41%
Amb manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	447.720	547.653	578.734	573.003
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	243.736	278.300	347.515	343.504
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	46%	49%	40%	40%

Taula 6.36 Resultats finals per a pavelló del tipus PCO-2.

Demanda de calor per a vas de piscina		PCO-2			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	618.464	730.356	767.113	726.776
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	313.196	352.112	451.396	429.890
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	49%	52%	41%	41%
Amb manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	526.491	638.181	674.539	634.770
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	285.604	324.459	405.109	383.888
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	46%	49%	40%	40%

Demanda de calor per a vas de piscina		PCO-3			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Sense manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	829.635	982.003	1.032.304	976.984
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	413.020	465.608	603.375	573.996
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	50%	53%	42%	41%
Amb manta tèrmica	Demanda de calor total (kWh/any)	699.386	851.468	901.205	846.690
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	373.946	426.447	537.825	508.848
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	47%	50%	40%	40%

Taula 6.37
Resultats finals
per a pavelló tipus
PCO-3.

6.5.3. Enllumenat

A la Taula 6.38, s'ha estimat l'estalvi en un punt de llum que té dos tubs fluorescents de 58 W funcionant 14 hores diàries amb balast electrònic.

Aplicant aquests resultats a una instal·lació que consta de 70 lluminàries, s'obté que, per a una inversió de 1.750€ en balasts electrònics, es poden aconseguir uns estalvis anuals de 1.012 €, i el PRI es manté.

Finalment, a la Taula 6.39 s'estima l'estalvi d'una substitució d'il·luminació per tecnologia LED. Les làmpades actuals són fluorescents de 36W, bombetes incandescent de 60W i projectors halògens de 250W.

Aquestes es divideixen en dos grups: un, en què treballen durant 14 hores diàries i l'altre, en què treballen durant 10,5 hores diàries.

Balast electromagnètic	Consum energia (kWh/any-lluminària)	770
Demanda de calor total (kWh/any) Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any) Percentatge d'estalvi amb energia solar	Consum energia (kWh/any-lluminària)	659
	Estalvi	14%
	PRI (anys)	1,7

Taula 6.38 Avaluació de mesures en enllumenat: balast electrònic.

Taula 6.39 Avaluació de mesures en enllumenat: làmpades de tecnologia LED.

Estalvi energètic	59%
Estalvi econòmic	66%
PRI (anys)	2,8



7. Instal·lacions a l'aire lliure

En aquest capítol s'exposaran criteris aplicables a diferents tipologies d'instal·lacions a l'aire lliure:

- Pistes poliesportives.
- Camps esportius.
- Camps d'atletisme.
- Piscines descobertes.

D'aquestes instal·lacions s'estudiarà la il·luminació i la climatització, quan sigui necessari, del recinte de vestidors, la il·luminació de l'espai esportiu i, per al cas de les piscines descobertes, l'escalfament del vas.

7.1 Criteris de confort

La intervenció humana per crear unes condicions de confort adients per als esportistes i espectadors a les instal·lacions esportives a l'aire lliure, estan força limitades per la variabilitat mateixa de les condicions climatològiques. Tot i així, la concepció arquitectònica de la instal·lació esportiva d'acord amb el seu entorn, pot afavorir unes determinades condicions microclimàtiques idònies en moltes ocasions de l'any; cal tenir en compte aspectes com ara el fet d'estar protegit dels vents dominants, utilitzar lleugeres brises per a la ventilació, minimitzar l'enlluernament dels esportistes en la direcció principal del joc...

7.1.1 Confort tèrmic

A les instal·lacions a l'aire lliure només es planteja aconseguir un grau de confort tèrmic adequat als vestidors i als vasos de les piscines.

Ateses les condicions climàtiques mediterrànies, no se solen calefactar els vestidors de les instal·lacions a l'aire lliure, ja que la humitat de les dutxes i la densitat puntual d'ocupació crea prou calor. En casos d'ubicacions dels vestuaris en climatologies més dures es recomanen temperatures de l'ordre dels 20°C.

A les piscines a l'aire lliure, la temperatura de l'aigua pot oscil·lar entorn dels 20 als 27°C, depenent del volum, de si és d'aprenentatge i del nombre d'usuaris.

7.1.2 Qualitat de l'aire

Els requisits de ventilació que estableix el Reglament d'instal·lacions tèrmiques als edificis es troben a la Taula 2-6 del Capítol 2.

Es pot aplicar una ventilació en funció de la qualitat de l'aire mitjançant una sonda de CO².

Activitat	Il·luminació horitzontal (lux)		Uniformitat ($E_{\min}/E_{\text{mitjana}}$)	
	Entrenament	Competició	Entrenament	Competició
Futbol	200	500	0,6	0,7
Handbol	200	500	0,6	0,7
Rugbi	200	500	0,6	0,7
Bàsquet	200	500	0,6	0,7
Voleibol	200	500	0,6	0,7
Hoquei	200	500	0,7	0,7
Tennis	300	500	0,7	0,7

Taula 7.1 Nivells d'il·luminació recomanats.
Font: Norma UNE-EN 12193:2009.

7.1.3 Confort visual

Per aconseguir un grau de confort visual satisfactori als vestidors, n'hi haurà prou amb una il·luminació entorn dels 300 als 600 lux i un grau d'uniformitat (il·luminació mínima / il·luminació mitjana) de 0,5.

Quant a la il·luminació necessària per aconseguir un nivell de confort satisfactori en el terreny de joc, a la Taula 7.1 s'aconsellen nivells per a diferents activitats esportives a l'aire lliure.

Els valors de la Taula 7.1 donen el nivell d'il·luminació normal requerit. Així, en el projecte, aquests valors s'han de multiplicar per 1,25 per tal de tenir en compte un cert envelliment, així com un cert grau de brutícia de les làmpades. A les instal·lacions en funcionament, el nivell no ha d'estar mai per sota del 80 % dels valors de la taula.

S'aconsella que l'índex de reproducció cromàtica sigui igual o superior al 65 % i que la temperatura de color estigui en general entre 4.000 i 6.500 K. Si no hi ha una aportació de llum natural significativa, aleshores l'interval es pot estendre des de 3.000 a 6.500 K.

També és necessari que els voltants del terreny de joc estiguin il·luminats, si bé la intensitat d'aquesta il·luminació pot disminuir progressivament des de la vora de la pista d'esport.

També, durant el projecte d'il·luminació d'aquestes instal·lacions, s'han de tenir en compte aspectes com:

- La uniformitat d'il·luminació pot variar en terrenys de gespa en funció del tipus de gespa, l'alçada i la direcció de tall de la gespa, l'angle d'incidència, etc.
- S'ha d'assegurar que la pilota, la javelina, etc., es podrà veure tant quan puja com quan baixa i en totes direccions. Això vol dir que els pals que suporten l'enllumenat han de ser prou alts per a impedir l'enlluernament.
- Les ombres sobre el terreny de joc no han de ser excessivament marcades. La solució, en aquest cas, consisteix a il·luminar des de diferents direccions.

7.2 Disseny arquitectònic

En edificis de nova construcció o ampliacions de més de 1.000 m² que renovin més del 25% dels tancaments, serà obligatori complir la normativa establerta pel Codi Tècnic de l'Edificació (CTE H1) "CTE H1: Limitació de la demanda energètica"

pel que fa a l'envolupant de l'edifici. Al Capítol 3 es fa una explicació amb més detall d'aquesta normativa, i d'altres que cal tenir en compte.

Cal construir els vestidors o edificis complementaris de manera que no facin ombra a l'espai esportiu i també s'ha d'evitar que estiguin exposats als vents freds mitjançant vegetació, pel propi relleu del terreny.

L'orientació correcta de l'eix longitudinal de l'espai esportiu és la N-S, tot i que per a pistes d'atletisme és més adient la direcció S-SE a N-NO.

En el cas més probable que els vestidors es caracteritzin per un ús intermitent, cal que l'edifici tingui una inèrcia tèrmica baixa.

Fins ara, la utilització de vidre doble es justificava en els emplaçaments geogràfics on es presentaven baixes temperatures i en els casos en què es preveia una ocupació continuada del recinte i, en conseqüència, un funcionament regular del sistema de calefacció. Actualment, el CTE-HE1 de limitació de la demanda tèrmica, és el que limitarà quin tipus de vidre es pot utilitzar. Segons la superfície d'envidrament que hi hagi, com a mínim, se'n necessitarà un de doble vidre.

La zona de dutxes és l'espai més susceptible perquè es produeixin condensacions per la gran acumulació de vapor. Com s'ha explicat al Capítol 3, la humitat relativa mitjana mensual cal que sigui inferior al 80%, i la màxima condensació anual acumulada no serà superior a la quantitat d'evaporació possible en el mateix període. També s'han d'eliminar els ponts tèrmics per a evitar condensacions i protegir els elements metàl·lics, o utilitzar metalls inoxidable i disposar de ventilació natural.

Els vasos de les piscines descobertes han d'estar protegits contra el vent, ja que aquest augmenta el refredament i l'evaporació de l'aigua. A tall d'exemple, convé citar que les pèrdues es doblen quan es passa d'una situació de calma a una brisa de 10 km/h¹.

Una piscina plena d'aigua es comporta com un captador solar. A la Taula 7.2 (última columna) es pot veure que en els dos primers metres de recorregut de la radiació per l'aigua, aquesta n'absorbeix un 56%, és a dir, que l'aigua per ella mateixa transforma en calor un 56 % de l'energia incident. La radiació que no és absorbida arriba al fons i a les parets del vas.

En funció de la capacitat d'absorbir energia d'aquests elements se n'aprofitarà més o menys quantitat.

En realitat, tant els murs com la solera del vas són normalment de colors clars, de manera que es produeix una reflexió de la radiació que hi arriba, la qual torna a sortir fora de l'aigua, i només una petita fracció és absorbida en el camí de tornada.

La fracció total d'energia aprofitada per a escalfar l'aigua varia entre un 65% i un 80 %. L'escalfament directe de les piscines descobertes mitjançant la radiació solar depèn de molts factors, com la superfície reflectant de l'aigua i el fet que la llum que entra és absorbida de manera diferent en funció de la fondària i de la longitud d'ona de la radiació incident.

La millor manera d'incrementar l'absorció de radiació solar és fent que les superfícies del vas siguin de color fosc. Només amb aquesta mesura, la fracció aprofitada de l'energia incident pot arribar a ser del 90 %. Pel fet de canviar el color de les parets i del sòl es produeix, doncs, un increment en l'absorció que es pot veure a la Taula 7.3.

1 Guide pour la maîtrise de l'énergie dans les équipements, temps libre/jeunesse et sports existants. Ministère du Temps Libre. Ministère délégué à la Jeunesse et aux Sports. Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, Paris, Octobre 1982.

Longitud d'ona (µm)	Fracció (%) de la radiació incident	Fracció (%) de la radiació que entra a l'aigua	Fracció (%) de la radiació incident absorbida en z metres d'aigua de piscina					
			z	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
<0,38 ultraviolat	7,0	(a) 6,6	(a)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
		(b) 6,3	(b)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
0,40 violat	5,47	(a) 5,1	(a)	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3
		(b) 4,9	(b)	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
0,46 blau	8,68	(a) 8,2	(a)	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
		(b) 7,8	(b)	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
0,52 verd	8,23	(a) 7,7	(a)	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
		(b) 7,4	(b)	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
0,58 groc	6,30	(a) 5,9	(a)	0,3	0,5	0,8	1,0	1,5
		(b) 5,7	(b)	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4
0,62 taronja	5,86	(a) 5,5	(a)	0,8	1,6	2,2	2,8	3,7
		(b) 5,3	(b)	0,8	1,5	2,1	2,7	3,5
0,68 vermell	12,57	(a) 12,0	(a)	2,9	5,3	7,1	8,6	10,7
		(b) 11,5	(b)	2,8	5,0	6,8	8,2	10,2
>0,68 infraroig	45,71	(a) 43,0	(a)	36,2	43,0	43,2	42,6	42,6
		(b) 41,1	(b)	34,6	41,1	42,7	41,1	41,4
Total de l'espectre	100,00	(a) 94,0	(a)	40,0	51,0	54,0	56,0	60,0
		(b) 90,0	(b)	39,0	49,0	53,0	54,0	58,0

Taula 7.2 Característiques d'absorció de la radiació solar de l'aigua.

a- estiu
b - hivern

Taula 7.3 Increment en l'absorció de la radiació solar en canviar el color de les superfícies del vas.

Canvi de color de	Fondària		
	0,3 m	1,1 m	1,9 m
blanc a blau fosc	30%	11%	8%
blau cel a blau fosc	13%	5%	3%

7.3 Càlcul de la despesa energètica

Les despeses energètiques imputables a les instal·lacions a l'aire lliure són les que es deriven de la il·luminació dels espais esportius i vestuaris, de la calefacció i ventilació dels vestuaris i de la calefacció dels vasos de les piscines descobertes d'ús estival.

Aquestes diferents despeses energètiques ja han estat exposades al capítol de pavellons i sales (Capítol 5), excepte pel que fa a la calefacció del vas de la piscina descoberta.

7.3.1 Despesa en la calefacció del vas de la piscina

Abans de res, cal dir que el RITE prohibeix la utilització de fonts d'energia convencional per a escalfar el vas de les piscines descobertes, és a dir, que només es podran utilitzar fonts d'energia renovables, com la solar, o les residuals. El RITE també obliga a utilitzar mantes tèrmiques per a evitar pèrdues de calor en els períodes de no utilització.

El balanç energètic de l'aigua que conté una piscina descoberta es pot escriure de manera general com:

$$q_t = q_e + q_r + q_c + q_{re} + q_k - q_s \quad (\text{W/m}^2) \quad \text{Equació 7.1}$$

En què:

q_t : pèrdues totals d'energia de l'aigua de la piscina (W/m^2).

q_e : pèrdues de calor per evaporació (W/m^2).

q_r : pèrdues de calor per radiació (W/m^2).

q_c : pèrdues de calor per convecció (W/m^2).

q_{re} : pèrdues de calor per renovació d'aigua (W/m^2).

q_k : pèrdues de calor per conducció a través dels murs i la solera del vas (W/m^2).

q_s : guany de calor a causa de la radiació solar incident (W/m^2).

Les diferències amb el càlcul de la despesa per a un vas en una piscina coberta, és que en una piscina a l'aire lliure es presenta generalment una velocitat de l'aire que afecta l'evaporació i la convecció i que es disposa d'uns guanys solars.

Pèrdues de calor per evaporació

En piscines a l'aire lliure, pot passar que la velocitat del vent assoleixi un valor tal que faci que l'evaporació sigui superior a la provocada per l'agitació superficial dels usuaris, de manera que l'efecte d'aquesta resti totalment minimitzat davant la influència del vent. Per aquesta raó es proposa la utilització de l'Equació 7.2 per a avaluar el cabal màssic horari evaporat, sempre que la velocitat del vent sigui superior a 7 km/h (2 m/s). Per a velocitats del vent inferiors es pot fer seguir la mateixa expressió que es dona per a calcular les pèrdues per evaporació en piscines cobertes:

$$M_e = 13,84 + 7,7 V \cdot (P_{ag} - P_a) / 1.000 \quad \text{Equació 7.2}$$

En què:

M_e : cabal d'aigua evaporat ($\text{kg/h} \cdot \text{m}^2$).

V : velocitat del vent a l'alçada de l'aigua de la piscina (m/s).

P_{ag} : pressió de saturació de l'aire ambient a la temperatura de l'aigua (mm Hg).

P_a : pressió parcial del vapor d'aigua en l'aire ambient (mm Hg).

La relació entre les pressions parcial i de saturació de l'aire és la inversa de la humitat relativa.

Pèrdues de calor per radiació

L'aigua de la piscina experimenta un bescanvi de calor en forma d'energia radiant amb el seu entorn. Quan la temperatura d'aquest entorn és menor que la de l'aigua, aquest bescanvi implica una pèrdua de calor del líquid del vas.

En el cas de les piscines descobertes, aquesta pèrdua representa un factor important en la definició de la demanda tèrmica. Es pot considerar que el bescanvi per radiació es realitza entre una placa a la mateixa temperatura que l'aigua i la volta celeste.

La pèrdua per radiació es produeix sobretot durant la nit. En el període diürn, a causa de la presència del sol, pràcticament no apareix aquest tipus de bescanvi.

Aquest bescanvi de calor es pot escriure d'una manera general com:

$$q_r = q_{r1} - q_{r2} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equació 7.3}$$

En què:

q_{r1} : calor emesa per la piscina cap a l'exterior en forma de radiació (W/m²).

q_{r2} : calor rebuda per la piscina de l'exterior en forma de radiació (W/m²).

El valor de q_{r1} es pot determinar a partir de l'Equació 7.4:

$$q_{r1} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T_{ag}^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equació 7.4}$$

En què:

σ : constant de Stefan-Boltzman que val $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

ε : emissivitat de l'aigua que podem prendre igual a 0,95.

T_{ag} : temperatura de l'aigua (K).

q_{r2} és la calor radiada per l'atmosfera i no pel sol, i depèn molt del grau d'humitat de l'ambient. El seu valor es pot determinar a partir de la fórmula de BRUNT.

$$q_{r2} = \sigma \cdot T_{ag}^4 (0,55 + 0,056 \cdot \sqrt{Pa}) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad \text{Equació 7.5}$$

En què:

σ : constant de Stefan-Boltzman que val $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

Ta: temperatura de l'aire a nivell de terra (K).

Pa: pressió parcial del vapor d'aigua en l'aire (mbar).

Pèrdues de calor per convecció

El bescanvi de calor per convecció es produeix quan la temperatura ambient és diferent de la temperatura de l'aigua de la piscina. Si és inferior, l'aigua perd calor a un ritme que depèn de la diferència entre les dues temperatures tal com s'ha mostrat en l'Equació 6-6. En el cas d'aire en moviment s'aplicarà l'Equació 7.6 que depèn només de la velocitat de l'aire (m/s) i la longitud de la piscina (m).

$$h = 2,6636 \cdot V^{4/5} / L^{1/5} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)} \quad \text{Equació 7.6}$$

Guany de calor degut a la radiació solar incident

De totes les pèrdues tèrmiques del vas caldrà restar els guanys que tindrà per radiació directa durant el dia. Per a avaluar aquests guanys, cal imaginar que el vas és com un gran captador solar horitzontal (inclinació 0°) d'àrea A (àrea del vas). La irradiació diària per m² (I) vindrà donada per les Taules A.34 a Taula A.38 de l'annex de la climatologia a Catalunya.

Les pèrdues per reflexió (aproximadament el 8 %) en la superfície de l'aigua, així com les ombres parcials causades per les voreres de la piscina i altres pèrdues de quantia inferior, fan que es recomani suposar que l'energia neta directament aportada a l'aigua sigui igual a:

$$q_s = 0,85 \cdot I \text{ (Kj/m}^2 \cdot \text{dia)} \quad \text{Equació 7.7}$$

Evidentment, si la piscina rep ombres d'edificis o arbres en hores en què la radiació solar és apreciable, el coeficient que multiplica "I" encara serà menor, potser igual a 0,8 o 0,75. En l'expressió (7.7).

En algunes zones de clima molt favorable, l'energia directa 0,85-I-A pot ser més o menys igual, o fins i tot superior, a la pèrdua de calor que té la piscina. En aquests casos, n'hi haurà prou amb l'aportació solar natural per aconseguir la temperatura requerida.

Normalment, aquesta aportació serà inferior a les pèrdues totals, així que la diferència entre les dues quantitats serà l'energia que s'haurà de subministrar amb energies renovables (com la solar tèrmica) o amb l'aprofitament d'energia residual. Com ja s'ha dit, el RITE prohibeix l'escalfament d'una piscina descoberta mitjançant fonts d'energia convencionals.

7.4 Instal·lacions

Aquestes instal·lacions es caracteritzen per una utilització discontinua. S'estima que un vestuari és un lloc de pas que pot estar ocupat durant un 12 % d'una temporada de calefacció. Aquesta utilització discontinua i restringida caracteritza les prestacions que han de tenir els equips energètics d'aquestes instal·lacions: es tracta d'arribar, en poc temps, a les condicions de funcionament de règim tant pel que fa a la temperatura dels locals com a la producció d'aigua calenta sanitària.

Cal considerar si realment hi ha necessitat de calefactar el local. En el cas de necessitar calefacció, la consideració primordial és que és necessari un sistema que asseguri una ràpida calefacció de l'edifici. Per tant, els sistemes idonis són els panells radiants i els fan-coils, alimentats per aigua calenta produïda mitjançant una caldera.

La utilització discontinua de les instal·lacions propicia que el funcionament del sistema de calefacció no sigui continu. Una bona solució és que els usuaris mateixos puguin, mitjançant un polsador amb controlador de temps incorporat, connectar la calefacció del local, la qual es desconnectarà automàticament uns 15 minuts després de ser encesa.

Cal preveure una extracció continua d'aire de les dutxes i dels serveis, així com la ventilació natural dels vestidors.

7.4.1 El vas de la piscina

Les piscines descobertes són molt nombroses al nostre territori, concretament el 95 % dels vasos recreatius i el 75% dels vasos esportius (25,33 o 50 m) censats a Catalunya són a l'aire lliure².

És un sector que, per la seva densitat, presenta un potencial important per a introduir mesures d'ús racional de l'energia que permeten, en molts casos, allargar la temporada de bany i, per tant, els ingressos d'explotació de la instal·lació.

Les piscines a l'aire lliure responen principalment a dues necessitats:

- Aprenentatge de la natació.
- Esbarjo.

Això fa que cada vegada més moltes d'elles estiguin equipades amb instal·lacions complementàries com tobogans, cascades, fonts, etc. Aquests elements, en molts casos, comporten més necessitat de bombament d'aigua i en faciliten l'evaporació.

Les principals mesures a prendre en el cas de piscines descobertes són:

- Limitar la temperatura de l'aigua a les necessitats.
- Cobrir-les en els períodes de no-ocupació amb mantes tèrmiques (RITE).

- Aprofitar l'energia solar per a escalfar-les (RITE).

Naturalment, el consum d'energia augmenta de manera important amb la temperatura de l'aigua. Un estudi mostra que l'augment de 2°C en la temperatura de l'aigua representa un augment de l'ordre d'un 70 % del consum d'energia. Respecte a la font energètica per a escalfar-la, el RITE prohibeix l'ús d'energia convencional, pel que s'ha d'utilitzar energia solar, geotèrmica, energia residual...

Tradicionalment, l'aigua del vas de la piscina s'escalfa a partir d'aigua calenta que és aportada a poca profunditat de la superfície de la làmina d'aigua, i crea unes turbulències superficials que n'afavoreixen l'evaporació. És per això que l'escalfament de l'aigua es pot fer a partir de tubs de plàstic (polietilè, polipropilè,...), per on circula aigua calenta, tubs integrats en l'estructura del vas, de manera que escalfin la piscina com si es tractés d'un sistema de terra radiant. Un altre avantatge d'aquesta opció és que es disminueix l'estratificació de la temperatura de l'aigua. L'aigua d'escalfament és de més baixa temperatura que amb el sistema convencional i l'escalfament de l'aigua no interfereix en el sistema de filtratge.

Per a minimitzar les necessitats de tractament de l'aigua és important que els futurs banyistes es dutxin, perquè així entrin a l'aigua en unes condicions higièniques acceptables.

7.4.1.1 L'ús de la manta tèrmica

La cobertura de les piscines mitjançant la manta tèrmica permet, en els períodes de no-ocupació, minimitzar la disminució de la temperatura de l'aigua, reduint les pèrdues per evaporació, radiació i convecció i comportant estalvis energètics superiors al 50 %.

El RITE estableix que la làmina d'aigua de les piscines climatitzades ha d'estar protegida per una barrera tèrmica per a evitar les pèrdues de calor a causa de l'evaporació de l'aigua. Es recomana consultar l'apartat 6.4.1.2 "Manta tèrmica" del capítol 6 de piscines cobertes, on se'n dona més informació. A continuació s'enumeren característiques específiques de les mantas tèrmiques per a instal·lacions exteriors.

A molts llocs de la nostra geografia i amb la utilització de la manta tèrmica, a l'estiu ja en tenim prou amb la radiació del sol per a escalfar els vasos de piscina. A més, la utilització de la manta tèrmica permet allargar la temporada d'explotació de la piscina (començant abans a la primavera i acabant més tard a la tardor), minimitzant els costos energètics associats.

A més, la manta tèrmica protegeix la piscina de que s'embruti i redueix les operacions de neteja i desinfecció.



Figura 7.2 Manta tèrmica exterior del Centre d'Alt Rendiment de Sant Cugat.

Figura 7.3 Detall de la manta tèrmica.

Les característiques que han de tenir les mantes tèrmiques per a piscines descobertes són:

- Conductivitat tèrmica $< 7 \text{ W/m}^2\text{°C}$.
- Neteja fàcil.
- Inexistència d'efectes secundaris sobre la qualitat de l'aigua.
- Facilitat de manteniment i reparació.
- Sistema d'enrotllament controlable per una o dues persones.
- Resistència als raigs UV i a la pol·lució atmosfèrica.
- Protecció contra l'acció del vent.
- Facilitat d'evacuació de l'aigua de pluja.

Hi ha diferents tipologies de mantes tèrmiques per a piscines exteriors:

- Manta tèrmica llisa.
- Manta tèrmica de bombolles.
- Manta tèrmica d'immersió.
- Cobertura de tipus persiana.

Per a piscines municipals, les dues primeres són les d'aplicació, essent la primera d'elles la que presenta, de llarg, les millors característiques d'aïllament tèrmic, durabilitat i higiene. La manta tèrmica llisa consisteix en la manta isotèrmica tractada al capítol 6.

7.4.2 Il·luminació

El temps de pràctica esportiva en instal·lacions a l'aire lliure augmenta si les dotem d'il·luminació artificial que entri en servei quan les condicions de confort visual no les assoleix la llum natural.

Els espais complementaris de les instal·lacions, com els vestidors, cal que disposin d'obertures per a aprofitar al màxim la llum natural.

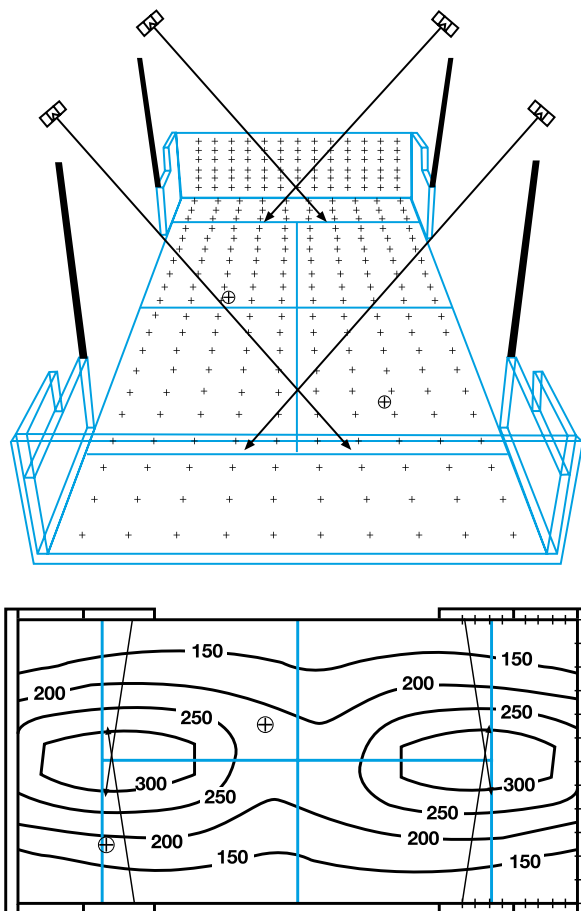
Les làmpades que s'apliquen a la il·luminació de l'espai esportiu són les d'halogenurs metàl·lics i les de vapor de sodi d'alta pressió; les segones són més eficaces i barates, però presenten un índex de reproducció cromàtica pitjor. Ambdues són indicades per a la il·luminació de grans espais amb distàncies superiors a 10 m entre la làmpada i l'espai a il·luminar. La tecnologia LED permet il·luminar espais exteriors, però no per a altes potències (projectors de camps de futbol o de grans dimensions, per exemple). Tot i això, es tracta d'una tecnologia en evolució constant i no es descarta aquesta aplicació a curt termini.

A la Figura 7 5 es mostra un exemple de distribució de projectors per a una pista exterior de pàdel, així com les corbes Isolux per a una solució d'il·luminació de 4 pals, 2 a cada lateral, cadascun amb un projector simètric i una làmpada d'halogenur metàl·lic de 150 W. Els projectors estan a 7 m d'altura i amb un angle d'inclinació sobre la pista de 40°C.

Els vestidors i espais annexos seran il·luminats per làmpades fluorescents, fluorescents compactes (CFL) o LED, evitant la utilització de làmpades d'incandescència i halògenes. Cal recordar que hi ha un calendari d'extinció d'aquest tipus de làmpades.

Per a piscines descobertes, els focus de llum s'han de situar sobre pals alts col·locats a ambdós costats longitudinals de la piscina, amb una altura dels pals, si és possible, superior a l'amplada de la piscina. Això evitarà els reflexos sobre la superfície de l'aigua que poden provocar enlluernaments.

Figura 7.5 Distribució dels projectors i distribució de la il·luminació a la mateixa pista.
Font: Guia d'estalvi energètic en gimnasos. Fenercom 2005



Tant en l'enllumenat d'interiors com d'exterior és molt important poder determinar zones d'encesa, disposar de doble encesa (ex. 300 i 500 lux) i disposar de dispositius automàtics d'encesa i de tancament (cèl·lules fotoelèctriques, interruptors horaris i temporitzadors).

7.5 Avaluació de mesures

A continuació es donen ordres de magnitud de consums i estalvis energètics assolibles de mesures d'ús racional de l'energia en l'aportació d'energia solar tèrmica en la producció d'ACS, i enllumenat.

7.5.1 Energia solar tèrmica en la producció d'aigua calenta sanitària

Amb relació a l'aigua calenta sanitària, per al consum de 15 litres a 60°C per servei, s'ha vist quin és l'estalvi energètic que l'energia solar tèrmica pot aportar a una pista poliesportiva, basant-se en l'aportació solar mínima que exigiria el CTE-HE4.

A la Taula 7.4 es mostren els valors de demanda d'ACS als 3 tipus de pista, i la cobertura solar mínima exigida segons la zona climàtica en què es troben (Barcelona i Girona, zona II, Lleida i Tarragona, zona III).

Taula 7.4 Demanda d'ACS, zona climàtica i aportació solar mínima.

	POL-1		POL-2 i POL-3	
Ocupació màxima equipament esportiu	25		30	
Demanda total d'ACS de l'edifici a 60°C (l/d)	2.625		3.150	
Zona climàtica	II	III	II	III
Aportació solar mínima	30%	50%	30%	50%

Els resultats finals es presenten a la Taula 7.5, a la Taula 7.6 per cada tipologia de pavelló.

Taula 7.5 Resultats finals per a pavelló tipus POL-1.

Taula 7.6 Resultats finals per a pavelló tipus POL-2 i POL-3.

	Demanda energètica per a ACS	POL-1			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Servei	Demanda de calor total (kWh/servei)	0,83	0,87	0,89	0,87
Anual	Demanda de calor total (kWh/any)	53.190	55.149	56.533	55.419
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	15.957	16.626	28.267	27.709
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	30%	30%	50%	50%

	Demanda energètica per a ACS	POL-2 i POL-3			
		Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona
Servei	Demanda de calor total (kWh/servei)	0,83	0,87	0,89	0,87
Anual	Demanda de calor total (kWh/any)	63.828	66.503	67.840	66.503
	Demanda coberta amb energia solar - segons CTE (kWh/any)	19.148	19.951	33.920	33.251
	Percentatge d'estalvi amb energia solar	30%	30%	50%	50%

7.5.2 Enllumenat

A la Taula 7.7, s'ha estimat l'estalvi en un punt de llum compost per dos tubs fluorescents de 58 W funcionant 5 hores diàries, al qual se li substitueix el balast electro-magnètic per un d'electrònic.

Taula 7.7 Avaluació de mesures en enllumenat: balast electrònic

Balast electromagnètic	Consum energia (kWh/any-lluminària)	275
Balast electrònic	Consum energia (kWh/any-lluminària)	235
	Estalvi	14%
	PRI (anys)	4,8



8. Implantació de serveis energètics en instal·lacions esportives

La definició d'Empresa de Serveis Energètics (ESE) segons la Directiva 2006/32/CE¹ és:

Empresa de Serveis Energètics (ESE). Una persona física o jurídica que proporciona serveis energètics o de millora de l'eficiència energètica en les instal·lacions o locals d'un usuari i afronta cert grau de risc econòmic al fer-ho. El pagament dels serveis prestats es basarà (en part o totalment) en l'obtenció de millores de l'eficiència energètica i en el compliment dels demás requisits de rendiment convinguts.

Per tant, per tal que es pugui considerar una empresa com a Empresa de Serveis Energètics, cal que compleixi els dos requisits següents:

- Proporcionar una millora de l'eficiència energètica quantificable i/o un estalvi d'energia primària.
- Assumir cert grau de risc econòmic mitjançant els contractes que lliguen la compensació de l'ESE als estalvis d'energia que genera el projecte.

A continuació s'expliquen les àrees d'actuació, els principals actors i les tipologies de contracte de les ESE, en general. I s'acaba amb un apartat sobre l'aplicació de les ESE en instal·lacions esportives.

8.1 Àrees d'actuació de les ESE

El ventall d'actuacions que pot subministrar l'ESE es pot estructurar en cinc fases:

- 1- l'estudi preliminar per a identificar la viabilitat d'un contracte.
- 2- l'estudi detallat per tal de formalitzar l'oferta.
- 3- la negociació del contracte.
- 4- el projecte.
- 5- la construcció de les obres de millora i/o renovació i l'explotació de les instal·lacions.

A la Taula 8.1 es mostra la descripció i l'objectiu de cadascuna d'aquestes cinc fases.

¹ Directiva 2006/32/CE del Parlament Europeu, sobre l'eficiència de l'ús final de l'energia i els serveis energètics.

Taula 8.1 Actuacions que pot oferir l'ESE.
Font: Empreses de Serveis Energètics, ICAEN 2010.

Fase	Descripció	Objectiu
1. Estudis preliminars	• Estudi energètic bàsic. • Energies útils a subministrar: - Condicions tècniques. - Potències i demandes. • Possibilitats de millorar l'eficiència. • Previabilitat econòmica. • Garanties, riscos.	Identificar l'oportunitat d'un contracte de serveis energètics
2. Estudi detallat	• Estudi detallat de les energies útils: - Condicions de subministrament. - Corbes de les potències i demandes. • Conjuntament amb el consumidor: - Millora de l'eficiència en els processos del consumidor. - Valors i condicions contractuals dels subministraments. • Esquemes unifilars. • Balanços d'energies. • Inversions i finançament que assumeix l'ESE o tercers. • Condicions de la posada en servei. • Preus dels serveis energètics. • Viabilitat econòmica. • Oferta contractual.	Oferta vinculant
3. Negociació contracte	• Negociació comercial (si no és concurs públic). • Contracte de serveis	Negociació comercial (si no és concurs públic).
4. Projecte i construcció (si escau)	• Instal·lacions transformadores d'energia final en útil. • Instal·lacions consumidores energia útil (si és el cas). • Projectes bàsics. • Legalitzacions i autoritzacions. • Selecció subcontractistes (si escau). • Petició d'ofertes. Negociació. Adjudicació. • Compra d'equips. • Construcció i fer-ne el seguiment. • Proves de recepció. • Posada en marxa. • Recepció de la instal·lació	Contracte de serveis
5. Explotació	• Aprovisionament d'energies finals: - Titular contracte: consumidor. - Titular contracte: ESE. • Conducció i vigilància de les instal·lacions. • Servei 24h. • Gestió de les prestacions (registres). • Manteniment: - Preventiu, predictiu, correctiu. - Neteja sales tècniques. - Gestió consumibles (aprovisionament, evacuació). - Magatzem recanvis (constitució estoc, gestió). - Documentació tècnica (inventaris, plans de manteniment, manuals...). • Garantia total. • Assistència tècnica (reglamentació). • Gestió tècnica i administrativa. - Informe anual de les prestacions i eficiències. - Pla anual del servei i pressupost de l'any. - Administració: facturació, tresoreria, personal. - Estudi de millores tècniques.	Subministrament dels serveis energètics

8.2 Principals actors

A la Taula 8.2 es mostren els possibles agents implicats en aquest mercat, així com una descripció de les seves motivacions, interessos o necessitats, i a la Figura 8.1 es mostra la relació que hi ha entre ells.

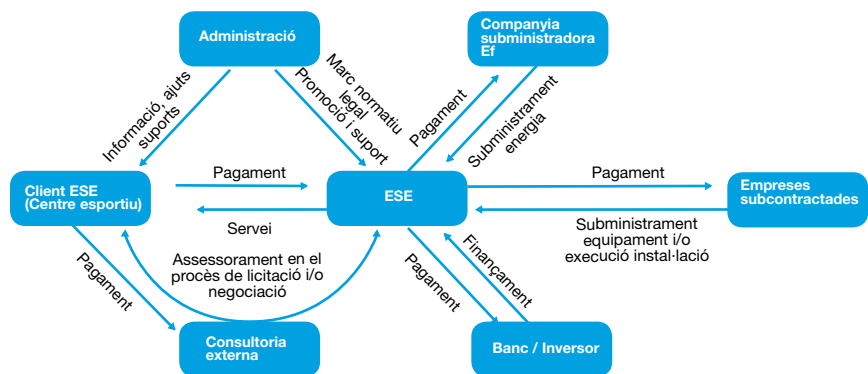


Figura 8.1 Diagrama de relació entre els principals actors en el mercat de les ESE.

Agent	Descripció
Empresa de Serveis Energètics	Aquestes empreses han de disposar principalment de: • Capacitat tecnològica (coneixement tecnologies i sector energètic). • Capacitat de finançament propi o via tercers (per a escometre les inversions necessàries). • Capacitat de gestió tècnica (manteniment i operació d'instal·lacions). • Capacitat de gestió de serveis (contracte serveis energètics). • Capacitat d'aprovisionament d'energies primàries. Actualment, les ESE provenen principalment dels sectors de la gestió d'instal·lacions, empreses subministradores d'energia, instal·ladors o enginyeries/consultories.
Companyia subministradora d'energia final	Les companyies subministradores d'energies finals (electricitat, gas natural) continuen tenint el seu paper com a subministradores, però per afinitat de mercat, la companyia subministradora pot actuar com a ESE. En tot cas, l'ESE haurà de gestionar, en alguns casos, la compra dels subministraments.
Empreses subcontractades	L'ESE pot subcontractar part de les actuacions a efectuar a empreses subministradores d'equipaments (il·luminació, cogeneradors, etc.), empreses instal·ladors per a l'execució de les diferents actuacions o els serveis de manteniment dels equips.
Client de l'ESE	• Empresa consumidora de l'energia que externalitza els serveis a l'ESE. El seu principal objectiu és reduir el consum energètic i millorar l'eficiència energètica de les seves instal·lacions mitjançant inversions i la gestió externa de les instal·lacions amb l'ESE. • Els clients potencials d'una ESE són consumidors importants d'energia que prefereixen focalitzar la seva capacitat al seu "core business" i que no disposen ni de capacitat inversora ni de coneixements tècnics per a la gestió energètica. • Els potencials clients en el sector terciari són els Centres d'Atenció Primària, els hospitals, els centres penitenciaris, els poliesportius, les oficines, els edificis residencials, les indústries, etc.) i abasten tant el sector privat com el públic. • En el cas particular dels centres esportius, s'ha de tenir en compte el consumidor final de l'energia, és a dir, els usuaris de les instal·lacions esportives. Les millores d'eficiència energètica han de garantir, en qualsevol cas, les condicions de confort d'aquests usuaris
Inversors	En la majoria dels projectes són necessaris recursos financers externs mitjançant diferents eines financeres (prèstecs, rèntings operatius, leasings) per tal de dur a terme els projectes.
Consultoria energètica	Atès el desconeixement d'aquest tipus de serveis per part dels potencials clients (públics o privats) les consultories energètiques poden tenir un paper important per tal d'acompanyar-los en el procés de desenvolupament d'aquest tipus de projecte, tant en el procés de negociació com en la licitació i redacció de plecs tècnics. La seva tasca se centra especialment en la primera fase: anàlisis de les ofertes i recomanacions justificades d'adjudicació.
Administració	Actualment l'Administració és un element clau en el desenvolupament dels serveis energètics per tal de donar a conèixer i promocionar aquest tipus de serveis i eliminar barreres perquè evolucionin.

Taula 8.2 Descripció dels agents implicats en el mercat de les ESE.

8.3 Tipologies de contracte

Considerant l'ample ventall de serveis que poden prestar les ESE (Taula 8.1), no es pot pretendre establir una llista exhaustiva de modalitats de facturació.

Cada contracte s'ha d'adaptar a les necessitats i característiques de cada client i sector. Els més habituals són els següents:

- Contracte de Rendiment Energètic (EPC: Energy Performance Contracting).
- Contracte de Subministrament Energètic (ESC: Energy Supply Contracting).
- Contracte de serveis energètics i de manteniment per al sector terciari (o de quota fixa).

Contracte de Rendiment Energètic (EPC: Energy Performance Contracting)

Els serveis que pot subministrar l'ESE han d'anar sempre vinculats a una millora de l'eficiència energètica quantificable i/o a un estalvi d'energia primària. Aquest objectiu es pot formalitzar amb un Contracte de Rendiment Energètic (EPC: Energy Performance Contracting).

La Directiva 2006/32/CE defineix el Contracte de Rendiment Energètic com "l'acord contractual entre el beneficiari i el proveïdor (normalment una ESE) d'una mesura de millora de l'eficiència energètica, quan les inversions d'aquesta mesura s'abonin respecte d'un nivell de millora de l'eficiència energètica acordat per contracte".

Un Contracte de Rendiments és un acord entre el client i una Empresa de Serveis Energètics (ESE) que diu que, a partir d'uns estalvis garantits pel fet d'aplicar una mesura d'eficiència energètica, l'ESE garanteix el retorn de la inversió (en part o totalment) d'aquesta nova instal·lació.

Les actuacions d'estalvi i eficiència energètica poden incloure modificacions i instal·lacions d'il·luminació, equips elèctrics, calderes i unitats de tractament d'aire, sistemes moderns de control de gestió d'energia, reemplaçament de motors, o altres mesures, que sempre comporten una inversió.

Contracte de Subministrament Energètic (ESC: Energy Supply Contracting)

En aquest model, el servei energètic consisteix en el subministrament eficient d'energia útil com la calor, el vapor o l'aire comprimit i és contractat i mesurat d'acord amb els Megawatt-hora (MWh) que se subministren. El model de negoci inclou normalment la compra de combustibles i és comparable a contractes de subministrament de xarxes de calor i fred (DHC) o de cogeneració.

L'abast de les mesures d'eficiència energètica es limita normalment a la part de subministrament d'energia de l'edifici o de l'empresa, per exemple, als equips productors d'energia tèrmica, tant si són fonts convencionals com fonts d'origen renovable.

Aquest model no inclou necessàriament la inversió de noves instal·lacions. El valor afegit que aporta l'ESE se centra en la gestió tècnica de les instal·lacions i la gestió d'aprovisionament d'energies finals.

Contracte de serveis energètics i manteniment “Quota fixa”

Els serveis previstos en aquest model tenen com a finalitat realitzar les prestacions següents:

- Gestió energètica.
- Manteniment.
- Garantia total.
- Obres de millora i renovació de les instal·lacions consumidores d'energia.
- Inversions en estalvi energètic i energies renovables.

L'ESE pren la responsabilitat de subministrar al client un conjunt acordat de serveis (per exemple, de calefacció, d'il·luminació, etc). Normalment, com que el mercat de subministrament energètic és competitiu (lliure mercat), l'ESE també es fa càrrec de la compra de combustible/electricitat.

Sovint, la quota que paga el client és una quota fixa, la qual es calcula sobre uns costos energètics actuals menys un percentatge d'estalvi (5-10% aproximadament), o també es pot definir per metre quadrat d'espai condicionat. Així, al client se li garanteix un estalvi immediat relatiu al seu cost energètic actual. Únicament es fan revisions anuals en funció d'uns indicadors coneguts (IPC, preus de l'energia).

Així, si l'ESE proporciona els seus serveis energètics de manera molt eficient i a un cost baix, els beneficis que obtindrà seran superiors. Això, per tant, incentiva a treballar d'una manera eficient.

Al llarg de la durada del contracte, les ESE proporcionen tot el manteniment associat i explotació de les instal·lacions.

8.4 Aplicació de les ESE en instal·lacions esportives

8.4.1 Possibilitat d'externalització de serveis energètics

En general, a les instal·lacions esportives en què la despesa energètica és una part significativa de l'estructura de costos, és molt recomanable valorar l'externalització dels serveis energètics. D'aquesta manera, l'entitat explotadora de la instal·lació pot centrar tots els esforços i recursos a la seva àrea de negoci, que és l'esport i la gestió esportiva, i deixar que experts en energia s'encarreguin de les instal·lacions energètiques i de la reducció de la demanda.

En general, els tipus de contracte que fomenten més l'eficiència energètica són el Contracte de Rendiment Energètic (EPC) i el Contracte de Serveis Energètics i Manteniment o de quota fixa, ja que aborden tant la banda de producció d'energia com la part de demanda energètica.

En funció de la quantificació dels estalvis i la seva repercussió directa sobre les liquidacions econòmiques, els contractes poden ser de dos tipus: sense o amb vinculació econòmica. El contracte de tipus “quota fixa” és sense vinculació, i l'EPC és amb vinculació econòmica. A la Taula 8.3 es comparen aquests dos tipus de contracte.

Taula 8.3 Comparació entre els tipus de contracte de quota fixa i EPC.

	Quota fixa	EPC (Energy Performance Contract)
Quan s'aplica?	• És més adequat el seu ús en els projectes on proporcionalment els costos energètics siguin petits en comparació amb els costos de gestió, manteniment, etc. És un model adequat per a projectes on es poden valorar amb certesa els consums energètics futurs del client, i que estan en gran part sota el control de l'ESE. Per exemple: els enllumenats públics. Altrament, els increments de consums podrien portar a una rendibilitat negativa per a l'ESE.	• És més adequat aplicar-ho en els projectes on el consum energètic del client no és sota el control de l'ESE (l'ús dels edificis, la fixació de consignes de temperatura per al client o les condicions climatològiques externes). Aquestes variacions del consum també poden comportar variacions en la despesa energètica, si bé l'ESE ha de garantir que s'asseiexen els estalvis energètics garantits.
Avantatges	• Simplicitat de gestió per al client; no requereix la verificació de la facturació en funció de la justificació de l'estalvi, ja que està definida des de l'inici. • La despesa d'energia i de manteniment és coneguda, homogènia, i únicament es fan revisions anuals en funció d'uns indicadors coneguts (IPC, preus de l'energia).	• Es fa explícit i es dona prioritat a l'estalvi energètic respecte d'altres estalvis econòmics. • El client pot modificar aspectes operatius que influeixen en el consum energètic. Això afecta la despesa energètica del client, però l'ESE garanteix que es mantenen els estalvis energètics acordats (per exemple, el 20% respecte de la línia base). • S'aplica fàcilment a actuacions parcials que afecten una part de les instal·lacions, ja que s'estableixen els comptatges energètics corresponents a les actuacions parcials. • Cal definir clarament els paràmetres d'eficiència energètica que s'avaluaran per al seguiment dels estalvis. • Cal definir també les responsabilitats entre ESE i Usuari, especialment en els casos en què el comportament de l'usuari tingui un pes determinant en el consum energètic de la instal·lació.
Inconvenients	• Resta llibertat al client per a modificar aspectes operatius que influeixen en el consum energètic i que afecten la rendibilitat de l'ESE. • No prioritza l'estalvi energètic envers altres estalvis econòmics, com ara una millor contractació en la compra de l'energia. Això podria comportar un avantatge competitiu a les ESE que tinguin facilitat per a comprar energia respecte les que tenen millors solucions per a l'estalvi energètic.	• La verificació periòdica de la justificació d'estalvis té implicacions econòmiques. Comporta una tasca afegida i exigeix coneixements tècnics dels protocols de verificació. En el cas que el client no en tingui, els hauria de subcontractar. • Requereix la implantació de protocols de mesurament i verificació que poden representar un sobrecost econòmic i més temps d'implantació. • El client no pot preveure l'estalvi econòmic aconseguit en la seva despesa energètica atès que està afectada pels paràmetres variables.

En instal·lacions esportives on sigui viable la cogeneració o microcogeneració, el contracte d'externalització de serveis energètics pot resultar molt interessant. El tipus de contracte podria ser tant el de Rendiment Energètic (EPC) com el de Subministrament Energètic (ESC).

És imprescindible aconseguir que les instal·lacions consumidores de calor siguin eficients (part de la demanda energètica), i que el dimensionament de la cogeneració estigui basat en aquesta demanda tèrmica correctament ajustada.

Per tant, en el cas d'una cogeneració, si les instal·lacions tenen potencial de millora de l'eficiència energètica, es recomana un Contracte de Rendiment Energètic (EPC). A la pràctica, la gran majoria d'instal·lacions tenen encara molt recorregut per a millorar energèticament.

Quan s'aconsegueixi una instal·lació eficient, amb poc potencial de millora energètica, es podria externalitzar la cogeneració sota un Contracte de Subministrament Energètic (ESC). L'avantatge principal d'un contracte ESC respecte d'un contracte EPC, és que implica a l'ESE directament en la consecució d'estalvis. De manera que

un cop s'ha aconseguit una millora notable, es potencia la cerca de la millora contínua i l'excel·lència en l'estalvi energètic via un contracte ESC.

Aquestes recomanacions es representen gràficament a la Figura 8.2.

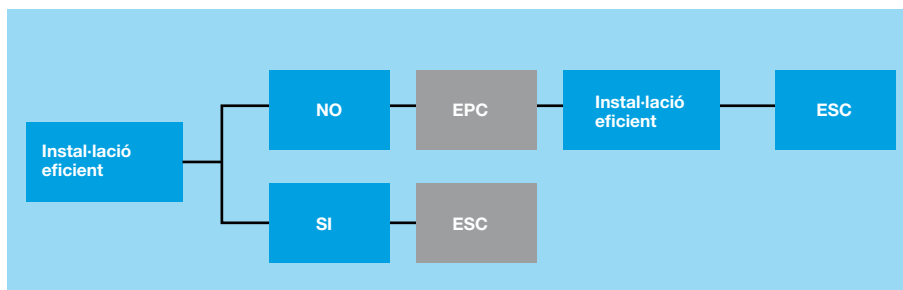


Figura 8.2 Recomanació tipus de contracte per a cogeneració segons eficiència de la instal·lació.

En instal·lacions esportives amb consums energètics menys significatius i amb un funcionament molt estable any rere any, el contracte que s'adaptarà millor serà el de serveis energètics i de manteniment, per ser el tipus de contracte més simple.

8.4.2 Factors a considerar en un contracte amb una ESE

Una instal·lació esportiva que es plantegi establir un contracte de serveis energètics amb una ESE, ha de tenir en compte les consideracions següents:

- Un contracte amb una ESE ha d'especificar quants anys durarà. La durada dependrà del tipus d'inversió i del tipus de contracte. En el cas d'una cogeneració, la durada del contracte està entorn als 10 anys.
- Perquè una ESE s'interessi en invertir en una instal·lació esportiva, necessita alguna mena de garantia de continuïtat de l'activitat i estabilitat en la seva demanda energètica durant el període del contracte.
- S'ha de disposar d'informació sobre les instal·lacions, subministrament energètic i d'aigua, i informació addicional de funcionament (per exemple ocupació) durant un període mínim d'un any en condicions normals de funcionament. En el cas que aquesta informació no estigui disponible, es procedirà a fer mesuraments.
- Segons el tipus d'actuació de la ESE, la propietat haurà de cedir espai físic i drets de pas. Per exemple, en el cas d'incloure una cogeneració.
- Un contracte ESE significarà en la majoria dels casos tenir personal extern a les instal·lacions.
- Si la modalitat de facturació inclou un terme d'eficiència energètica, el contracte haurà d'incloure un pla de mesurament i verificació, creat per un expert (intern o extern a l'ESE). Caldrà instal·lar equips de mesurament i enregistrament d'energia que permetin controlar i validar les dades de referència al llarg de la prestació del servei.
- En contractes de llarga durada, cal preveure una clàusula de rescissió anticipada.
- Igual que el preu dels subministraments (aigua, electricitat, gas natural) varien any rere any, el preu de l'energia subministrada per la ESE variarà. El contracte haurà de tenir clarament com es realitzarà la revisió dels preus de l'energia.
- El contracte ha de delimitar clarament els límits de control de la propietat i de la ESE, així com les responsabilitats en possibles incidències futures i garanties de subministrament.
- S'ha de preveure la gestió dels equips objecte de la inversió per part de la ESE a la fi del contracte (desmantellament, venda per valor residual o transferència al client).

Aquestes consideracions són les principals a l'hora de plantejar un Contracte de Serveis Energètics però no les úniques. Cada cas concret tindrà les seves consideracions pròpies.

Aquest tipus de mercat està començant a Catalunya, i els proveïdors –i, encara més, els usuaris- no el coneixen prou. A més a més, la llarga durada d'alguns contractes pot frenar un propietari d'una instal·lació esportiva. Tanmateix, és un mercat amb molt potencial i el qual l'Administració l'està promocionant i impulsant.

Per a suplir aquests punts, es pot recórrer a un assessorament extern (Administració o consultories especialitzades) que l'acompanyi durant el procés de la proposta, negociació i desenvolupament d'un projecte de Serveis Energètics. L'Organització EVO (Efficiency Valuation Organization), que desenvolupa l'estàndard IPMVP de mesurament i verificació del rendiment energètic, estableix com a bona pràctica la figura de l'assessor independent entre una ESE i el seu client.

Aquesta tercera part imparcial hauria de tenir experiència en el sector de les instal·lacions esportives, ser coneixedor del comportament energètic d'aquest tipus d'instal·lacions, així com tenir coneixement i experiència en tot el procediment d'externalització dels serveis energètics.

8.4.3 Exemples d'aplicació de contractes ESE en centres esportius.

A la Taula 8 4 es mostren tres casos d'instal·lacions esportives que han externalitzat els serveis energètics cap a una empresa ESE. L'àmbit d'actuació de la ESE i el tipus de contracte és diferent en cada cas, i cadascun representa un exemple pràctic dels tres tipus de contracte definits anteriorment.

Taula 8.4 Característiques principals de tres casos d'ESE en instal·lacions esportives.

- (1) ESE: Applus Energy.
- (2) ESE: Eulen.
- (3) ESE: Ferrosfer.
- (4) PES: Percentatge d'estalvi d'energia primària.

	Piscines Picornell (1)	Institut Municipal d'Esports (IMD) de Santurtzi (2)	Bilbao Kirolak (3)
Objecte de contracte	Servei energètic tèrmic d'aigua calenta.	Serveis energètics elèctrics i tèrmics	Serveis energètics elèctrics i tèrmics
Instal·lacions gestionades	Instal·lació, explotació i manteniment d'una cogeneració de 300 kW _e i 339 kW _t .	Un centre esportiu	Tots els centres esportius de l'entitat: 9 poliesportius, 5 camps de futbol i 6 d'altres activitats
Estalvi econòmic	15 – 20%	11% (50.000 € / any)	25% (800.000 € / any)
Estalvi econòmic	PES(4) del 14% (equivalent a 1.089 MWh/any)	11% (50.000 € / any)	25% (800.000 € / any)
Tipus de contracte	Contracte de Subministrament Energètic (ESC)	Contracte de Serveis Energètics i de Manteniment	Contracte de Serveis Energètics i de Manteniment amb quota fixa
Durada del contracte	10 anys	10 anys	10 anys



9. Annexos

ANNEX 1

En el moment en què s'ha actualitzat aquest document, es troben en desenvolupament una sèrie de normatives, les quals poden tenir un impacte important en les instal·lacions esportives. Per aquest motiu, s'ha considerat important realitzar aquest annex amb una descripció de les possibles implicacions que poden tenir i del seu estat actual. Les normatives en qüestió són les següents:

- Certificació energètica per a edificis construïts (nou RD previst per al 2013).
- Edificis de zero energia (NZEB) per als anys 2018 i 2020.
- Designació d'un gestor energètic i etiquetatge energètic mínim de l'edifici.
- Possible revisió de la imposició dels productes energètics.

Annex 1.1 Certificació energètica per a edificis construïts

Des de la Unió Europea s'ha estat impulsant l'eficiència energètica en edificis. L'any 2002 es va aprovar l'EPBD, la Directiva d'Eficiència Energètica en Edificis (D 2002/91/CE). Aquesta directiva té una sèrie d'objectius que els Estats membres han de complir, entre els quals hi ha la limitació de la demanda tèrmica i la certificació energètica dels edificis nous, i la certificació energètica dels edificis construïts.

Del 3 al 20 de febrer de 2012 va seguir tràmit d'audiència el projecte de Reial decret de certificació d'eficiència energètica d'edificis construïts. Segons aquest projecte, a partir de l'1 de gener de 2013 es podrà demanar aquest certificat en el cas de compravenda o lloguer d'un edifici o habitatge que haurà de subscriure un arquitecte o enginyer. Deixa en mans de les comunitats autònomes la creació d'un registre de certificats, el control extern i la inspecció, tal com feia el Reial decret 47/2007 per a la certificació d'eficiència energètica d'edificis de nova construcció i grans rehabilitacions.

Annex 1.2 Edificis de zero energia (NZEB) per als anys 2018 i 2020

L'any 2010 es va aprovar la nova Directiva 2010/31/UE, que modifica la Directiva d'Eficiència Energètica en Edificis de 2002/91/CE la qual preveu que els edificis de nova construcció han de ser edificis d'energia quasi nul·la:

- A partir del 31 de desembre de 2018: els immobles públics.
- A partir del 31 de desembre de 2020: totes les construccions noves.

La Directiva preveu el límit de juny 2012 perquè els Estats membres facin la transposició a la legislació nacional, i una revisió cada 5 anys de la Directiva mateixa.

Annex 1.3 Designació d'un gestor energètic i etiquetatge energètic mínim de l'edifici

El govern d'Espanya actualment es troba treballant en la futura Llei d'eficiència energètica i energies renovables. El Projecte de Llei amb data de febrer de 2009, afecta, entre d'altres:

- Edificis privats: obligatorietat de designar un gestor energètic en edificis amb una superfície útil total de més de 1.000 m² en edificis privats.
- Edificis de l'Administració pública. També s'aplica als edificis de gestió pública, encara que la titularitat sigui privada:
 - Obligatorietat de designar un gestor energètic a cadascun dels seus edificis, amb independència de la seva superfície útil.
 - Està previst establir un etiquetatge energètic mínim en edificis nous.

El gestor energètic tindrà, entre les seves funcions, les següents:

- Realitzar un seguiment mensual del consum d'energia de l'edifici.
- Realitzar un estudi anual comparatiu amb dades dels anys anteriors, de consum energètic i d'emissions de CO₂, per a detectar possibles desviacions i proposar millores i modificacions de la instal·lació.
- Realitzar un programa de funcionament de les instal·lacions i equips consumidors d'energia amb la finalitat de donar el servei demandat amb el mínim consum energètic per a distints règims d'ocupació o temporades climàtiques.
- Aplicar, mantenir i vigilar la realització del programa de funcionament.
- Proposar un programa de millora de l'eficiència energètica de l'edifici que haurà de ser pres en compte, especialment, en reformes o renovacions substancials.

Annex 1.4 Possible revisió de la imposició dels productes energètics

La Comissió Europea, ha presentat, el mes de març del 2011, una proposta per a revisar les normes sobre la imposició dels productes energètics a la Unió Europea (Directiva 2003/96/CE).

Les noves normes entrarien en vigor el 2013, i la indústria tindria fins el 2023 per a ajustar-se a la nova estructura tributària.

La Comissió proposa que el nivell d'impostos aplicable als carburants per a cotxes i combustible per a calefacció es basi en les seves emissions de CO₂, a més de basar-se en el seu contingut energètic per a penalitzar, d'aquesta manera, els més contaminants.

Així, es dividiria el tipus mínim d'impost en dues parts:

- Una, basada en les emissions de CO₂ del producte energètic: 20 €/tona CO₂.
- L'altra, basada en el contingut energètic en GJ dels combustibles:
 - Per automoció: mínim de 9,6 €/GJ.
 - Per calefacció: 0,15 €/GJ.

Aquesta revisió d'impostos tindrà una repercussió en els preus dels diferents subministraments energètics, fent encara més important la despesa en subministrament energètic dins l'estructura de costos de les instal·lacions esportives.

Això farà, a més, que el retorn de la inversió de projectes d'eficiència energètica i d'energies renovables sigui molt millor.

ANNEX 2

Annex 2.1 Introducció

En la construcció i explotació de les instal·lacions esportives, el coneixement dels valors més usuals que prenen les variables meteorològiques de la zona d'ubicació, és de molta utilitat amb vista a optimitzar la despesa general d'energia. Aquest coneixement té relació directa amb els aspectes següents:

- El disseny arquitectònic de la pell d'una instal·lació esportiva.

Aquest disseny depèn, entre d'altres factors, de consideracions bioclimàtiques (radiació solar, temperatures i vent).

- La incorporació d'energies renovables.

La utilització de l'energia solar, de l'energia eòlica o d'altres fonts energètiques renovables, com a sistemes generadors d'energia, requereix el coneixement acurat de les característiques climàtiques del lloc on els sistemes han de treballar.

- El dimensionament dels sistemes convencionals de producció de calor i les despeses energètiques produïdes.

El coneixement de dades com ara els valors extrems mitjans màxims i mínims de la temperatura exterior, amb els quals es determina el flux de calor a través de les parets, les humitats relatives mitjanes, etc., és necessari també a l'hora de dissenyar els equips específics de producció de calor o fred.

Les dades de radiació solar incident a la zona permeten avaluar els guanys directes en una instal·lació a causa del sol, durant els mesos d'hivern; i els possibles sobreescalfaments, durant els mesos d'estiu. Alhora, estan relacionades directament amb el disseny d'instal·lacions d'aprofitament de l'energia solar per a escalfar aigua sanitària o en aplicacions de calefacció.

Les dades referents al vent (intensitat i direcció) faciliten poder determinar les infiltracions d'aire que es produeixen a l'edifici a través de les obertures, l'aïllament diferencial d'uns murs respecte dels altres, així com les pèrdues de calor d'una piscina descoberta. D'altra banda, les mateixes dades són necessàries per a quantificar l'energia que pot produir un aerogenerador ubicat a la zona.

Uns paràmetres meteorològics de gran utilitat a l'hora de conèixer les despeses anuals d'energia d'una determinada instal·lació esportiva, amb unes condicions fixades de confort interior, són la temperatura mitjana mensual i anual, i els graus-dia de calefacció i refrigeració.

Al llarg d'aquest annex es recullen algunes de les dades meteorològiques més importants per a les diferents classes de clima de Catalunya.

Annex 2.2 Tipus de clima a Catalunya

A Catalunya hi ha una gran diversitat de climes, les principals característiques dels quals depenen de l'altitud, la distància al mar, la disposició del relleu, la latitud i les variacions locals, a causa, sobretot, del gradient altitudinal.

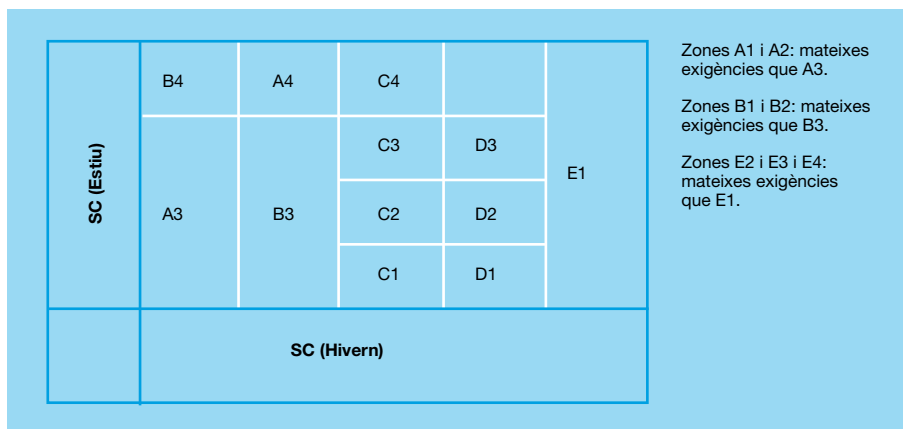
Hi ha diferents classificacions climàtiques de Catalunya, i per això és necessari saber primerament perquè es necessita la classificació per a seleccionar l'adequada.

Segons el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), s'estableixen 12 zones climàtiques mitjançant una lletra que correspon a la severitat climàtica de l'hivern i un nombre corresponent a la severitat climàtica de l'estiu, tal com mostra la Figura A - 1.

A Catalunya, es donen 7 de les 12 zones climàtiques, i es reparteixen com indica la Taula A - 1.

Figura A - 1 Zones climàtiques segons severitat climàtica.

Taula A - 1 Zones climàtiques de Catalunya segons CTE.



Capital de província	Capital	Altura de referència (m)	Desnivell entre localitat i la capital de la seva província (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1

D'altra banda, per a la metodologia dels graus-dia (a l'Annex 2.3.1.3), l'ICAEN va publicar l'any 2003 un estudi monogràfic on es defineixen 9 zones climàtiques per a Catalunya¹.

Amb les temperatures mitjanes anuals repartides per tota la superfície del territori català, es poden distingir les tres grans subzones que queden delimitades per dos isoterms de 14,5 i 11°C, respectivament:

- Litoral: $T > 14,5^{\circ}\text{C}$.
- Central: $11^{\circ}\text{C} < T < 14,5^{\circ}\text{C}$.
- Pirinenca i prepirinenca: $T < 11^{\circ}\text{C}$.

Posteriorment, aquestes tres grans zones es divideixen en 9 subzones més petites a partir dels extrems absoluts de les temperatures màxima i mínima, que indiquen la variabilitat del clima del territori, mitjançant la variable Ic o índex de continentalitat. Els criteris que en marquen la definició es mostren a la Taula A - 2.

Posteriorment, aquestes tres grans zones es divideixen en 9 subzones més petites a partir dels extrems absoluts de les temperatures màxima i mínima, que indiquen la variabilitat del clima del territori, mitjançant la variable Ic o índex de continentalitat. Els criteris que en marquen la definició es mostren a la Taula A - 2.

¹ Els graus-dia de calefacció i refrigeració de Catalunya. Resultats en l'àmbit municipal, ICAEN, 2003.

	Temp.	Índex cont.	Nom Subzona	T mitjana zona
Zones climàtiques	T>14.5	Ic < 9°C	Zona 1	15,56
			Zona 2	15,01
			Zona 3	15,76
		Ic > 9°C	Zona 4	14,83
			Zona 5	14,80
	11<T<14.5°C	Ic > 12°C	Zona 6	12,43
		Ic < 12°C	Zona 7	13,19
	T<11°C	Ic > 12°C	Zona 8	9,59
		Ic < 12°C	Zona 9	7,00

Taula A - 2. Taula on es recullen els criteris de classificació per a cada subzona.

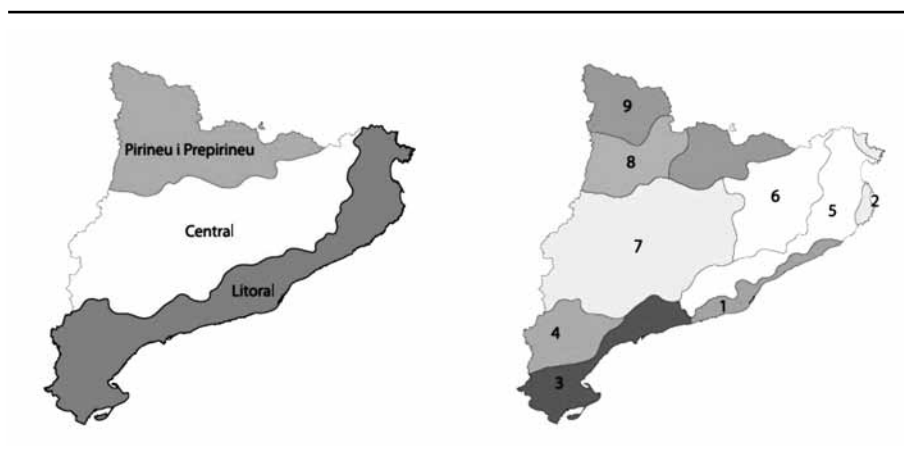


Figura A - 2. Esquerra: zones de temperatura de Catalunya.. Dreta: sub-zones de temperatura definides.

Annex 2.3 Paràmetres meteorològics

Les estacions meteorològiques mesuren diferents variables climàtiques, les quals, degudament tractades amb mètodes estadístics i models matemàtics, generen una sèrie de paràmetres de gran utilitat en els àmbits apuntats anteriorment.

- Les principals variables mesurades són:
- La temperatura ambient.
- La velocitat i la direcció del vent.
- La radiació solar incident sobre superfícies horitzontals.
- La humitat relativa.
- Les precipitacions.
- La pressió atmosfèrica.

Les tres primeres són les que tenen una influència més directa sobre el balanç energètic de qualsevol instal·lació esportiva. D'aquestes tres variables, se'n dedueixen altres de molt importants:

- Temperatures mitjanes mensuals.
- Temperatura mitjana anual.
- Temperatures màxima i mínima anual.
- Oscil·lació anual de la temperatura.
- Nivells percentils.
- Nombre d'hores temperatura.
- Graus-dia de calefacció.
- Graus-dia de refrigeració.
- Temperatura de l'aigua de xarxa.
- Velocitat mitjana del vent.
- Distribució de la direcció del vent.
- Radiació solar mitjana mensual diària sobre superfícies inclinades.

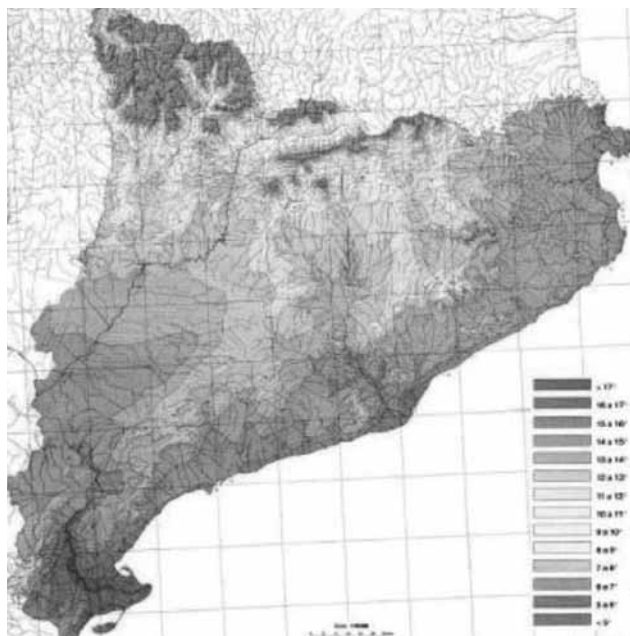
Annex 2.3.1 Paràmetres derivats dels mesuraments de la temperatura

Annex 2.3.1.1 Temperatures mitjanes

La temperatura mitjana mensual es defineix com el quocient de la temperatura mitjana diària obtinguda en aquest mes, essent la temperatura mitjana diària la mitjana de les temperatures mínima i màxima d'aquell dia. La temperatura mitjana anual és el quocient de les dotze mitjanes mensuals.

A la Taula A - 3 es poden observar les temperatures mitjanes mensuals i la tem-

Figura A - 3. Temperatures mitjanes anuals
Font: Atles Climàtic de Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya del Departament de Política Territorial i Obres Públiques i Departament de Medi Ambient, Barcelona, 1997.



peratura mitjana anual de quaranta-una localitats del Principa². La Figura A - 3 il·lustra les zones de Catalunya amb temperatures mitjanes anuals compreses en uns mateixos límits.

La temperatura mitjana mínima i màxima anual són respectivament el quocient de les dotze temperatures mitjanes mínimes i màximes mensuals, essent aquestes el quocient de les temperatures extremes corresponents a tots els dies del mes. L'oscil·lació anual és la diferència entre la temperatura mitjana màxima i la mínima anual.

A la Taula A - 4 s'indiquen els valors de les temperatures mitjanes mínimes i màximes anuals.

En moltes ocasions és important conèixer el valor de la temperatura mitjana diürna i nocturna. Quan no es disposi de dades directes respecte a això, aquests paràmetres es poden estimar de manera aproximada mitjançant les expressions³:

$$\bar{T}_d = \bar{T} + 0,27 \cdot (\bar{T}_M - \bar{T}_{dm})$$

$$\bar{T}_n = \bar{T} - 0,27 \cdot (\bar{T}_M - \bar{T}_{dm})$$

En què:

T: temperatura mitjana diària (°C).

$\bar{T}_M$: temperatura mitjana màxima (°C).

$\bar{T}_m$: temperatura mitjana mínima (°C).

$\bar{T}_d$: temperatura mitjana diürna (°C).

$\bar{T}_n$: temperatura mitjana nocturna (°C).

En el disseny de calefacció d'instal·lacions esportives s'aconsella utilitzar com a condicions extremes de projecte les basades en els nivells percentils, Taula A - 5, de temperatura seca del 97,5 % del total d'hores dels mesos de desembre, gener i febrer (90 dies - 2.160 hores). El nivell percentil del 99 % s'utilitza per a hospitals, clíniques i dependències que necessitin un alt grau de cobertura.

Així, per exemple, el valor percentil del 97,5% per Barcelona és de 2°C, cosa que representa que en un hivern típic es produiran temperatures inferiors a Barcelona de 2°C en 54 hores i que durant les 2.106 hores restants de l'hivern, les temperatures seran igual o superiors a 2°C.

Annex 2.3.1.2 Nombre d'hores temperatura

Aquest paràmetre indica el nombre d'hores en què la temperatura ambient exterior pren un valor comprès en un interval determinat, durant un període de temps prefixat (dia, mes...).

El nombre d'hores temperatura informa sobre la distribució temporal de temperatures al llarg de l'any. Aquesta distribució també es pot fer mensualment, com és el cas present. Des de la Taula A - 6 fins a la Taula A - 21 hi ha els valors d'aquesta variable per a set localitats.

El nombre d'hores temperatura permet calcular rendiments estacionals de bombes de calor i del cremador de les calderes.

Annex 2.3.1.3 Graus dia de calefacció i refrigeració

Els graus dia de calefacció d'un període determinat de temps és la suma, per a tots els dies d'aquest període, de la diferència entre una temperatura base i la temperatura mitjana del dia (sempre i quan el valor de la temperatura mitjana diària sigui inferior

² Geografia física dels Països Catalans. Oriol Riba i altres. Ketres editora. Barcelona 1980.

³ L'architettura dell'evoluzione. Sergio Los i Natasha Pulitzer. Luigi Param Ed. Bologna, 1977. Itàlia.

a la temperatura base).

Aquest paràmetre és el fonament d'un mètode simplificat per determinar la despesa d'energia necessària per a mantenir un volum donat a una temperatura base en la temporada de calefacció.

Si la temperatura base és de 15°C, es parla de graus dia 15/15. Per a un període de “n” dies aquesta variable val:

$$G(15/15) = \sum_{d=1}^M (15 - T_d)$$

En què:

G15/15: graus dia en base 15°C.

T_d: temperatura mitjana diària de la localitat (°C).

n: nombre de dies.

La suma només es realitza per als dies en què T_d és inferior a 15°C.

Per al cas de refrigeració, el procediment seria el mateix, però la suma es realitza per als dies en què T_d és superior a la temperatura base.

En l'estimació de les despeses d'energia d'una instal·lació esportiva, la temperatura base dels graus dia és la temperatura que es desitja mantenir a l'interior.

Des de la Taula A - 23 a la Taula A - 31 hi ha les corbes horàries de temperatura (T_d) per a les 9 zones climàtiques en què es divideixen els municipis de Catalunya, indicat a la Taula A - 22⁴.

El valor de temperatura base recomanat per a calefacció és de 15 o 18°C, per a utilitzar en pavellons i vestuaris en funció de la temperatura que s'hi vulgui tenir. Per a un recinte de piscina coberta climatitzada s'agafaria un valor de 27°C. Per a refrigeració, la font del mètode dels graus dia indica 21°C.

Annex 2.3.1.4 Temperatura de l'aigua de xarxa

A la Taula A - 32 hi ha les temperatures mitjanes de l'aigua de xarxa general per a Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona.

Annex 2.3.2 Dades referents al vent

El vent és una font energètica derivada del sol. Quan els raigs solars escalfen la superfície de la Terra, no ho fan amb la mateixa intensitat a tot arreu, de manera que s'originen moviments horitzontals de masses d'aire, que són el que hom anomena vents.

Tant per decidir l'emplaçament d'una instal·lació esportiva com per determinar la distribució òptima de les obertures i considerar la possible col·locació d'una capa d'aïllament addicional i valorar les infiltracions, és molt important conèixer les direccions i velocitats dels vents de la zona.

Aquest coneixement també és necessari si es vol produir energia elèctrica mitjançant aerogeneradors o aconseguir energia mecànica per a bombar aigua, etc.

A l'Atlas Eòlic de Catalunya⁵ es recullen dades per a 83 punts del territori. En el Pla de parcs eòlics⁶ s'ha aprofundit en els mesuraments del vent als llocs amb més potencial d'implantar un parc eòlic, els quals han estat identificats durant la confecció de l'Atlas Eòlic.

A la Taula A - 33 s'indiquen els valors de les velocitats mitjanes mensuals del vent, la rosa dels vents, o distribució estadística de les diferents direccions del seu

⁴ Els graus dia de calefacció i refrigeració de Catalunya. Resultats per a àmbit municipal, ICAEN, 2003.

⁵ Atlas Eòlic de Catalunya. 3 volums (d'octubre de 1984 a novembre de 1985, novembre de 1985 a desembre de 1986, gener 1987 a març de 1988). Enher i ICAEN. 1987, 1990 i 1993.

⁶ Pla de parcs eòlics de Catalunya. Resultats dels mesuraments del vent. Període 1991-1995. Albert Mitjà, Conrad Messeguer, Joan Esteve i Joan Josep Escobar. Estudis Monogràfics núm. 7 ICAEN. 1996.

moviment, i l'alçada a què s'han pres els mesuraments (H), per a onze localitats de Catalunya.

A la Figura A - 4, es pot observar el mapa eòlic on hi ha diferenciades les zones geogràfiques en funció de la velocitat mitjana anual del vent mesurada a 10 m sobre el nivell del sòl.



Figura A - 3. Temperatures mitjanes anuals
Font: Atles Climàtic de Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya del Departament de Política Territorial i Obres Públiques i Departament de Medi Ambient, Barcelona, 1997.

Annex 2.3.3 Determinació de la radiació solar incident sobre superfícies inclinades

L'estimació del valor de la radiació incident sobre una superfície amb una determinada orientació i inclinació és essencial a l'hora de dimensionar una instal·lació d'aprofitament de l'energia solar. Alhora, permet avaluar els guanys directes en una instal·lació a causa del sol, durant els mesos d'hivern i els possibles sobreescalfaments, durant els mesos d'estiu.

A l'Atles de Radiació Solar a Catalunya del 1996 es presenten taules de radiació solar global diària sobre superfícies inclinades i verticals, així com la radiació solar global horària sobre una superfície inclinada per a 10 localitzacions i mapes d'irradiació solar diària per tot el territori.

Annex 2.3.3.1 Azimut i inclinació

- Azimut de la superfície: és l'angle format per la projecció sobre el pla horitzontal de la normal a la superfície i la direcció sud. L'azimut serà nul per a una superfície orientada al sud, positiu cap a l'oest i negatiu cap a l'est.
- Inclinació de la superfície: és l'angle que forma la superfície amb l'horitzontal. Varia de 0° a 90°C.

Annex 2.3.3.2 Radiació difusa, directa i reflectida

El valor de la radiació total sobre una superfície inclinada ve donat per la suma de tres components:

1. Radiació directa: prové directament del sol, i arriba a la superfície captadora sense canvi de direcció.
2. Radiació difusa: incideix sobre la superfície amb direcció aleatòria, car és resultat de les reflexions i refraccions de la radiació directa en l'atmosfera, núvols, partícules de CO₂ i vapor d'aigua, etc.
3. Radiació reflectida: procedeix de la reflexió sobre el terra o edificis dels voltants.

A tall d'extracte, des de la Taula A - 34 a la Taula A - 38, es mostren les dades de radiació solar diàries i horàries disponibles a l'Atles de Radiació Solar per Barcelona.

Taula A - 3 Temperatures mitjanes mensuals i mitjana anual a diferents localitats (°C).

Població	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Adrall	0,4	2,3	5,2	7,9	11,3	15,4	18,0	17,5	14,6	9,7	4,4	0,8	9,0
Barcelona	8,4	10,1	11,7	14,1	17,5	19,9	23,1	23,6	20,8	17,8	12,9	10,6	15,9
Benasc	1,5	3,1	5,9	8,4	12,5	15,1	18,4	18,0	15,0	10,5	6,4	3,1	9,8
Cabdella	2,4	2,7	4,8	7,4	11,0	14,5	17,8	17,1	14,2	9,7	5,2	2,8	9,1
Cabrianes	4,4	6,2	9,5	12,4	16,3	20,5	23,8	23,4	20,2	15,0	8,5	5,0	13,8
Camprodon	1,6	2,9	4,9	8,4	11,4	14,9	17,6	17,3	14,5	9,2	5,2	2,0	9,2
Cap de Begur	9,9	10,4	12,1	14,0	16,9	20,5	23,4	23,2	21,4	17,6	13,8	10,8	16,2
Cap de Biarra (Rosselló)	8,0	9,1	10,7	13,2	16,6	20,2	22,8	22,9	20,1	16,1	11,9	9,5	15,1
Cervera	3,4	5,8	8,0	11,8	15,4	19,7	23,5	22,7	20,2	14,7	7,8	4,6	13,1
Estany de Sant Maurici	-2,6	-2,3	-0,6	1,5	6,0	9,7	13,7	12,6	10,6	6,3	0,3	-2,7	4,4
Estany Gento	-3,6	-3,6	-1,5	0,9	4,7	9,3	12,6	11,8	8,9	4,4	0,2	-2,7	3,4
Fígols	3,3	4,5	7,1	9,8	13,5	17,0	20,4	19,8	16,9	12,1	6,6	3,6	11,2
Figueres	8,0	8,9	10,4	12,6	16,1	19,7	22,9	22,2	19,3	15,2	10,8	7,5	14,5
Flix	6,9	10,1	10,6	14,4	19,6	22,7	26,3	25,8	24,8	16,5	10,4	7,5	16,3
Fraga (Baix Cinca)	4,4	7,7	11,5	14,7	16,8	22,6	25,7	25,2	21,6	16,4	10,0	5,6	15,2
Girona	7,2	8,2	10,7	13,1	16,7	20,4	23,3	23,1	20,5	15,9	10,9	7,7	14,8
Granollers	7,3	8,2	10,6	13,0	16,5	20,2	23,3	23,0	20,6	15,8	10,9	7,4	14,7
Igualada	6,0	7,3	9,6	12,4	15,6	19,4	22,7	22,4	20,0	15,5	10,3	6,5	14,0
La Farga de Bebié	2,8	4,7	7,3	10,3	13,4	16,8	19,8	19,5	16,6	11,5	6,9	3,2	11,1
La Pobla de Segur	2,9	5,4	7,6	10,9	14,0	18,0	21,4	18,3	18,3	12,5	6,3	2,5	11,5
Les Escaldes (Andorra)	1,1	2,2	6,2	8,4	11,6	15,3	18,0	17,9	15,1	10,0	5,4	2,4	9,4
Llavorsí	2,0	3,7	5,4	8,5	12,1	15,7	19,1	18,4	15,2	11,4	5,9	2,6	10,0
Lleida	5,4	7,3	10,9	13,8	17,9	21,8	24,9	24,4	21,2	15,5	9,2	5,2	14,8
Manresa	3,8	6,5	8,0	11,0	14,2	19,7	23,4	21,6	19,2	15,0	7,8	5,0	12,9
Motlluis (Conflent)	0,3	0,5	0,9	3,0	6,3	10,6	14,1	14,0	11,2	7,2	2,8	1,0	6,0
Montsó (Aragó)	5,4	7,4	10,9	13,4	17,1	20,2	24,2	23,6	20,6	15,2	9,5	5,6	14,4
Oliana	3,0	4,6	8,5	11,3	15,0	19,4	22,5	21,9	18,8	13,1	7,8	4,3	12,5
Olot	5,1	6,3	9,0	11,0	15,0	17,8	20,9	20,7	18,1	14,0	8,5	6,5	12,7
Perpinyà (Rosselló)	7,3	8,5	10,5	13,3	16,6	20,4	22,9	22,6	19,8	15,5	11,0	8,5	14,7
Prada (Conflent)	5,6	6,8	8,7	11,3	14,7	18,5	21,6	21,4	18,5	14,1	9,3	6,8	13,1
Puigcerdà	2,0	3,5	6,5	9,1	12,4	15,1	18,7	18,9	16,1	10,8	6,3	3,1	10,2
Ransol (Andorra)	-2,3	-1,1	2,1	4,1	7,2	10,6	13,3	13,3	11,0	6,5	2,0	-1,2	5,5
Ribes de Freser	2,4	3,6	6,1	8,9	12,4	15,8	18,6	18,1	15,2	10,5	5,7	3,0	10,0
Roquetes	9,3	10,5	12,5	14,9	18,2	21,9	24,8	24,8	22,1	17,6	13	10,0	16,6
Solsona	3,8	4,5	8,2	10,7	14,5	18,4	21,5	21,3	18,4	13,2	7,7	4,6	12,2
Tarragona	9,4	10,1	11,7	13,7	16,6	20,6	23,1	22,8	21,4	17,5	13,0	10,3	15,8
Tàrrrega	4,1	6,4	9,7	12,8	16,5	21,2	24,2	23,6	20,9	14,6	8,4	4,6	13,9
Tivissa	6,7	8,4	10,6	13,0	16,5	20,6	23,7	23,5	20,8	16,3	11,2	7,4	14,9
Turó de l'Home	0,3	0,0	1,7	4,1	7,6	11,5	14,7	14,2	11,6	7,3	3,6	1,0	6,5
Vic	3,4	5,3	9,0	10,7	15,1	18,9	22,3	21,8	18,0	12,6	7,9	4,0	12,4
Viella	2,5	2,3	5,0	7,4	10,3	14,3	17,3	17,5	14,3	10,3	5,3	3,0	9,1

Població	Temperatura mitjana mínima anual	Temperatura mitjana màxima anual
Alcanar	12,2	20,2
Alp	3,1	10,8
Arties	3,3	14,8
Barcelona	13,7	19,9
Figuères	10,0	20,6
Flix	9,8	22,1
Igualada	8,8	20,6
Lleida	8,6	20,7
Manresa	8,1	20,8
Els Plans de Sió	9,1	19,0
Reus	11,9	20,7
Sant Pere Pescador	10,0	19,5
Sarrià de Ter	8,9	21,4
Tarragona	13,5	20,1
Tremp	7,5	17,8
Vic	7,3	20,0

Taula A - 4 Temperatures mitjanes mínimes i màximes anuals

Població	Altitud	99%	97,5%
Barcelona			
Barcelona/Aeroport	5	1,2	2,0
Fígols	1.154	-4,9	-3,8
Sallent	284	-4,7	-3,5
Moià	717	-6,3	-5,3
Manresa	232	-4,8	-3,9
Igualada	284	-3,5	-2,4
Sant Boi de Llobregat	22	1,8	2,8
Granollers	146	-2,4	-1,4
Cardedeu	193	-2,4	-1,4
Caldes de Montbui	203	-3,9	-2,9
Sabadell	190	-0,8	0,2
Sabadell/Casa Bàrbara	250	-3,8	-2,8
Sta. Coloma de Gramenet	56	0,8	1,8
Badalona	23	3,2	4,3
Montseny	1.712	-7,8	-6,8
Vic	484	-4,4	-3,2
Tarragona			
El Perelló	142	0,6	1,7
Vandellòs	280	4,3	5,3
Reus/Aeroport	134	-0,6	0,4

Taula A - 5 Nivells percentils.

Població	Altitud	99%	97,5%
Vila-seca	40	4,6	5,7
Riudabella	550	-2,6	-1,4
Tarragona	51	2,1	3,1
Flix	42	-3,0	-1,9
Tivissa	309	-2,1	-1,1
Tortosa	1 4	1,2	2,2
Lleida			
La Seu d'Urgell	692	-7,0	-5,9
Adrall	639	-10,2	-9,0
Pantà d'Oliana	469	-4,8	-3,5
Pont	362	-0,1	1,2
Llavorsí	81 l	-6,7	-5,5
Llac Estany Gento	2.174	-10,1	-8,9
Capdella	1.422	-7,1	-6,1
Monrós	1.230	-4,6	-3,5
Senterada	729	-6,2	-5,1
La Pobla de Segur	525	-5,7	-4,6
Presa de Talarn	539	-5,7	-4,6
Embassament de Terradets	400	-3,6	-2,4
Pantà Camarasa	287	-3,5	-2,3
Cervera	548	-4,4	-3,3
Tàrrega	373	-3,5	-2,2
Mollerussa	250	-3,4	-2,1
Senet	1.103	-7,2	-6,1
Vilaller	981	-9,1	-8,0
Caldes de Boí	1.500	-7,3	-6,3
El Pont de Suert	838	-8,6	-7,4
Pantà d'Escales	878	-3,1	-1,9
Pantà de Canelles	420	-5,0	-3,9
Lleida	202	-1,7	-0,5
Arties	1.144	-9,9	-8,7
Viella	974	-7,3	-6,1
Les Cledes	930	-7,7	-6,7
Girona			
Freser Superior	1.425	-6,0	-5,0
Ribes de Freser	91 2	-5,6	-4,5
La Farga de Bebié	950	-4,6	-3,4
Osor	340	-1,8	-0,8
Girona	70	-2,9	-1,7
L'Estartit	1 2	0,7	1,7
Figueres	39	-0,8	0,2
La Molina	1.704	-12,5	-11 ,4

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14 a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6												
-6 a -5												
-5 a -4												
-4 a -3												
-3 a -2												
-2 a -1												
- 1 a 0	0,4	0,2										0,2
0 a 1	4,0	0,4										2,6
1 a 2	11,8	1,8	0,2								0,4	4,1
2 a 3	21,0	8,6	1,8								2,0	6,5
3 a 4	22,2	10,8	3,4								1,8	11,3
4 a 5	36,8	25,4	8,4	0,6							6,2	18,0
5 a 6	42,6	32,6	15,0	3,6	0,5					0,4	7,4	28,6
6 a 7	49,8	49,2	29,8	9,0	0,2					1,4	14,6	31,6
7 a 8	57,0	59,2	43,8	18,2	0,3					1,2	19,6	46,4
8 a 9	68,2	61,0	49,2	25,6	2,1					4,4	28,4	56,5
9 a 10	63,8	62,0	47,4	40,6	4,7				1,2	9,2	34,8	65,0
10 a 11	65,0	61,6	64,6	52,8	11,2	1,0			1,6	19,0	50,8	80,0
11 a 12	66,8	64,0	72,0	58,4	26,0	1,7			2,8	25,6	68,6	65,0
12 a 13	72,8	59,6	78,2	62,0	38,9	4,5			6,4	36,0	74,0	78,4
13 a 14	68,0	64,8	83,6	75,0	49,4	6,2			17,2	54,4	68,8	64,4
14 a 15	41,8	33,4	77,2	74,6	56,8	18,5	0,3	1,0	19,6	68,0	66,2	59,0
15 a 16	21,8	23,2	55,4	71,8	64,1	30,0	4,3	0,8	29,6	77,6	67,8	44,2
16 a 17	14,0	18,8	48,6	79,6	64,8	41,3	9,5	2,2	31,8	79,0	50,0	32,2
17 a 18	5,8	14,4	28,8	67,8	75,9	59,3	18,0	3,8	38,8	72,8	50,6	22,5
18 a 19	6,2	9,4	16,0	34,8	93,0	64,0	27,3	10,6	40,2	73,8	42,0	14,0
19 a 20	1,6	7,2	11,0	18,8	90,4	85,7	35,2	17,2	67,6	72,0	32,6	7,1
20 a 21	2,0	1,8	5,0	12,4	69,4	76,0	47,2	26,6	75,0	53,8	17,0	3,0
21 a 22	0,6	1,8	2,4	5,6	44,8	81,3	60,2	45,4	73,4	50,0	6,8	2,2
22 a 23		0,4	1,4	3,6	27,9	76,8	81,5	83,0	78,4	30,2	4,0	1,0
23 a 24		0,4	0,8	1,6	12,1	60,3	87,8	75,4	60,0	11,6	2,4	
24 a 25				1,6	8,3	57,2	75,3	82,6	57,2	2,8	0,8	
25 a 26				1,2	2,6	36,2	81,8	78,2	49,0	0,6	1,2	
26 a 27				0,4	0,5	12,2	81,3	78,2	35,0	0,2	0,4	
27 a 28				0,4		4,0	69,2	93,4	25,4		0,4	
28 a 29					0,2	2,0	46,3	90,4	6,0		0,4	
29 a 30						1,0	16,3	39,2	1,0			
30 a 31						0,8	1,8	10,6	1,2			
31 a 32							0,2	3,4	1,0			
32 a 33							0,3	1,4	0,4			
33 a 34								0,6	0,2			
34 a 35												
35 a 36												
36 a 37												
37 a 38												
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Taula A - 6 Hores temperatura d'Alcanar.

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6												
-6 a -5												
-5 a -4												
-4 a -3												
-3 a -2												
-2 a -1												
- 1 a 0		0,2										
0 a 1		1,9										
1 a 2	0,2	2,6	1,5									
2 a 3	2,0	4,3	0,8									1,4
3 a 4	9,3	10,2	2,0								0,8	7,6
4 a 5	109	14,5	3,1	0,2	0,7						1,2	7,9
5 a 6	27,7	20,4	5,9	1,9	1,1						3,5	11,4
6 a 7	52,9	36,0	17,8	7,3	0,7						11,5	24,1
7 a 8	77,5	46,2	24,8	10,3	3,6					1,0	18,7	48,2
8 a 9	99,9	72,5	33,0	18,5	4,2					6,5	34,7	70,6
9 a 10	99,6	89,7	72,8	36,5	6,5					13,1	35,3	86,8
10 a 11	96,8	94,9	109,0	72,7	11,4					8,2	46,8	106,4
11 a 12	93,9	79,5	119,4	79,2	12,7	2,8				13,3	70,5	104,7
12 a 13	77,5	58,0	99,9	92,4	27,4	4,7			1,7	19,8	101,2	81,6
13 a 14	44,5	47,8	71,3	87,4	43,7	7,7			3,8	35,9	99,3	64,4
14 a 15	23,9	29,5	52,7	83,1	65,1	15,0	1,0		5,5	59,3	87,3	44,8
15 a 16	14,4	25,8	38,0	61,6	84,3	32,1	2,6		13,0	83,6	78,8	34,6
16 a 17	7,3	12,8	31,3	51,5	78,3	42,7	6,1	0,8	25,4	104,6	48,5	19,1
17 a 18	3,5	9,3	24,5	42,3	77,4	63,0	15,4	4,6	41,5	1 17,1	36,2	15,3
18 a 19	1,1	5,2	15,7	28,7	67,8	79,2	24,1	5,7	51,8	100,1	18,8	9,3
19 a 20	0,2	5,6	8,0	22,4	68,5	87,7	28,7	14,7	68,2	63,0	13,5	4,8
20 a 21	0,9	3,5	5,7	10,3	57,3	72,4	37,4	21,4	97,3	53,6	9,2	0,7
21 a 22		1,3	3,1	6,0	45,7	79,2	64,0	38,8	108,0	27,3	2,2	0,5
22 a 23		0,4	1,6	4,5	32,8	55,8	71,7	75,6	104,1	16,7	1,2	
23 a 24			1,0	1,8	21,9	48,5	85,6	120,2	64,8	12,6	0,2	
24 a 25			0,3	1,1	16,9	42,9	99,4	111,2	47,6	5,7	0,5	
25 a 26			0,2	0,3	7,8	34,5	69,2	85,0	39,4	1,6	0,2	
26 a 27			0,3		5,1	20,2	55,3	67,0	23,9	0,8		
27 a 28			0,3		2,0	12,9	53,5	58,2	17,4			
28 a 29			0,2		1,1	10,1	51,8	56,1	5,5			
29 a 30						6,3	36,6	37,3	0,8			
30 a 31												

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6												
-6 a -5												
-5 a -4												
-4 a -3												
-3 a -2												
-2 a -1												
- 1 a 0		0,2										
0 a 1		1,9										
1 a 2	0,2	2,6	1,5									
2 a 3	2,0	4,3	0,8									1,4
3 a 4	9,3	10,2	2,0								0,8	7,6
4 a 5	109	14,5	3,1	0,2	0,7						1,2	7,9
5 a 6	27,7	20,4	5,9	1,9	1,1						3,5	11,4
6 a 7	52,9	36,0	17,8	7,3	0,7						11,5	24,1
7 a 8	77,5	46,2	24,8	10,3	3,6					1,0	18,7	48,2
8 a 9	99,9	72,5	33,0	18,5	4,2					6,5	34,7	70,6
9 a 10	99,6	89,7	72,8	36,5	6,5					13,1	35,3	86,8
10 a 11	96,8	94,9	109,0	72,7	11,4					8,2	46,8	106,4
11 a 12	93,9	79,5	119,4	79,2	12,7	2,8				13,3	70,5	104,7
12 a 13	77,5	58,0	99,9	92,4	27,4	4,7			1,7	19,8	101,2	81,6
13 a 14	44,5	47,8	71,3	87,4	43,7	7,7			3,8	35,9	99,3	64,4
14 a 15	23,9	29,5	52,7	83,1	65,1	15,0	1,0		5,5	59,3	87,3	44,8
15 a 16	14,4	25,8	38,0	61,6	84,3	32,1	2,6		13,0	83,6	78,8	34,6
16 a 17	7,3	12,8	31,3	51,5	78,3	42,7	6,1	0,8	25,4	104,6	48,5	19,1
17 a 18	3,5	9,3	24,5	42,3	77,4	63,0	15,4	4,6	41,5	1 17,1	36,2	15,3
18 a 19	1,1	5,2	15,7	28,7	67,8	79,2	24,1	5,7	51,8	100,1	18,8	9,3
19 a 20	0,2	5,6	8,0	22,4	68,5	87,7	28,7	14,7	68,2	63,0	13,5	4,8
20 a 21	0,9	3,5	5,7	10,3	57,3	72,4	37,4	21,4	97,3	53,6	9,2	0,7
21 a 22		1,3	3,1	6,0	45,7	79,2	64,0	38,8	108,0	27,3	2,2	0,5
22 a 23		0,4	1,6	4,5	32,8	55,8	71,7	75,6	104,1	16,7	1,2	
23 a 24			1,0	1,8	21,9	48,5	85,6	120,2	64,8	12,6	0,2	
24 a 25			0,3	1,1	16,9	42,9	99,4	111,2	47,6	5,7	0,5	
25 a 26			0,2	0,3	7,8	34,5	69,2	85,0	39,4	1,6	0,2	
26 a 27			0,3		5,1	20,2	55,3	67,0	23,9	0,8		
27 a 28			0,3		2,0	12,9	53,5	58,2	17,4			
28 a 29			0,2		1,1	10,1	51,8	56,1	5,5			
29 a 30						6,3	36,6	37,3	0,8			
30 a 31						1,6	26,4	26,6	0,2			
31 a 32						0,7	12,3	13,2				
32 a 33							2,8	4,8				
33 a 34								1,9				
34 a 35								0,6				
35 a 36								0,2				
36 a 37												
37 a 38												
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14 a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6												
-6 a -5	1,3											
-5 a -4	1,7	1,3									1,0	
-4 a -3	2,3	1,6									1,7	
-3 a -2	9,3	3,0									4,3	
-2 a -1	12,0	6,3	4,3								1,0	3,0
-1 a 0	21,0	10,2	3,0	0,7							3,3	18,7
0 a 1	15,7	7,9	10,0	2,0							10,0	12,7
1 a 2	21,0	19,4	14,0	5,7							7,7	18,0
2 a 3	16,0	23,7	19,7	3,7							14,0	22,7
3 a 4	22,3	32,3	20,7	7,0	0,3					1,0	17,3	31,0
4 a 5	35,0	43,8	22,0	6,3	2,3					4,0	18,7	42,3
5 a 6	48,0	40,5	22,3	16,3	3,0				0,7	6,3	25,7	47,3
6 a 7	37,0	44,8	31,0	29,3	5,7				2,3	9,0	31,7	63,3
7 a 8	38,3	50,7	38,3	29,7	7,3				2,7	15,0	32,3	79,3
8 a 9	46,7	44,8	39,3	29,7	12,7				5,0	24,7	39,3	60,7
9 a 10	60,3	42,5	55,0	40,7	14,7				5,0	34,7	59,0	63,0
10 a 11	73,0	39,5	44,3	51,3	24,3	3,0	0,6	0,7	10,3	46,3	57,0	64,7
11 a 12	59,0	43,8	39,7	57,7	23,3	4,0	0,6	1,7	14,0	45,0	56,3	47,3
12 a 13	60,0	38,5	60,7	57,7	32,0	10,0	1,4	1,7	22,3	47,3	55,0	41,0
13 a 14	45,3	37,6	51,7	41,3	43,7	18,7	3,4	2,7	33,7	54,0	54,3	38,7
14 a 15	43,0	33,6	52,7	47,3	48,0	28,3	5,5	3,7	49,0	61,0	56,0	31,0
15 a 16	21,3	30,6	40,0	49,3	48,7	31,7	11,5	6,7	41,3	53,0	37,3	21,3
16 a 17	23,7	22,1	30,3	40,0	55,3	35,7	14,1	14,3	47,3	55,0	39,0	13,3
17 a 18	11,0	16,8	29,0	34,3	51,7	43,3	18,9	16,7	46,3	43,3	28,0	11,7
18 a 19	9,7	13,5	30,7	37,3	58,0	45,0	25,5	26,0	46,0	41,7	22,3	6,3
19 a 20	4,7	12,5	21,7	34,0	54,7	51,7	31,9	27,3	49,3	39,7	20,0	3,0
20 a 21	3,3	3,3	20,0	27,0	50,3	49,7	45,1	39,7	43,3	37,0	11,0	3,7
21 a 22	2,0	5,3	19,3	25,3	42,7	51,7	40,8	51,0	42,0	35,3	7,3	
22 a 23		1,0	11,7	13,7	39,7	41,7	46,2	53,3	46,0	24,7	5,0	
23 a 24		1,0	7,3	10,7	35,3	42,0	59,4	52,0	44,7	27,3	1,7	
24 a 25			2,3	9,7	30,3	44,7	48,5	55,7	36,3	16,0	1,3	
25 a 26			2,0	7,7	20,3	34,7	51,4	63,7	28,3	13,3	0,7	
26 a 27			0,7	2,7	13,7	39,3	44,5	55,3	27,0	3,7	0,7	
27 a 28			0,3	2,0	10,0	41,3	44,5	47,0	28,3	3,3		
28 a 29					8,3	29,3	41,6	43,3	18,7	1,0		
29 a 30					6,0	30,7	53,4	46,0	15,0	0,7		
30 a 31					1,3	19,0	50,2	39,3	9,3	0,7		
31 a 32						11,3	37,6	40,0	3,0			
32 a 33					0,3	7,7	32,4	24,0	2,3			
33 a 34						3,3	17,8	14,0				
34 a 35						1,7	11,8	11,3	0,3			
35 a 36						0,7	2,0	2,7				
36 a 37							1,4	2,0				
37 a 38							0,6	1,7				
38 a 39							0,6	0,3				
39 a 40							0,6	0,3				
40 a 41												
41 a 42							0,3					

Taula A - 8 Hores
temperatura de Benis-
sanet.

Taula A - 9 Hores temperatura de Cabanes

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6												
-6 a -5		0,2										
-5 a -4	1,4	0,4										
-4 a -3	2,4	0,2										
-3 a -2	4,2	1,0										0,8
-2 a -1	10,8	2,4	0,8									5,0
-1 a 0	15,8	4,9	3,0								1,4	8,0
0 a 1	24,8	11,2	7,4								3,4	15,4
1 a 2	33,4	19,7	5,6	0,8							5,6	18,4
2 a 3	39,8	26,2	15,2	2,2							7,4	25,4
3 a 4	41,4	32,5	18,2	4,0	0,2						12,8	31,4
4 a 5	47,6	35,7	25,2	8,6	0,4						14,2	39,0
5 a 6	55,2	45,7	32,6	17,4	0,6				0,2	2,2	17,8	44,8
6 a 7	46,4	51,1	44,2	21,6	0,4				0,6	11,0	27,4	53,0
7 a 8	53,6	57,2	46,8	28,4	4,6				1,4	16,0	35,4	55,4
8 a 9	49,4	63,5	50,6	37,0	11,9				1,4	23,2	49,8	64,2
9 a 10	52,0	64,5	63,4	58,8	16,5	1,6		0,4	3,4	28,0	48,4	68,8
10 a 11	60,2	52,6	55,4	51,6	26,2	2,8		1,2	6,6	34,8	52,2	69,2
11 a 12	54,4	47,3	56,4	59,2	30,6	4,4		1,0	15,6	46,0	63,8	62,6
12 a 13	48,6	36,3	62,0	64,8	45,9	13,9	1,0	1,2	17,4	52,2	68,8	52,6
13 a 14	38,0	38,1	52,4	57,2	51,7	22,4	1,8	0,8	28,6	66,0	58,0	39,0
14 a 15	28,8	30,6	49,2	60,0	60,0	34,8	5,7	1,2	37,4	59,8	62,4	32,4
15 a 16	14,2	21,5	40,8	46,0	64,0	51,2	16,8	5,2	46,8	76,6	50,8	22,6
16 a 17	11,2	11,2	30,0	43,4	62,6	54,5	24,3	13,3	71,4	59,0	43,0	17,2
17 a 18	7,0	8,9	26,0	34,8	58,0	59,6	36,8	27,2	71,2	56,4	30,2	10,8
18 a 19	2,4	5,9	18,2	30,8	50,4	58,0	42,2	37,0	55,2	57,2	24,0	5,0
19 a 20	1,0	1,8	16,8	24,2	48,5	54,9	48,8	48,5	56,4	48,4	17,4	1,2
20 a 21		0,4	9,8	25,4	45,7	50,1	60,7	66,8	54,2	36,0	13,2	1,6
21 a 22		0,8	8,2	18,6	37,2	45,9	58,2	69,6	53,4	26,4	8,2	0,2
22 a 23		0,2	3,4	11,0	36,4	40,9	50,7	53,9	44,8	19,8	2,2	
23 a 24			1,8	6,4	26,0	39,2	48,8	59,6	32,8	11,2	0,4	
24 a 25			0,6	3,8	23,1	42,7	54,2	64,2	29,4	6,4	1,2	
25 a 26				2,8	14,1	37,1	45,7	55,2	25,0	3,4	0,4	
26 a 27				0,8	10,5	34,2	50,2	47,5	18,0	2,6	0,2	
27 a 28				0,4	7,4	24,4	52,3	42,5	16,0	1,4		
28 a 29					4,4	19,9	41,7	47,9	10,6			
29 a 30					0,6	10,4	35,3	42,9	7,4			
30 a 31						7,8	23,7	26,4	6,0			
31 a 32						2,8	17,8	13,7	5,0			
32 a 33						2,8	13,0	9,9	2,6			
33 a 34						1,8	7,2	2,6	0,5			
34 a 35						1,2	3,7	2,0	0,4			
35 a 36							1,8	1,8				
36 a 37							1,2	0,4				
37 a 38							0,5					
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6	0,5											
-6 a -5	3,7	1,5										
-5 a -4	8,0	2,3										0,3
-4 a -3	17,9	5,3										4,0
-3 a -2	28,0	8,8	0,8								2,0	6,5
-2 a -1	30,5	12,4	7,4	0,3							3,6	10,0
- 1 a 0	31,0	21,3	14,3	0,6							3,1	18,5
0 a 1	35,4	28,0	14,8	2,1							7,6	20,8
1 a 2	38,8	37,3	19,8	3,5							7,1	21,0
2 a 3	39,5	45,5	21,9	4,7						2,0	14,2	27,0
3 a 4	41,8	49,5	31,6	15,9	0,6					4,2	18,3	41,8
4 a 5	52,8	54,5	40,1	27,1	0,6					6,8	23,4	53,0
5 a 6	48,5	50,7	55,9	40,0	3,3				1,3	8,7	30,3	71,3
6 a 7	51,2	52,4	50,4	45,9	5,7				1,6	13,8	50,1	68,8
7 a 8	51,4	50,1	53,8	44,7	16,0				3,4	22,5	48,3	71 ,0
8 a 9	56,9	45,9	55,9	48,5	19,9	0,5			6,3	30,2	59,7	68,3
9 a 10	58,1	44,4	56,3	44,7	28,9	3,9			6,8	36,1	57,7	58,5
10 a 11	50,1	30,7	50,8	46,2	41,5	12,3	0,8	0,3	13,8	46,8	61,3	47,3
11 a 12	36,5	31,2	43,2	47,6	40,2	16,5	1,1	2,3	28,2	60,3	64,6	46,3
12 a 13	23,4	28,2	38,0	42,1	43,7	25,1	6,1	3,3	32,9	60,6	623	33,5
13 a 14	13,1	21,9	34,2	43,5	51,1	37,1	7,0	2,0	29,5	69,3	41,7	27,5
14 a 15	13,1	20,2	28,0	38,2	51,7	36,1	12,0	4,1	38,3	59,7	42,7	19,5
15 a 16	6,7	17,3	22,6	29,4	52,8	42,3	20,1	9,1	52,7	59,2	35,8	10,3
16 a 17	3,9	4,4	23,2	31,8	47,4	42,5	31,8	22,6	51,9	51,0	27,2	7,0
17 a 18	1,1	2,7	17,9	27,6	38,0	47,7	35,5	33,5	56,6	46,5	24,9	6,0
18 a 19	1,8	2,7	17,9	26,2	33,7	44,0	46,6	37,1	57,1	37,5	13,7	4,3
19 a 20	0,2	1,5	13,5	28,2	39,0	44,5	50,3	53,1	57,9	29,9	7,9	1,8
20 a 21		0,8	12,4	23,2	32,6	44,5	51,7	65,8	54,0	25,1	5,6	0,3
21 a 22		0,4	8,9	19,1	35,5	34,4	51,7	56,9	45,9	20,0	4,1	
22 a 23			5,1	11,8	37,4	32,5	45,2	55,6	35,5	15,2	0,5	
23 a 24			1,9	11,5	27,7	32,5	37,7	51,8	31,6	14,4	2,3	
24 a 25			1,5	11,8	26,9	31,2	34,1	44,0	25,8	7,9		
25 a 26			1,7	3,2	22,8	26,3	30,4	39,6	27,7	9,0		
26 a 27			0,2	0,6	17,2	33,9	31,0	30,5	25,3	2,3		
27 a 28					12,5	24,1	33,0	37,1	17,0	3,1		
28 a 29					5,0	24,1	25,7	38,4	11,2	1,4		
29 a 30					4,9	25,1	34,9	31,5	5,2	0,6		
30 a 31					2,7	18,2	30,7	30,7	1,3			
31 a 32					1,0	15,5	34,6	31,5	1,0			
32 a 33					0,4	11,8	38,3	22,6	0,3			
33 a 34						6,6	24,0	17,0				
34 a 35						3,4	14,8	15,0				
35 a 36						2,0	10,3	4,3				
36 a 37						1,2	2,8	2,8				
37 a 38							0,6	1,0				
38 a 39							0,6	0,3				
39 a 40							0,6					
40 a 41												
41 a 42												

Taula A - 10 Hores
temperatura de
Igualada.

Taula A - 11 Hores
temperatura de Lleida
(Emeca).

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7	0,2											
-7 a -6	1,0											0,2
-6 a -5	2,9	0,7										1,2
-5 a -4	5,2	1,3										2,8
-4 a -3	7,1	2,1									0,2	6,8
-3 a - 2	13,8	7,4									3,1	17,8
-2 a -1	21,9	13,5	2,5	0,2							7,2	20,3
- 1 a 0	38,6	27,8	4,3	0,6						0,9	8,0	27,7
0 a 1	45,3	28,7	7,6	1,6						2,9	15,9	28,2
1 a 2	64,0	32,1	14,4	4,0	0,3					3,8	21,0	39,2
2 a 3	70,8	33,3	15,1	6,2	0,4					3,1	19,4	49,0
3 a 4	57,1	36,7	24,2	11,3	0,6				0,7	5,0	31,2	45,3
4 a 5	58,1	58,1	45,3	31,8	17,6	1,7				1,0	9,8	41,4
5 a 6	50,9	53,0	34,8	27,5	4,0				2,2	14,1	43,1	66,3
6 a 7	38,8	57,8	44,4	30,2	6,1				1,0	15,3	51,5	61,0
7 a 8	51,2	50,7	49,6	41,0	9,4	0,6			3,7	30,7	61,4	68,7
8 a 9	49,9	52,2	55,0	47,9	19,3	1,4	0,1	0,3	4,9	37,2	74,3	64,7
9 a 10	41,6	40,2	58,9	46,5	24,1	4,0	0,3	0,5	9,6	47,5	67,0	52,5
10 a 11	33,5	36,6	58,7	50,2	32,6	6,7	0,9	1,7	13,8	45,5	48,1	47,8
11 a 12	31,2	31,6	52,7	49,1	38,4	14,0	2,2	2,1	13,1	59,9	44,3	28,7
12 a 13	23,6	32,9	46,7	43,5	41,1	19,0	7	4,8	3,3	24,1	56,7	45,7
13 a 14	14,3	30,6	42,8	48,0	47,1	22,3	6,7	5,3	34,0	59,6	35,1	12,2
14 a 15	11,0	17,1	37,1	41,3	48,9	32,3	8,8	7,0	36,9	58,6	31,9	11,2
15 a 16	5,9	16,8	34,1	42,0	54,2	39,1	1 4,2	10,4	40,8	54,6	25,2	6,5
16 a 17	3,2	6,9	26,0	37,2	50,0	50,9	19,9	19,9	53,3	51,0	14,5	2,8
17 a 18	1,5	6,6	25,7	31,7	41,1	52,4	32,6	26,5	57,1	40,0	9,2	1,2
18 a 19	1,0	4,8	18,9	28,4	42,2	48,0	39,3	45,6	59,5	29,3	8,9	0,2
19 a 20	0,5	3,8	19,1	25,0	39,7	46,6	55,4	53,1	56,1	30,7	5,8	
20 a 21		1,3	16,9	22,2	34,6	45,1	52,5	59,6	49,4	22,0	3,4	
21 a 22			10,1	17,6	35,9	38,4	51 ,6	58,4	39,1	19,8	2,0	
22 a 23			6,5	13,1	34,7	38,6	45,8	48,6	34,6	15,7	0,3	
23 a 24			3,8	12,3	33,3	37,4	37,4	45,9	27,1	12,4	0,3	
24 a 25			1,3	9,8	29,8	35,6	40,1	42,1	27,6	9,3	0,3	
25 a 26			0,8	4,8	21,3	34,7	37,7	36,1	29,0	4,3	0,3	0,:1
26 a 27				3,9	17,6	31,9	34,4	32,7	24,3	2,4		
27 a 28				3,0	15,1	31,6	37,1	34,3	25,1	1,4		
28 a 29				2,2	8,8	21,6	30,7	35,1	20,2	0,7		
29 a 30				0,2	5,5	17,3	34,1	34,8	17,7			
30 a 31					3,5	16,1	33,2	32,5	8,6			
31 a 32					1,9	12,9	30,0	30,1	3,4			
32 a 33					0,3	9,1	29,4	27,2	2,0			
33 a 34					0,4	6,9	25,0	21,1				
34 a 35						4,0	19,7	13,4				
35 a 36						1,3	11,7	10,1				
36 a 37						0,1	5,4	4,8				
37 a 38						0,1	2,6	1,4				
38 a 39							0,3					
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6	0,2											
-6 a -5	4,4	2,0										
-5 a -4	9,7	4,2										2,5
-4 a -3	22,6	6,8									0,3	2,5
-3 a -2	37,4	13,4	2,4								4,0	9,2
-2 a -1	36,3	20,7	12,0								4,6	18,2
-1 a 0	43,5	29,8	11,8	1,5							6	29,3
0 a 1	44,4	35,3	17,4	3,5						0,3	11,6	28,5
1 a 2	48,4	36,4	16,4	5,8	0,4					2,8	17,8	38,3
2 a 3	44,4	47,4	27,0	10,6	0,2					4,7	26,0	42,5
3 a 4	44,9	43,2	28,8	17,9	0,6					5,3	22,3	45,5
4 a 5	42,0	51,6	42,8	25,3	0,4					9,2	39,2	57,0
5 a 6	47,9	45,4	49,8	34,7	2,4				2,6	13,1	40,7	65,6
6 a 7	47,7	47,0	50,2	41,0	3,8	0,4			2,3	19,3	55,7	62,6
7 a 8	47,9	52,3	58,2	46,6	13,7	0,8			5,8	29,9	55,4	56,4
8 a 9	47,9	40,8	52,2	55,9	23,1	1,4			4,8	32,4	58,2	68,4
9 a 10	39,4	41,0	47,0	46,4	33,1	4,4			7,1	43,6	56,9	58,1
10 a 11	39,4	33,7	46,8	41,9	37,0	14,5	1,0		14,8	50,0	62,4	36,3
11 a 12	25,1	28,7	48,2	47,5	44,3	17,9	2,7	3,2	32,3	57,8	53,9	32,1
12 a 13	21,8	24,3	38,4	40,8	55,4	25,2	8,1	2,8	30,6	63,7	50,8	25,1
13 a 14	15,6	24,5	34,6	42,5	52,8	43,9	8,1	4,1	27,4	61,4	42,2	21,5
14 a 15	11,7	13,4	27,8	37,1	51,3	44,1	13,5	7,9	42,6	70,7	30,0	15,1
15 a 16	7,7	10,4	26,0	36,0	47,9	49,3	22,2	20,2	46,1	70,7	23,9	12,0
16 a 17	6,2	8,6	22,0	29,4	37,4	49,1	25,3	25,0	57,4	47,2	21,1	6,1
17 a 18	3,1	5,3	16,8	25,5	39,6	49,1	34,7	36,7	58,7	39,1	13,8	4,5
18 a 19	2,2	3,1	16,8	27,8	40,0	39,1	52,6	49,0	53,9	37,4	9,8	1,7
19 a 20	1,3	2,0	14,8	17,3	34,2	40,9	44,1	56,9	54,5	22,9	7,7	3,4
20 a 21	0,2	0,4	10,8	21,0	34,8	37,2	51,0	58,2	47,7	18,7	2,4	0,6
21 a 22	0,9	0,4	11,2	18,1	35,7	37,9	50,2	50,0	40,0	13,4	1,8	0,3
22 a 23			7,0	12,7	36,1	36,0	39,1	52,2	33,2	9,8	2,1	0,6
23 a 24			3,6	12,1	26,1	30,8	48,2	45,6	33,5	9,2	0,6	0,3
24 a 25			0,8	7,6	23,1	33,2	35,0	42,1	30,6	6,4		
25 a 26			0,6	5,4	19,5	26,6	35,7	38,0	29,4	3,9		
26 a 27			0,8	3,9	16,9	26,6	33,7	36,1	20,6	0,8		
27 a 28			0,8	2,8	11,8	27,6	31,0	25,9	19,0	0,3		
28 a 29			0,2	0,6	10,3	21,9	30,7	33,2	11,6			
29 a 30				0,2	7,3	19,7	34,4	33,2	6,8			
30 a 31					3,0	18,1	32,0	25,9	2,6			
31 a 32					1,1	11,7	30,7	22,1	1,9			
32 a 33					0,4	5,2	23,9	24,4	1,6			
33 a 34					0,4	2,6	23,3	18,0	0,3			
34 a 35						2,4	13,5	15,8				
35 a 36						1,0	8,8	9,2				
36 a 37						0,2	6,1	4,1				
37 a 38						1,0	3,0	2,5				
38 a 39							0,3	1,6				
39 a 40							0,7					
40 a 41												
41 a 42												

Taula A - 10 Hores
temperatura de
Igualada.

Taula A - 13 Hores
temperatura de la
Molina.

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13		0,2										
-13 a -12		1,3										
-12 a -11		1,3										
-11 a -10	0,5	2,0										0,3
-10 a -9	0,9	4,9										1,3
-9 a -8	2,5	11,1	0,4									2,5
-8 a -7	10,7	11,8	3,6	0,2								5,5
-7 a -6	10,0	14,9	7,2	3,6							0,6	5,8
-6 a -5	21,4	32,0	19,4	8,6							2,6	12,9
-5 a -4	38,8	33,8	24,2	8,6						0,6	9,5	15,4
-4 a -3	42,2	30,4	27,4	11,6						2,8	11,4	26,2
-3 a - 2	47,6	49,8	30,6	17,4	1,7					10,5	15,8	36,5
-2 a -1	53,3	64,4	40,2	29,4	3,1					8,7	25,1	59,5
- 1 a 0	54,9	76,4	52,6	53,0	3,8	0,8			0,8	12,4	33,6	64,8
0 a 1	105,5	78,2	58,5	69,0	9,4	1,8			1,5	19,2	48,4	95,5
1 a 2	92,1	52,7	60,2	57,6	18,8	1,3	0,2	0,2	8,5	27,8	46,2	105,6
2 a 3	81,6	53,1	67,2	59,8	27,5	3,8	1,5	1,1	9,7	52,9	57,0	80,9
3 a 4	62,5	40,4	66,6	60,4	42,5	7,1	1,2	0,9	15,8	62,0	70,1	65,0
4 a 5	46,0	41,3	59,2	68,8	62,3	19,6	3,9	3,5	33,4	77,4	74,2	54,7
5 a 6	31,5	20,9	51,8	60,2	61,3	28,2	11,2	6,6	39,7	67,7	71,6	42,6
6 a 7	21,0	16,9	43,4	43,0	72,1	29,5	14,6	7,5	41,8	81,7	63,0	28,0
7 a 8	8,7	10,4	35,6	36,4	67,6	49,3	17,5	7,9	47,5	78,4	67,7	19,7
8 a 9	6,2	8,7	28,6	28,8	65,1	51,1	17,8	14,1	60,4	68,1	45,4	11,6
9 a 10	1,2	6,2	23,4	22,4	58,5	58,2	21,0	19,3	82,0	50,5	29,6	5,8
10 a 11	2,5	3,8	19,2	18,8	53,3	55,9	31,5	41,3	84,5	39,3	16,2	2,0
11 a 12	0,2	2,9	10,8	16,6	47,4	66,1	42,0	49,9	68,2	26,5	14,6	1,8
12 a 13	0,2	1,8	8,6	13,4	34,8	54,9	57,,1	61,1	46,1	21,1	7,5	0,3
13 a 14		0,2	3,6	10,2	31,3	55,7	65,2	66,0	40,4	14,0	5,5	
14 a 15			1,2	13,2	36,2	51,4	63,5	65,5	35,1	9,9	3,4	
15 a 16			0,2	6,8	19,9	36,6	65,7	60,9	33,8	6,7	0,8	
16 a 17				1,8	10,1	36,9	53,7	55,8	22,6	2,6		
17 a 18				0,4	6,6	39,7	56,4	53,2	20,9	2,4		
18 a 19					2,4	23,4	47,6	53,0	13,7	0,8		
19 a 20					3,1	21,6	48,6	49,0	7,8			
20 a 21					2,4	13,5	40,5	38,0	2,7			
21 a 22					0,3	6,1	37,6	33,6	2,5			
22 a 23					1,0	3,6	19,8	23,1	0,4			
23 a 24					1,0	1,5	12,7	15,6				
24 a 25						1,3	8,3	10,3				
25 a 26						0,5	3,4	4,8				
26 a 27						0,8	0,7	1,3				
27 a 28							0,2	0,2				
28 a 29												
29 a 30												
30 a 31												
31 a 32												
32 a 33												
33 a 34												
34 a 35												
35 a 36												
36 a 37												
37 a 38												
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Taula A - 14 Hores
temperatura de Naut
Aran (Arties).

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13	0,7											
-13 a -12	3,4											
-12 a -11	7,2											
-11 a -10	7,2	0,3									0,3	
-10 a -9	6,9	2,2									0,3	0,3
-9 a -8	5,5	8,0									1,5	1,2
-8 a -7	5,2	11,5	0,4	0,5							2,1	3,1
-7 a -6	11,4	11,1	3,4	0,5							3,3	5,3
-6 a -5	12,4	11,1	4,7	0,2							4,8	4,0
-5 a -4	20,3	12,1	7,3	1,2							7,3	11,2
-4 a -3	34,4	23,9	8,6	7,4						1,7	15,5	18,3
-3 a -2	51,3	46,5	17,7	20,9	1,4					5,2	20,6	35,3
-2 a -1	66,1	55,4	35,7	19,8	0,3					21,4	26,1	54,9
-1 a 0	68,2	76,7	45,6	46,5	2,5				1,3	16,9	26,7	86,8
0 a 1	106,4	72,9	56,8	63,7	5,5	0,3			2,1	30,7	39,7	93,9
1 a 2	69,6	57,0	55,1	48,4	13,0	1,6	0,5		4,2	25,8	42,1	84,9
2 a 3	54,8	59,5	66,3	44,7	13,3	1,0	2,2	0,6	15,8	33,8	47,0	70,1
3 a 4	49,6	36,3	57,7	49,1	25,2	8,9	1,6	0,6	13,8	36,2	60,0	56,4
4 a 5	38,2	36,0	60,3	50,0	30,4	11,2	2,7	1,2	21,3	42,0	67,0	48,0
5 a 6	35,8	33,1	43,9	56,5	32,7	21,1	7,1	2,4	33,8	55,1	56,4	46,5
6 a 7	31,7	25,5	44,8	48,1	46,8	33,5	6,0	4,2	40,0	52,0	58,5	45,6
7 a 8	20,3	15,0	36,6	34,7	51,2	48,5	8,2	5,1	55,0	70,6	46,7	29,1
8 a 9	14,8	14,6	23,3	31,9	55,9	63,8	19,0	10,8	57,5	66,5	47,3	17,0
9 a 10	11,0	15,0	20,7	26,0	58,7	56,5	28,8	11,7	64,2	54,8	37,3	14,6
10 a 11	4,8	10,8	18,1	27,0	62,0	55,9	34,3	18,7	58,8	50,3	26,4	9,3
11 a 12	3,8	9,9	28,0	25,1	49,5	50,7	35,4	39,1	50,0	40,0	19,1	3,1
12 a 13	2,1	12,7	24,5	24,4	41,2	56,5	51,7	56,0	49,2	28,9	16,4	3,4
13 a 14		6,0	16,8	18,6	37,4	46,0	55,5	64,4	39,2	24,5	14,2	1,2
14 a 15	0,3	3,5	14,6	11,4	29,1	45,0	52,8	60,5	39,6	19,3	7,6	0,3
15 a 16	0,3	2,5	9,9	14,4	27,4	34,8	51,7	65,3	29,2	13,4	9,4	
16 a 17		0,6	11,2	9,3	28,0	32,6	48,4	57,5	25,4	13,4	6,4	
17 a 18		1,3	9,9	11,2	28,8	23,3	40,2	49,1	22,9	13,4	4,5	
18 a 19		0,6	9,5	8,4	21,0	22,7	39,2	43,0	22,9	11,4	3,6	
19 a 20		0,3	5,6	6,5	18,5	21,7	33,7	33,4	22,9	6,2	1,5	
20 a 21		0,3	4,7	4,7	19,9	16,0	25,6	27,1	13,8	5,2	0,6	
21 a 22			1,7	4,7	14,9	14,7	21,2	26,8	15,4	3,1		
22 a 23			0,4	4,0	9,4	14,7	22,8	26,5	11,7	1,0		
23 a 24				0,5	6,6	11,2	20,7	20,8	6,3	1,4		
24 a 25					6,1	7,7	15,8	21,1	3,3			
25 a 26					2,8	7,0	21,8	18,7	0,8			
26 a 27					2,8	5,7	17,4	23,2				
27 a 28					0,6	3,5	16,3	14,1				
28 a 29					1,1	1,3	10,9	15,7				
29 a 30						0,6	14,1	9,0				
30 a 31						0,3	16,3	8,1				
31 a 32						1,0	8,7	3,3				
32 a 33						0,3	5,4	3,3				
33 a 34						0,3	6,0	1,5				
34 a 35						0,3	2,2	1,2				
35 a 36												
36 a 37												
37 a 38												
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Taula A - 15 Hores
temperatura dels Plans
de Sió (el Canós).

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7		0,1										
-7 a -6		0,5									0,6	0,7
-6 a -5	1,2	1,4									0,2	0,3
-5 a -4	6,9	1,3									0,8	1,9
-4 a -3	17,2	2,7	1,0								2,1	5,6
-3 a -2	14,5	5,7	0,8								3,5	13,2
-2 a -1	26,3	6,0	3,7	0,6							3,9	22,8
-1 a 0	37,0	13,4	5,1	2,1						0,2	6,3	32,5
0 a 1	41,9	22,4	9,3	3,8						0,3	11,0	39,6
1 a 2	59,7	29,5	13,7	7,8	0,4					0,5	16,9	43,0
2 a 3	60,3	40,3	19,3	13,1	1,6					4,5	20,2	39,6
3 a 4	62,1	48,2	23,7	22,3	1,9					4,1	24,2	49,2
4 a 5	60,7	62,1	33,4	27,1	2,8					4,3	29,4	52,5
5 a 6	55,5	62,1	42,9	36,9	6,5				0,5	6,6	30,2	64,6
6 a 7	50,3	64,3	55,4	44,5	11,4	0,4			0,7	7,1	34,5	72,3
7 a 8	64,1	61,9	66,3	49,4	13,6	1,0			1,8	11,7	54,4	62,0
8 a 9	58,7	53,1	69,4	61,0	23,0	3,2			3,0	18,1	56,1	53,3
9 a 10	39,9	54,5	64,9	54,8	31,8	5,4	0,1	0,2	6,0	38,6	70,3	57,0
10 a 11	38,6	41,5	60,7	56,6	39,1	13,4	1,0	0,3	10,2	53,8	74,4	51,5
11 a 12	21,4	31,1	57,4	52,6	41,5	16,9	1,4	1,8	16,7	66,1	76,3	28,3
12 a 13	12,9	22,3	44,1	49,5	53,9	27,8	3,8	2,4	25,5	66,1	70,8	17,0
13 a 14	8,8	14,6	39,3	49,9	55,0	36,8	7,0	3,4	31,8	75,9	48,5	14,1
14 a 15	3,2	11,3	28,1	36,9	54,9	36,6	9,7	4,4	35,5	69,9	32,3	9,8
15 a 16	1,7	7,9	28,8	31,8	51,8	45,8	13,3	6,9	52,7	66,1	23,1	6,5
16 a 17	1,1	5,5	21,2	29,5	43,4	49,4	21,7	15,7	69,2	63,5	13,9	2,4
17 a 18		4,5	21,4	22,7	41,0	51,8	28,2	27,8	65,3	54,1	9,4	2,0
18 a 19		2,4	16,1	16,4	41,3	49,6	39,1	42,0	66,7	39,2	4,4	1,6
19 a 20		1,3	7,7	13,6	37,4	47,7	47,4	56,7	62,0	26,5	1,9	0,4
20 a 21		0,3	5,6	9,9	36,5	45,6	59,3	61,7	53,7	21,9	0,3	0,1
21 a 22			3,1	9,6	35,6	41,2	57,4	64,1	42,8	18,6	0,3	0,1
22 a 23			0,9	7,1	27,5	35,5	50,7	60,7	35,0	12,9		
23 a 24			0,5	4,0	24,0	32,2	48,4	52,0	31,2	7,3		
24 a 25			0,3	2,3	21,6	34,6	44,3	48,1	27,0	4,0		
25 a 26				2,3	19,3	29,0	39,9	40,7	25,5	2,0		
26 a 27				0,9	10,1	26,5	37,7	38,1	19,0	0,2		
27 a 28				0,8	8,5	22,5	35,4	39,7	17,8			
28 a 29					3,5	21,8	33,3	34,6	11,0			
29 a 30					1,6	15,9	33,9	29,5	5,3			
30 a 31					1,0	11,9	35,3	30,0	4,0			
31 a 32					0,1	10,0	28,2	26,2	0,2			
32 a 33					0,1	3,6	25,4	20,3				
33 a 34					0,5	1,7	18,4	16,5				
34 a 35						1,2	13,0	9,7				
35 a 36						0,7	6,9	5,7				
36 a 37						0,3	2,2	3,4				
37 a 38							0,9	1,5				
38 a 39							0,4	0,1				
39 a 40							0,1					
40 a 41												
41 a 42												

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6												
-6 a -5												
-5 a -4												
-4 a -3											0,4	0,9
-3 a -2	1,5	0,3									0,5	1,0
-2 a -1	6,1	0,9									1,1	1,2
- 1 a 0	10,8	2,5									2,0	8
0 a 1	20,7	4,5									3,1	11,4
1 a 2	23,1	7,0	3,1	0,2							2,7	13,8
2 a 3	23,5	10,4	5,1	0,5							2,5	13,9
3 a 4	29,2	17,3	6,4	0,6						0,2	5,3	18,3
4 a 5	32,8	27,7	8,4	1,7						0,5	8,7	25,5
5 a 6	38,2	41,8	16,8	5,1	0,8					1,1	10,5	29,6
6 a 7	37,1	44,6	27,5	10,1	0,6					0,9	11,5	42,2
7 a 8	44,6	58,3	41,9	22,9	5,5					0,5	18,7	44,6
8 a 9	55,8	72,6	56,3	39,8	9,1					4,1	28,9	56,7
9 a 10	63,5	76,2	67,3	49,7	11,0	0,2			0,5	7,4	36,0	64,6
10 a 11	61,2	56,9	74,2	56,5	17,3	0,5			1,4	9,2	45,3	85,3
11 a 12	70,0	56,8	74,2	61,3	27,4	1,8			2,0	20,2	68,0	77,3
12 a 13	70,0	48,1	81,9	69,0	37,3	8,9			5,4	27,8	74,7	69,2
13 a 14	51,8	44,8	74,8	75,2	51,2	14,8	0,1		8,3	40,0	79,1	56,7
14 a 15	42,8	32,0	56,0	63,0	49,8	18,5	1,5		18,5	58,3	65,8	5,1
15 a 16	23,3	26,3	48,1	63,5	57,2	32,6	3,6		25,6	73,0	66,0	32,4
16 a 17	15,9	15,6	39,4	54,9	69,8	46,8	6,6	0,4	33,7	76,2	51,3	20,0
17 a 18	12,0	10,0	21,5	46,7	74,4	57,1	14,2	2,7	48,3	74,6	49,3	15,2
18 a 19	5,9	7,9	15,7	33,3	77,4	73,0	22,5	8,2	59,8	80,1	36,5	8,4
19 a 20	3,0	3,1	9,8	28,6	70,7	73,8	32,5	18,5	67,3	65,9	23,1	3,8
20 a 21	0,5	3,6	8,4	17,1	59,1	74,4	52,5	32,4	71,5	59,7	14,5	1,2
21 a 22	0,7	2,2	3,6	8,7	48,3	61,8	64,4	51,9	72,9	59,2	9,6	1,0
22 a 23	0,2	0,5	2,0	6,0	32,1	55,2	71,4	69,0	82,5	43,0	2,7	
23 a 24			0,9	2,1	21,9	54,4	73,8	82,1	63,2	21,1	0,9	
24 a 25			0,5	1,3	11,4	42,6	65,3	76,8	55,4	13,8	0,2	
25 a 26				0,9	7,8	37,9	69,5	72,7	36,9	4,8		
26 a 27				0,8	2,1	28,0	66,3	73,3	79,3	1,4	0,9	
27 a 28					0,4	22,9	59,2	74,3	18,6	0,9		
28 a 29					1,3	10,0	58,0	66,5	11,2	0,2		
29 a 30						4,4	43,2	57,5	4,4			
30 a 31						0,5	25,6	30,8	1,9			
31 a 32							8,9	16,0	1,2			
32 a 33							3,3	6,6				
33 a 34							1,8	3,1				
34 a 35								1,2				
35 a 36												
36 a 37												
37 a 38												
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Taula A - 16 Hores
temperatura de Reus
(Aeroport).

Estrat T"	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6												
-6 a -5	0,3											
-5 a -4	0,6											
-4 a -3	2,0	0,6										0,3
-3 a - 2	4,5	0,7										1,9
-2 a -1	10,8	3,6										5,0
- 1 a 0	17,9	4,4	1,1								2,1	10,8
0 a 1	25,9	11,4	5,3								5,3	18,4
1 a 2	31,6	17,6	6,3	0,4						0,3	8,9	20,7
2 a 3	38,8	20,6	9,3	1,1						0,4	9,7	27,7
3 a 4	36,9	31,0	12,1	3,1						0,6	11,0	28,1
4 a 5	44,4	35,7	20,-t	8,6	0,4					1,0	17,9	40,3
5 a 6	49,2	46,5	29,4	15,4	1,1					1,9	20,1	43,9
6 a 7	49,5	50,5	28,3	23,9	2,7				0,1	5,8	30,7	61,4
7 a 8	54,9	61,0	45,6	27,7	5,2				0,4	13,4	38,6	50,8
8 a 9	56,0	61,9	56,7	40,3	9,5				1,9	19,0	50,6	54,8
9 a 10	63,8	60,4	54,3	56,9	18,0	0,9			2,6	30,4	51,7	69,6
10 a 11	59,1	62,2	75,7	64,4	30,5	3,2	0,3	0,6	3,9	35,9	60,7	73,8
11 a 12	55,1	55,0	72,3	70,3	35,7	6,7		1,0	10,4	45,9	62,7	63,4
12 a 13	56,3	49,5	74,1	66,6	43,1	15,8	1,6	0,5	18,7	55,2	70,9	51,4
13 a 14	40,0	40,1	68,6	63,6	50,1	25,0	2,7	1,7	28,7	61,3	63,6	42,5
14 a 15	23,8	25,2	54,1	64,3	60,4	40,9	7,1	3,5	39,0	63,8	65,1	29,6
15 a 16	12,5	15,0	40,1	60,1	70,6	53,7	16,2	7,8	50,6	64,8	47,3	19,4
16 a 17	5,9	9,6	31,9	44,7	68,8	62,9	24,1	14,6	62,3	74,3	37,7	11,9
17 a 18	3,0	5,9	22,3	30,6	67,3	63,2	39,2	26,2	68,7	66,6	25,4	7,8
18 a 19	1,1	2,1	15,9	26,9	65,5	65,8	50,3	44,7	63,9	55,4	17,1	4,3
19 a 20	0,2	0,6	11,1	19,6	54,8	60,8	64,9	56,1	57,2	47,1	12,3	2,2
20 a 21		0,4	4,4	14,1	52,9	54,2	64,2	73,9	58,7	39,7	5,9	2,0
21 a 22		0,3	2,3	12,6	35,3	57,2	61,9	71,5	63,3	27,5	3,1	1,4
22 a 23			1,1	2,6	26,4	53,7	58,6	66,8	55,4	13,7	1,4	0,4
23 a 24			0,4	0,7	18,8	49,6	62,3	66,1	41,9	10,5	0,1	0,3
24 a 25			0,4	0,7	10,4	34,0	55,3	64,5	35,4	5,0		
25 a 26			0,1	0,4	7,4	29,7	63,9	62,3	22,9	1,9		
26 a 27			0,1	0,4	5,1	18,6	68,4	59,8	13,9	2,4		
27 a 28					2,1	11,8	44,2	52,5	7,1	0,3	</	

Taula A - 18 Hores
temperatura de Sarrià
de Ter

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6	1,9											
-6 a -5	1,9	1,5										
-5 a -4	5,8	1,0										1,1
-4 a -3	9,1	2,9										7,2
-3 a -2	16,5	3,9	0,7									11,8
-2 a -1	18,9	9,8	3,5								1,0	12,3
- 1 a 0	32,6	16,5	8,0	0,2							4,7	20,1
0 a 1	36,8	19,9	15,0	1,0							7,3	19,3
1 a 2	38,4	25,5	15,2	3,9						0,6	12,0	24,4
2 a 3	35,7	32,2	21,5	8,1	0,7					0,6	17,2	32,4
3 a 4	46,9	41,5	33,6	14,3	02					1,1	20,1	34,4
4 a 5	40,9	40,0	39,7	25,3	0,5				0,6	3,9	21,4	47,9
5 a 6	34,0	41,3	42,7	27,5	1,9				1,1	8,4	32,3	41,0
6 a 7	45,0	49,4	45,1	42,5	3,1				2,8	9,8	46,7	54,3
7 a 8	37,3	52,1	51,4	42,0	11,9	0,5			3,9	20,1	40,7	5,0
8 a 9	43,9	51,6	59,0	49,2	13,6	1,8		0,6	3,9	22,9	51,1	58,6
9 a 10	54,0	54,5	56,8	46,7	20,0	3,9		1,6	11,1	36,0	53,5	53,1
10 a 11	57,9	44,2	50,9	40,6	26,5	8,5		1,6	13,1	37,1	65,7	50,2
11 a 12	45,5	37,1	49,9	47,2	37,2	11,9	0,9	2,2	25,0	55,9	48,5	45,6
12 a 13	37,6	29,2	39,0	49,9	42,9	26,4	2,7	2,2	41,9	56,1	45,1	37,9
13 a 14	24,4	22,6	40,1	41,8	52,7	36,5	8,3	4,7	38,6	54,5	49,0	29,3
14 a 15	23,6	24,1	32,3	41,6	60,3	39,1	11,8	5,3	42,2	67,3	45,7	29,6
15 a 16	17,8	24,6	26,9	39,3	54,6	43,1	18,0	12,8	55,8	71,8	35,2	21,8
16 a 17	15,1	14,2	22,3	32,2	47,5	60,0	27,5	14,7	53,3	62,8	26,9	20,7
17 a 18	10,4	13,5	21,0	29,5	46,7	50,9	37,2	31,9	47,2	50,0	23,7	14,4
18 a 19	7,1	8,6	16,9	27,3	41,3	48,9	57,3	49,2	50,3	41,1	21,4	6,9
19 a 20	3,6	6,1	17,8	26,6	41,3	41,1	63,2	58,6	47,2	35,2	16,2	7,2
20 a 21	1,4	0,2	12,4	23,1	44,1	42,7	53,1	64,5	40,0	28,8	12,8	1,4
21 a 22		2,2	10,4	16,7	40,8	34,4	41,4	53,5	43,9	24,6	9,4	2,3
22 a 23		0,7	5,0	16,0	34,8	30,0	40,7	48,5	41,7	20,4	7,6	0,3
23 a 24		0,5	2,2	13,3	37,7	37,0	43,1	44,5	36,4	11,2	1,8	
24 a 25			3,5	7,1	24,3	33,9	38,7	45,4	34,4	9,2	1,3	
25 a 26			1,1	4,4	18,1	27,4	37,2	42,9	28,6	8,1	0,8	
26 a 27			0,4	1,5	11,7	33,1	31,3	36,3	22,5	4,7	0,8	
27 a 28				0,7	10,5	27,9	36,6	37,9	11,7	2,0		
28 a 29				0,2	11,7	23,0	36,0	33,5	10,8			
29 a 30					5,2	17,3	44,3	42,9	8,9			
30 a 31					1,4	14,5	30,7	32,6	2,5			
31 a 32					0,5	9,8	30,7	28,8	0,6			
32 a 33						6,2	24,5	25,4				
33 a 34						2,6	16,8	15,0				
34 a 35						2,1	7,7	4,7				
35 a 36						0,5	1,8	1,3				
36 a 37							0,3	0,9				
37 a 38												
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Taula A - 19 Hores
temperatura de Talarn.

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8		0,2										0,3
-8 a -7		0,6										1,1
-7 a -6	0,5	1,0										2,9
-6 a -5	2,9	1,0										4,0
-5 a -4	7,4	3,3										5,6
-4 a -3	12,6	3,5	0,8								1,4	9,9
-3 a -2	19,3	7,4	4,5								3,8	19,0
-2 a -1	39,1	17,4	7,0								7,8	16,0
-1 a 0	53,7	22,1	11,5	2,7							7,8	37,1
0 a 1	66,5	44,1	20,2	9,2	0,5					1,4	15,0	57,7
1 a 2	72,0	50,3	28,9	10,4	0,5					4,3	19,9	69,8
2 a 3	74,6	58,7	36,7	18,4	2,3					7,7	28,0	99,7
3 a 4	81,1	74,6	44,6	24,0	2,3					15,2	48,5	89,5
4 a 5	76,5	72,1	49,5	39,2	1,8				0,3	17,6	60,6	84,4
5 a 6	68,9	65,4	54,1	43,5	4,6				1,1	29,2	64,0	65,7
6 a 7	56,5	50,5	54,6	50,1	13,2	1,4			1,9	37,1	79,6	52,4
7 a 8	41,0	44,8	60,5	52,7	21,0	0,7			5,6	56,3	77,3	37,9
8 a 9	28,4	38,8	55,4	56,6	31,9	6,5	0,3		16,1	67,9	63,2	27,3
9 a 10	18,6	31,1	54,6	52,7	38,8	6,1	0,9	1,4	28,9	76,7	64,3	27,5
10 a 11	7,6	25,5	48,4	49,4	61,5	18,4	0,6	3,6	30,8	72,6	54,8	12,8
11 a 12	10,0	22,9	40,1	50,3	58,8	23,9	1,5	3,9	34,7	68,6	39,8	11,5
12 a 13	3,6	14,1	32,9	42,6	61,5	39,9	6,8	7,8	35,8	63,4	29,1	5,3
13 a 14	1,2	10,0	26,5	43,3	55,6	35,1	8,0	8,2	38,1	58,2	19,6	2,4
14 a 15	1,7	6,7	27,2	29,3	52,0	39,5	12,3	10,3	49,2	47,1	15,0	1,9
15 a 16	0,2	4,1	19,7	31,5	45,6	43,3	16,6	17,8	55,0	38,7	10,4	0,5
16 a 17		1,0	19,3	25,4	45,6	54,2	18,7	28,5	61,9	29,2	3,8	
17 a 18		0,4	16,3	20,1	46,5	56,9	30,4	34,9	58,6	15,6	3,2	0,3
18 a 19		0,4	13,0	16,2	47,4	42,3	36,8	41,0	50,0	13,4	2,6	0,3
19 a 20			7,6	13,1	38,3	50,8	51,3	57,0	43,6	10,2	0,6	0,5
20 a 21			3,2	11,1	30,5	50,8	57,4	57,0	41,9	5,0		0,5
21 a 22			1,9	10,9	21,9	39,5	59,9	54,9	34,2	4,1		
22 a 23			1,5	7,7	19,1	37,5	54,0	55,9	28,9	2,7		
23 a 24			0,4	6,5	15,5	37,5	47,6	45,6	26,4	1,1		
24 a 25				2,4	7,3	26,9	43,3	46,3	23,1	0,9		
25 a 26				0,7	7,8	25,2	45,1	40,6	16,9			
26 a 27					5,5	20,8	40,8	38,1	18,3			
27 a 28					2,7	19,4	35,0	26,4	11,1			
28 a 29					1,4	13,6	35,3	34,9	3,9			
29 a 30					0,9	12,6	39,0	29,6	2,8			
30 a 31					0,9	9,2	30,1	29,2	0,8			
31 a 32					0,9	5,5	23,0	22,4				
32 a 33						2,4	16,9	17,8				
33 a 34							17,5	15,7				
34 a 35							10,7	10,7				
35 a 36							2,8	2,9				
36 a 37							1,5	0,7				
37 a 38								0,7				
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8												
-8 a -7												
-7 a -6												
-6 a -5												
-5 a -4												
-4 a -3												
-3 a -2												
-2 a -1		0,1										
-1 a 0											0,3	
0 a 1		1,1									0,8	0,1
1 a 2	1,3	3,8	0,8								0,1	2,0
2 a 3	8,2	5,2	2,3								1,0	6,8
3 a 4	20,6	5,9	2,0	0,1							1,8	10,2
4 a 5	25,5	10,3	3,0	0,5							5,4	17,9
5 a 6	37,1	16,7	7,7	0,5							7,1	27,2
6 a 7	49,2	25,7	14,5	3,3						0,6	8,3	44,5
7 a 8	62,1	51,4	21,2	12,4	0,2					2,1	13,4	51,7
8 a 9	76,0	66,8	30,6	21,8	0,4					5,1	18,2	54,6
9 a 10	74,7	70,4	50,5	35,1	1,1					6,1	28,9	72,9
10 a 11	75,6	84,1	81,3	50,2	4,3				0,4	6,9	37,1	81,2
11 a 12	88,6	78,4	90,7	66,4	11,4				0,7	12,4	52,1	81,4
12 a 13	82,2	77,6	113,9	76,5	17,5	0,9			2,1	14,2	69,8	85,1
13 a 14	50,8	56,4	103,5	95,5	32,6	5,9			7,3	25,9	92,2	69,7
14 a 15	35,9	37,8	81,4	103,5	51,3	10,1			9,0	55,0	91,9	56,3
15 a 16	20,0	25,2	57,0	89,0	67,2	19,5	0,7	0,9	14,4	76,3	77,2	32,3
16 a 17	15,1	18,2	31,1	62,4	86,4	33,9	2,5	1,5	21,3	83,8	70,6	23,0
17 a 18	7,5	12,7	21,2	44,8	113,7	50,9	4,9	1,5	32,9	88,5	58,8	13,8
18 a 19	4,3	10,2	10,0	23,7	104,9	62,5	13,2	5,3	40,0	83,6	42,6	7,4
19 a 20	2,7	5,7	9,3	14,0	92,1	91,5	14,5	8,6	50,0	83,0	21,6	3,6
20 a 21	0,1	2,9	4,5	10,2	64,3	99,1	28,1	15,4	68,4	74,4	11,7	1,3
21 a 22	0,4	2,7	3,3	5,6	46,5	90,4	47,5	31,6	79,8	58,4	6,5	0,7
22 a 23		1,1	2,8	2,7	28,0	87,6	75,9	53,0	99,8	37,6	1,6	
23 a 24		1,4	1,0	0,5	13,4	66,8	102,7	75,3	96,1	17,9	0,4	
24 a 25			0,5	0,8	5,5	38,3	107,5	103,0	72,2	8,8	0,1	
25 a 26				0,1	1,2	33,7	110,4	123,2	60,4	1,6	0,1	
26 a 27				0,3	1,4	18,0	93,6	119,7	35,5	1,6	0,4	
27 a 28					0,4	7,1	72,1	95,1	18,9	0,3		
28 a 29					0,4	1,9	47,8	64,6	7,5			
29 a 30						0,7	14,6	25,4	1,8			
30 a 31						0,9	5,9	10,7	1,0			
31 a 32						0,1	1,4	5,6	0,6			
32 a 33							0,3	2,1				
33 a 34								1,1				
34 a 35							0,3	0,4				
35 a 36												
36 a 37												
37 a 38												
38 a 39												
39 a 40												
40 a 41												
41 a 42												

Taula A - 20 Hores
temperatura de Tarra-
gona (Universitat).

Taula A - 21 Hores
temperatura de Vic.

Estrat T°	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
-15 a -14												
-14a -13												
-13 a -12												
-12 a -11												
-11 a -10												
-10 a -9												
-9 a -8		0,5										
-8 a -7		0,5										
-7 a -6	2,8	0,5	0,5									
-6 a -5	7,6	2,0	0,8									2,3
-5 a -4	11,1	3,3	0,3									7,2
-4 a -3	14,0	6,4	1,5									9,8
-3 a -2	24,6	12,2	5,1								2,7	14,7
-2 a -1	43,5	18,6	15,8	0,6							6,2	21,4
-1 a 0	56,9	25,5	17,5	1,4							6,4	25,6
0 a 1	55,9	38,9	17,8	8,6	0,3						17,1	38,8
1 a 2	40,9	45,8	25,7	11,0	0,5					0,3	23,6	51,4
2 a 3	42,2	51,9	33,5	19,2	0,5					5,6	30,0	46,5
3 a 4	47,5	48,4	43,5	32,0	0,5				0,8	6,1	32,7	59,4
4 a 5	38,4	44,3	39,4	34,9	2,3				1,0	10,9	38,6	61,2
5 a 6	54,1	52,7	53,6	44,9	10,2				3,9	18,5	52,5	54,5
6 a 7	46,2	47,3	49,5	46,9	15,5	1,1			3,9	22,5	49,3	65,1
7 a 8	53,6	45,6	53,1	54,9	26,4	3,2		0,3	5,4	27,8	55,4	58,6
8 a 9	54,4	36,7	54,4	46,9	28,7	5,9			8,5	32,6	64,6	59,2
9 a 10	39,9	35,4	52,3	41,6	34,0	8,4	0,5	2,0	12,2	37,1	52,0	38,0
10 a 11	37,9	37,9	50,1	52,7	51,1	21,6	1,5	2,8	29,7	64,4	59,7	44,7
11 a 12	26,7	26,7	31,5	43,1	57,7	35,7	5,8	2,3	35,7	69,7	46,6	26,4
12 a 13	15,2	26,2	30,5	38,8	49,3	43,8	11,0	3,5	39,1	72,3	J8,3	14,2
13 a 14	13,2	19,3	24,9	36,5	49,3	57,3	22,3	9,8	46,0	62,8	34,3	17,3
14 a 15	8,1	15,0	23,1	29,0	44,0	49,5	27,8	18,4	47,3	68,4	25,4	13,2
15 a 16	3,8	9,2	25,7	30,8	42,4	55,1	32,3	32,0	67,8	58,0	25,4	9,0
16 a 17	2,3	6,4	17,3	24,7	36,8	49,2	41,8	44,1	57,7	44,2	21,2	3,6
17 a 18	0,8	4,3	15,0	23,1	38,4	38,9	50,5	54,7	51,7	31,3	11,5	1,8
18 a 19	2,3	4,3	13,5	18,2	39,6	39,5	43,8	62,5	55,1	25,7	11,3	
19 a 20		4,1	15,5	18,0	34,3	38,1	50,5	59,2	46,3	22,5	7,8	
20 a 21		2,0	10,9	15,1	32,3	36,5	43,8	49,7	34,7	15,9	3,8	
21 a 22			9,4	13,7	36,1	31,1	39,8	41,3	26,1	14,6	1,9	
22 a 23			5,8	11,8	24,6	31,9	36,3	38,3	31,0	10,6	0,5	
23 a 24			3,3	7,1	22,1	30,0	36,5	35,3	28,7	9,5	1,3	
24 a 25			1,3	7,1	21,1	26,2	32,0	36,5	26,4	3,7		
25 a 26			1,0	4,9	15,8	26,2	32,0	37,6	22,8	4,2		
26 a 27			1,0	1,4	11,7	22,2	26,5	31,0	14,0	3,7		
27 a 28				1,0	9,4	20,0	29,8	26,7	10,6	1,1		
28 a 29					5,1	15,1	33,5	30,0	5,9			
29 a 30					2,3	12,2	27,3	25,0	5,2			
30 a 31					0,8	8,4	31,0	26,5	1,3			
31 a 32					0,3	4,9	27,3	23,7	1,0			
32 a 33					0,3	4,1	23,8	18,7	0,3			
33 a 34					0,5	1,4	13,8	14,9				
34 a 35						0,8	10,8	7,6				
35 a 36						1,1	7,5	6,0				
36 a 37						0,8	2,3	2,0				
37 a 38							1,0	1,5				
38 a 39							0,8	0,3				
39 a 40							1,0					
40 a 41							0,3					
41 a 42												

Taula A - 22 Zona climàtica dels municipis de Catalunya

Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z
Abella de la Conca	8	Avellanès i Santa Linya, les	7	Bisbal del Penedès, la	5	Camarles	3
Abdera	5	Avià	7	Bisbal d'Empordà, la	5	Cambrils	3
Àger	7	Avinyó	7	Biure	5	Camós	6
Agramunt	7	Avinyonet de Puigventós	5	Blancafort	7	Campdevàdol	9
Aguilar de Segarra	7	Avinyonet del Penedès	5	Blanes	1	Campelles	9
Agullana	5	Badalona	1	Boadella d'Empordà	5	Campins	6
Aiguafreda	6	Badia del Vallès	5	Bolvir	9	Campllong	5
Aiguamúrcia	5	Bagà	9	Bonastre	3	Camprodon	9
Aiguaviva	5	Baix Pallars	8	Bòrdes, les	9	Canejan	9
Aitona	7	Balaguer	7	Bordils	5	Canet d'Adri	6
Alamús, els	7	Balsareny	7	Borges Blanques, les	7	Canet de Mar	1
Alàs i Cerc	8	Banyeres del Penedès	5	Borges del Camp, les	3	Canovelles	5
Albagés, l'	4	Banyoles	6	Borrassà	5	Cànoves i Samalús	6
Albanyà	6	Barbens	7	Borredà	6	Cantallops	5
Albatàrrec	7	Barberà de la Conca	7	Bossòst	9	Canyelles	1
Albesa	7	Barberà del Vallès	5	Bot	4	Capafonts	4
Albí, l'	7	Barcelona	1	Botarell	3	Capçanes	4
Albinyana	5	Baronia de Rialp, la	7	Bovera	4	Capellades	7
Albiol, l'	3	Bàscara	5	Bràfim	3	Capmany	5
Albons	5	Bassella	7	Breda	6	Capolat	7
Alcanar	3	Batea	4	Bruc, el	7	Cardedeu	5
Alcanó	7	Bausen	9	Brull, el	6	Cardona	7
Alcarràs	7	Begues	1	Brunyola	5	Carme	7
Alcoletge	7	Begur	2	Cabacés	4	Caseres	4
Alcover	3	Bellianes	7	Cabanabona	7	Cassà de la Selva	5
Aldea, l'	3	Bellguarda	4	Cabanelles	5	Casserres	7
Aldover	4	Bellcaire d'Empordà	5	Cabanes	5	Castell de l'Areny	9
Aleixar, l'	3	Bellcaire d'Urgell	7	Cabanyes, les	5	Castell de Mur	8
Alella	1	Bell-lloc d'Urgell	7	Cabó	8	Castellar de la Ribera	7
Alfara de Carles	4	Bellmunt del Priorat	4	Cabra del Camp	7	Castellar de N'Hug	9
Alfarràs	7	Bellmunt d'Urgell	7	Cabrera de Mar	1	Castellar del Riu	9
Alfés	7	Bellprat	7	Cabrera d'Igualada	7	Castellar del Vallès	6
Alforja	4	Bellpuig	7	Cabrils	1	Castellbell i el Vilar	7
Algerri	7	Bellvei	3	Cadaqués	2	Castellbisbal	5
Alguair	7	Bellver de Cerdanya	9	Calaf	7	Castellcir	6
Alins	9	Bellví	7	Calafell	3	Castellldans	7
Alió	3	Benavent de Segrià	7	Calders	7	Castelldefels	1
Almacelles	7	Benifallet	4	Caldes de Malavella	5	Castellet i la Gornal	5
Almatret	4	Benissanet	4	Caldes de Montbui	5	Castellfollit de la Roca	6
Almenar	7	Berga	7	Caldes d'Estrac	1	Castellfollit de Riubregós	7
Almóster	3	Besalú	6	Calella	1	Castellfollit del Boix	7
Alòs de Balaguer	7	Bescanó	5	Calldetenes	6	Castellgalí	7
Alp	9	Beuda	6	Callús	7	Castellnou de Bages	7
Alpens	6	Bigues i Riells	6	Calonge	2	Castellnou de Seana	7
Alpicat	7	Biosca	7	Calonge de Segarra	7	Castelló de Farfanya	7
Alt Àneu	9	Bisbal de Falset, la	4	Camarasa	7	Castelló d'Empúries	5
Castellolí	7	Cunit	3	Forallac	5	Guimerà	7
Castell-Platja d'Aro	5	Darnius	6	Forès	7	Guingueta d'Àneu, la	9
Castellserà	7	Das	9	Fornells de la Selva	5	Guissona	7
Castellterçol	6	Deltebre	3	Fortià	5	Guixers	9
Castellvell del Camp	3	Dosrius	5	Franqueses del Vallès, les	5	Gurb	6
Castellví de la Marca	5	Duesaigües	3	Freginals	3	Horta de Sant Joan	4
Castellví de Rosanes	5	Escala, l'	2	Fuliola, la	7	Hospitalet de Llobregat, l'	1
Catlàr, el	3	Esparreguera	5	Fulleda	7	Hostalets de Balenyà, els	6
Cava	9	Espinelves	6	Gaià	7	Hostalets de Pierola, els	7
Cellera de Ter, la	6	Espluga Calba, l'	7	Galera, la	3	Hostalric	5
Celrà	5	Espluga de Francolí, l'	7	Gallifa	6	Igualada	7
Centelles	6	Esplugues de Llobregat	1	Gandesa	4	Isona i Conca Dellà	8

Taula A - 22 Zona climàtica dels municipis de Catalunya (cont.).

Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z
Cercs	9	Espolla	5	Garcia	4	Isòvol	9
Cerdanyola del Vallès	5	Esponellà	5	Garidells, els	3	Ivars de Noguera	7
Cervelló	5	Espot	9	Garriga, la	6	Ivars d'Urgell	7
Cervera	7	Espunyola, l'	7	Garrigàs	5	Ivorra	7
Cervià de les Garrigues	7	Estamariu	9	Garrigoles	5	Jafre	5
Cervià de Ter	5	Estany, l'	6	Garriguella	5	Jonquera, la	5
Cistella	5	Estaràs	7	Gavà	1	Jorba	7
Ciutadilla	7	Esterrí d'Àneu	9	Gavet de la Conca	8	Josa i Tuixén	9
Clariana de Cardener	7	Esterrí de Cardós	9	Gelida	5	Juià	5
Cogul, el	4	Falset	4	Ger	9	Juncosa	7
Colera	2	Far d'Empordà, el	5	Gimenells i el Pla de la Font	7	Juneda	7
Coll de Nargó	8	Farrera	9	Ginestar	4	Les	9
Collbató	7	Fatarella, la	4	Girona	5	Linyola	7
Colldejou	3	Febró, la	4	Gironella	7	Llacuna, la	7
Collsuspina	6	Fígols	9	Gisclareny	9	Lladó	5
Colomers	5	Fígols i Alinyà	8	Godall	3	Lladorre	9
Coma i la Pedra, la	9	Figuera, la	4	Golmés	7	Lladurs	7
Conca de Dalt	8	Figueres	5	Gombrèn	9	Llagosta, la	5
Conesa	7	Figuerola del Camp	5	Gósol	9	Llagostera	5
Constantí	3	Flaçà	5	Granada, la	5	Llambilles	5
Copons	7	Flix	4	Granadella, la	4	Llanars	9
Corbera de Llobregat	5	Floresta, la	7	Granera	6	Llançà	2
Corbera d'Ebre	4	Fogars de la Selva	5	Granja d'Escarp, la	7	Llardecans	4
Corbins	7	Fogars de Montclús	6	Granollers	5	Llavorsí	9
Corçà	5	Foixà	5	Granyanella	7	Lleida	7
Cornellà de Llobregat	1	Folgueroles	6	Granyena de les Garrigues	4	Llers	5
Cornellà de Terri	5	Fondarella	7	Granyena de Segarra	7	Lles	9
Cornudella de Montsant	4	Fonollosa	7	Gratallops	4	Lliçà d'Amunt	5
Creixell	3	Fontanals de Cerdanya	9	Gualba	6	Lliçà de Vall	5
Crespià	5	Fontanilles	5	Gualta	5	Llimiana	8
Crúïlles, Monells i Sant Sadurní de l'Heura	5	Fontcoberta	5	Guardiola de Berguedà	9	Llinars del Vallès	5
Cubelles	1	Font-rubí	7	Guiamets, els	4	Llívia	9
Cubells	7	Foradada	7	Guils de Cerdanya	9	Lloar, el	4
Llobera	7	Molar, el	4	Nou de Berguedà, la	9	Parets del Vallès	5
Llorac	7	Molins de Rei	5	Nou de Gaià, la	3	Parlavà	5
Llorenç del Penedès	5	Mollerussa	7	Nulles	3	Passanant	7
Lloret de Mar	1	Mollet de Peralada	5	Odèn	7	Pau	5
Llosses, les	6	Mollet del Vallès	5	Òdena	7	Paülis	4
Lluçà	6	Molló	9	Ogassa	9	Pedret i Marzà	5
Maçanet de Cabrenys	6	Molsosa, la	7	Olèrdola	5	Penelles	7
Maçanet de la Selva	5	Monistrol de Calders	7	Olesa de Bonesvalls	1	Pera, la	5
Madremanya	5	Monistrol de Montserrat	7	Olesa de Montserrat	5	Perafità	6
Maià de Montcal	6	Montagut	6	Oliana	7	Perafort	3
Maials	4	Montblanc	7	Oliola	7	Peralada	5
Maldà	7	Montbrió del Camp	3	Olius	7	Peramola	7
Malgrat de Mar	1	Montcada i Reixac	5	Olivella	1	Perelló, el	3
Malla	6	Montclar	7	Olost	6	Piera	7
Manlleu	6	Montellà i Martinet	9	Olot	6	Piles, les	7
Manresa	7	Montesquiu	6	Oluges, les	7	Pineda de Mar	1
Marçà	4	Montferrer i Castellbó	8	Olvan	6	Pinell de Brai, el	4
Margalef	4	Montferri	3	Omellons, els	7	Pinell de Solsonès	7
Marganell	7	Montgai	7	Omells de Na Gaia, els	7	Pinós	7
Martorell	5	Montgat	1	Ordis	5	Pira	7
Martorelles	5	Montmajor	7	Organyà	8	Pla de Santa Maria, el	5
Mas de Barberans	3	Montmaneu	7	Oris	6	Pla del Penedès, el	5
Masarac	5	Montmany-Figaró	6	Oristà	7	Planes d'Hostoles, les	6
Masdenverge	3	Montmell, el	5	Orpí	7	Planoles	9

Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z
Masies de Roda, les	6	Montmeló	5	Òrrius	5	Plans de Sió, els	7
Masies de Voltregà, les	6	Montoliu de Lleida	7	Os de Balaguer	7	Poal, el	7
Masllorenc	5	Montoliu de Segarra	7	Osor	6	Pobla de Cérvoles, la	7
Masnou, el	1	Montornès de Segarra	7	Ossó de Sió	7	Pobla de Claramunt, la	7
Masó, la	3	Montornès del Vallès	5	Pacs del Penedès	5	Pobla de Lillet, la	9
Maspujols	3	Mont-ral	4	Palafolls	1	Pobla de Mafumet, la	3
Masquefa	5	Mont-ras	2	Palafugell	2	Pobla de Massaluga, la	4
Masroig, el	4	Mont-roig del Camp	3	Palamós	2	Pobla de Montornès, la	3
Massalcoreig	7	Montseny	6	Palau d'Anglesola, el	7	Pobla de Segur, la	8
Massanes	5	Móra d'Ebre	4	Palau de Santa Eulàlia	5	Poboleda	4
Massoteres	7	Móra la Nova	4	Palau-sator	2	Polinyà	5
Matadepera	6	Morell, el	3	Palau-saverdera	2	Pont d'Armentera, el	5
Mataró	1	Morera de Montsant, la	4	Palau-solità i Plegamans	5	Pont de Bar, el	9
Mediona	7	Muntanyola	6	Pallaresos, els	3	Pont de Molins	5
Menàrguens	7	Mura	7	Pallejà	5	Pont de Suert, el	8
Meranges	9	Nalec	7	Palma de Cervelló	5	Pont de Vilomara i Rocafort, el	7
Mieres	6	Naut Aran	9	Palma d'Ebre, la	4	Pontons	7
Milà, el	3	Navarcles	7	Palol de Revardit	5	Pontós	5
Miralcamp	7	Navàs	7	Pals	2	Ponts	7
Miravet	4	Navata	5	Papiol, el	5	Porqueres	6
Moià	6	Navès	7	Pardines	9	Porrera	4
Port de la Selva, el	2	Riera de Gaià, la	3	Sant Boi de Llobregat	1	Sant Llorenç de Morunys	9
Portbou	2	Riner	7	Sant Boi de Lluçanès	6	Sant Llorenç d'Hortons	5
Portella, la	7	Ripoll	9	Sant Carles de la Ràpita	3	Sant Llorenç Savall	6
Pradell de la Teixeta	4	Ripollet	5	Sant Cebrià de Vallalta	1	Sant Martí d'Albars	6
Prades	7	Riu de Cerdanya	9	Sant Celoni	5	Sant Martí de Centelles	6
Prat de Llobregat, el	1	Riudarenes	5	Sant Climent de Llobregat	1	Sant Martí de Llémena	6
Prat del Comte	4	Riudaura	6	Sant Climent Sescebes	5	Sant Martí de Riucorb	7
Pratdip	3	Riudecanyes	3	Sant Cugat del Vallès	5	Sant Martí de Tous	7
Prats de Lluçanès	6	Riudecols	3	Sant Cugat Sesgarrigues	5	Sant Martí Sarroca	5
Prats de Rei, els	7	Riudellots de la Selva	5	Sant Esteve de la Sarga	8	Sant Martí Sesgueioles	7
Prats i Sansor	9	Riudoms	3	Sant Esteve de Palautordera	6	Sant Martí Vell	5
Preixana	7	Riumors	5	Sant Esteve Sesrovires	5	Sant Mateu de Bages	7
Preixens	7	Roca del Vallès, la	5	Sant Feliu de Buixalleu	5	Sant Miquel de Campmajor	6
Premià de Dalt	1	Rocafort de Queralt	7	Sant Feliu de Codines	6	Sant Miquel de Fluvià	5
Premià de Mar	1	Roda de Barà	3	Sant Feliu de Guíxols	5	Sant Mori	5
Preses, les	6	Roda de Ter	6	Sant Feliu de Llobregat	1	Sant Pau de Seguries	9
Prullans	9	Rodonyà	5	Sant Feliu de Pallerols	6	Sant Pere de Ribes	1
Puigcerdà	9	Roquetes	4	Sant Feliu Sasserra	7	Sant Pere de Riudebitlles	5
Puigdàlber	5	Roses	5	Sant Ferriol	6	Sant Pere de Torelló	6
Puiggròs	7	Rosselló	7	Sant Fost de Campsenelles	5	Sant Pere de Vilamajor	5
Puigpelat	3	Rourell, el	3	Sant Fruitós de Bages	7	Sant Pere Pescador	5
Puig-reig	7	Rubí	5	Sant Gregori	6	Sant Pere Sallavinera	7
Puigverd d'Agramunt	7	Rubió	7	Sant Guim de Freixenet	7	Sant Pol de Mar	1
Puigverd de Lleida	7	Rupià	5	Sant Guim de la Plana	7	Sant Quintí de Mediona	7
Pujalt	7	Rupit i Pruit	6	Sant Hilari Sacalm	6	Sant Quirze de Besora	6
Quar, la	6	Sabadell	5	Sant Hipòlit de Voltregà	6	Sant Quirze del Vallès	5
Quart	5	Sagàs	6	Sant Iscle de Vallalta	1	Sant Quirze Safaja	6
Queralbs	9	Salàs de Pallars	8	Sant Jaume de Frontanyà	9	Sant Ramon	7

Taula A - 22 Zona climàtica dels municipis de Catalunya

Taula A - 22 Zona climàtica dels municipis de Catalunya (cont.).

Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z
Querol	7	Saldes	9	Sant Jaume de Llierca	6	Sant Sadurní d'Ànoia	5
Rabós	5	Sales de Llierca	6	Sant Jaume dels Domenys	5	Sant Sadurní d'Osormor	6
Rajadell	7	Sallent	7	Sant Jaume d'Enveja	3	Sant Salvador de Guardiola	7
Rasquera	4	Salomó	3	Sant Joan de les Abadesses	9	Sant Vicenç de Castellet	7
Regencós	2	Salou	3	Sant Joan de Mollet	5	Sant Vicenç de Montalt	1
Rellinars	7	Salt	5	Sant Joan de Vilatorrada	7	Sant Vicenç de Torelló	6
Renau	3	Sanaüja	7	Sant Joan Despí	1	Sant Vicenç dels Horts	5
Reus	3	Sant Adrià de Besòs	1	Sant Joan les Fonts	6	Santa Bàrbara	3
Rialp	9	Sant Agustí de Lluçanès	6	Sant Jordi Desvalls	5	Santa Cecília de Voltregà	6
Riba, la	5	Sant Andreu de la Barca	5	Sant Julià de Cerdanyola	9	Santa Coloma de Cervelló 5	5
Riba-roja d'Ebre	4	Sant Andreu de Llavaneres	1	Sant Julià de Ramis	5	Santa Coloma de Farners	6
Ribera d'Ondara	7	Sant Andreu Salou	5	Sant Julià de Vilatorrada	6	Santa Coloma de Gramenet	1
Ribera d'Urgellet	8	Sant Aniol de Finestres	6	Sant Julià del Llor i Bonmatí	6	Santa Coloma de Queralt	7
Ribes de Freser	9	Sant Antoni de Vilamajor	5	Sant Just Desvern	1	Santa Cristina d'Aro	5
Riells i Viabrea	5	Sant Bartomeu del Grau	6	Sant Llorenç de la Muga	6	Santa Eugènia de Berga	6
Santa Eulàlia de Riuprimer	6	Sitges	1	Tornabous	7	Vallclara	7
Santa Eulàlia de Ronçana	5	Siurana	5	Torre de Cabdella, la	9	Vallfogona de Balaguer	7
Santa Fe del Penedès	5	Sobremunt	6	Torre de Claramunt, la	7	Vallfogona de Ripollès	9
Santa Llogaia d'Àlguema	5	Soleràs, el	4	Torre de Fontaubella, la	4	Vallfogona de Riucorb	7
Santa Margarida de Montbui	7	Solivella	7	Torre de l'Espanyol, la	4	Vallgorguina	1
Santa Margarida i els Monjos	5	Solsona	7	Torrebesses	4	Vallirana	5
Santa Maria de Besora	6	Sora	6	Torredembarra	3	Vall-llobrega	2
Santa Maria de Corcó	6	Soriguera	9	Torrefarrera	7	Vallmoll	3
Santa Maria de Martorelles	5	Sort	9	Torreílor	7	Vallromanes	5
Santa Maria de Merlès	6	Soses	7	Torregrossa	7	Valls	3
Santa Maria de Miralles	7	Subirats	5	Torrelameu	7	Valls d'Aguilar, les	8
Santa Maria de Palautordera	5	Sudanell	7	Torrelavit	5	Valls de Valira, les	8
Santa Maria d'Oló	7	Sunyer	7	Torrelles de Foix	7	Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant	4
Santa Oliva	5	Súria	7	Torrelles de Llobregat	1	Vansa i Fórnols, la	9
Santa Pau	6	Susqueda	6	Torrent	2	Veciana	7
Santa Perpètua de Gaià	7	Tagamanent	6	Torres de Segre	7	Vendrell, el	3
Santa Perpètua de Mogoda	5	Talamanca	7	Torre-serona	7	Ventalló	5
Santa Susanna	1	Talarn	8	Torroella de Fluvià	5	Verdú	7
Santpedor	7	Talavera	7	Torroella de Montgrí	2	Verges	5
Sarrià	7	Tallada d'Empordà, la	5	Torroja del Priorat	4	Vespella de Gaià	3
Sarrià de Ter	5	Taradell	6	Tortellà	6	Vic	6
Sarroca de Bellera	8	Tarragona	3	Tortosa	4	Vidrà	6
Sarroca de Lleida	7	Tàrrrega	7	Toses	9	Vidreres	5
Saus	5	Tàrrés	7	Tossa de Mar	1	Vielha e Mijaran	9
Savallà del Comtat	7	Tarroja de Segarra	7	Tremp	8	Vilabella	3
Secuita, la	3	Tavernoles	6	Ullà	5	Vilabertran	5
Selva de Mar, la	2	Tavertet	6	Ullastrell	5	Vilablareix	5
Selva del Camp, la	3	Teià	1	Ullastret	5	Vilada	6
Senan	7	Tèrmens	7	Ulldecona	3	Viladamat	5
Sénia, la	3	Terrades	5	Ulldemolins	7	Viladasens	5
Senterada	8	Terrassa	5	Ultramort	5	Viladecans	1
Sentiu de Sió, la	7	Tiana	1	Urús	9	Viladecavalls	5

Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z	Municipi	Z
Sentmenat	5	Tirvia	9	Vacarisses	7	Vilademuls	5
Serinyà	6	Tiurana	7	Vajol, la	6	Viladrau	6
Seròs	7	Tivenys	4	Vall de Bianya, la	6	Vilafant	5
Serra de Daró	5	Tivissa	4	Vall de Boí (abans Bar-ruera)	9	Vilafranca del Pene-dès 5	5
Setcases	9	Tona	6	Vall de Cardós	9	Vilagrassa	7
Seu d'Urgell, la	8	Torà	7	Vall d'en Bas, la	6	Vilajuïga	5
Seva	6	Tordera	1	Vallbona d'Anoia	7	Vilalba dels Arcs	4
Sidamon	7	Torelló	6	Vallbona de les Monges	7	Vilalba Sasserra	5
Sils	5	Torms, els	4	Vallcebre	9	Vilaller	9
Vilallonga de Ter	9	Vilanova de Sau	6	Vilassar de Mar	1	Vinyols i els Arcs	3
Vilallonga del Camp	3	Vilanova de Segrià	7	Vilaür	5	Viver i Serrateix	7
Vilamacolum	5	Vilanova del Camí	7	Vilaverd	7	Xerta	4
Vilamallà	5	Vilanova del Vallès	5	Vilella Alta, la	4	Sarroca de Lleida	7
Vilamaniscle	2	Vilanova d'Escornalbou	3	Vilella Baixa, la	4	Saus	5
Vilamòs	9	Vilanova i la Geltrú	1	Vilobí del Penedès	5	Tavertet	6
Vilanant	5	Vilaplana	4	Vilobí d'Onyar	5	Teià	1
Vilanova de Bellpuig	7	Vila-rodona	5	Vilopriu	5	Ultramort	5
Vilanova de La Barca	7	Vila-sacra	5	Vilosell, el	7	Urús	9
Vilanova de l'Aguda	7	Vila-sana	7	Vimbodí	7	Vilafant	5
Vilanova de Meià	7	Vila-seca i Salou	3	Vinaixa	7	Vilafranca del Penedès	5
Vilanova de Prades	7	Vilassar de Dalt	1	Vinebre	4		

Taula A - 22 Zona cli-màtica dels municipis de Catalunya

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	8,4	8,8	10,1	11,6	15,2	18,7	21,7	22,7	19	15,8	12,1	9,4
2	8,2	8,6	9,9	11,3	14,9	18,4	21,3	22,4	18,7	15,6	11,9	9,3
3	8,1	8,4	9,7	11,1	14,7	18,1	21	22,1	18,4	15,4	11,7	9,1
4	7,9	8,2	9,5	10,8	14,4	17,9	20,8	21,9	18,2	15,2	11,5	8,9
5	7,8	8	9,3	10,8	14,3	17,7	20,6	21,7	18	15	11,4	8,8
6	7,7	7,8	9,1	10,5	14,4	18	20,7	21,6	17,9	14,8	11,3	8,7
7	7,6	7,6	9,1	10,9	15,2	18,8	21,6	22,1	18	14,7	11,2	8,7
8	7,6	7,7	9,8	12	16,4	20,1	22,9	23,2	18,7	15,3	11,3	8,7
9	8,1	8,7	11,5	13,5	17,5	21,4	24,5	24,8	20	16,5	12,2	9,2
10	9,2	10,5	13,3	14,8	18,8	22,3	25,5	26	21,5	18,1	13,6	10,3
11	10,8	12,1	14,4	15,7	19,3	22,7	25,9	26,8	22,6	19,4	16,1	11,7
12	12,1	13,2	15	16,1	19,8	23,1	26,2	27,1	23,2	20	16,1	12,9
13	12,8	13,7	15,2	16,5	19,9	23,3	26,5	27,4	23,6	20,3	16,5	13,5
14	13,1	13,9	15,3	16,7	20,1	23,4	26,6	27,5	23,7	20,4	16,7	13,8
15	13,1	13,9	15,2	16,6	20	23,3	26,6	27,5	23,6	20,3	16,6	13,7
16	12,8	13,7	15	16,4	19,9	23,2	26,4	27,3	23,5	20	16,2	13,3
17	12,1	13,1	14,4	16,1	19,6	22,9	26,1	26,9	23,1	19,4	15,4	12,5
18	11	12,2	13,7	15,4	19,1	22,5	25,6	26,3	22,5	18,6	14,4	11,6
19	10,3	11,3	12,9	14,7	18,4	21,9	25	25,6	21,7	17,9	13,8	11
20	9,8	10,7	12,2	14	17,6	21,2	24,3	24,9	21,1	17,4	13,4	10,6
21	9,4	10,2	11,8	13,4	17	20,4	23,5	24,3	20,5	16,9	13	10,3
22	9,1	9,8	11,3	12,9	16,5	20	23	23,8	20,1	16,5	12,7	10
23	8,8	9,4	10,9	12,5	16	19,6	22,6	23,4	19,6	16,2	12,5	9,7
24	8,6	9,1	10,5	12,1	15,7	19,2	22,2	23	19,2	15,9	12,2	9,6

Taula A - 23 Corba ho-rària de temperatures per a la subzona 1 (°C) – Mètode Graus dia.

Taula A - 24 Corba horària de temperatures per a la subzona 2 (°C)
- Mètode Graus dia.

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	5,4	6,4	8,3	9,9	13,4	16,7	19,7	20,3	16,4	13,3	9,6	7
2	5,1	6	7,9	9,5	13	16,4	19,2	19,9	16	13	9,4	6,7
3	4,8	5,7	7,6	9,1	12,6	16	18,7	19,5	15,7	12,7	9,2	6,5
4	4,6	5,4	7,3	8,7	12,2	15,7	18,4	19,1	15,4	12,4	8,9	6,3
5	4,4	5,2	7	8,4	11,9	15,5	18	18,8	15,2	12,2	8,7	6,1
6	4,3	4,9	6,7	8,3	12,3	16,2	18,5	18,8	14,9	12	8,6	6
7	4,2	4,7	6,8	9,3	14,1	17,9	20,4	20,1	15,5	12,1	8,5	5,9
8	4,2	5,1	8,3	11,5	16,4	20,1	22,9	22,2	17,4	13,3	8,9	5,9
9	5,2	6,6	10,7	13,8	18,4	21,8	25,1	24,6	19,7	15,3	10,5	6,9
10	7,2	8,8	13,1	15,5	19,6	22,7	26,2	26,2	21,9	17,5	12,5	8,5
11	9,3	11	14,6	16,4	20,2	23,2	26,8	27,2	23	19,1	14,3	10,4
12	11,1	12,6	15,4	16,8	20,5	23,4	26,9	27,5	23,5	19,8	15,4	11,9
13	12,2	13,2	15,7	16,9	20,7	23,4	27	27,6	23,7	20	16	12,7
14	12,6	13,4	15,8	17,1	20,8	23,5	27	27,5	23,8	20	16,1	13
15	12,4	13,3	15,8	16,9	20,6	23,4	26,9	27,3	23,5	19,7	15,8	12,9
16	11,8	12,8	15,5	16,6	20,3	23,2	26,6	26,9	23	19,1	15,1	12,1
17	10,6	12	14,8	16	19,9	22,8	26,2	26,3	22,3	18,1	13,8	11
18	9,3	10,7	13,7	15,1	19,1	22,1	25,5	25,5	21,2	16,8	12,7	9,9
19	8,3	9,7	12,4	13,8	17,9	21,4	24,4	24,3	19,8	15,9	12	9,2
20	7,6	8,8	11,4	12,8	16,6	20,1	23	23	18,9	15,3	11,5	8,6
21	7	8,1	10,6	12	15,8	19	21,9	22,2	18,3	14,8	11	8,2
22	6,5	7,6	10	11,4	15,1	18,3	21,1	21,6	17,8	14,4	10,6	7,8
23	6,1	7,1	9,4	10,9	14,5	17,8	20,6	21,1	17,2	14	10,2	7,4
24	5,7	6,7	8,9	10,5	14	17,3	20,2	20,7	16,7	13,6	9,9	7,1

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	7,9	8,2	9,7	11,3	14,8	18,1	21	22,1	18,5	15,2	11,6	9
2	7,8	8	9,4	10,9	14,5	17,8	20,6	21,8	18,2	15	11,5	8,9
3	7,6	7,8	9,2	10,7	14,3	17,5	20,3	21,5	18	14,8	11,4	8,8
4	7,6	7,6	9	10,5	14	17,2	20	21,2	17,8	14,6	11,2	8,7
5	7,4	7,4	8,8	10,3	13,8	17	19,7	20,9	17,5	14,5	11,1	8,5
6	7,3	7,3	8,6	10,2	14	17,3	19,9	20,8	17,3	14,3	11	8,4
7	7,2	7,1	8,6	10,8	15,1	18,5	21,2	21,6	17,7	14,3	10,9	8,4
8	7,1	7,4	9,7	12,3	16,5	19,9	22,8	23,2	19	15,2	11,2	8,4
9	7,9	8,8	11,5	13,9	17,9	21,3	24,4	24,8	20,5	16,8	12,5	9,1
10	9,4	10,6	13,2	15,3	19	22,4	25,6	26,2	21,9	18,3	14,1	10,6
11	10,8	12	14,4	16,3	19,8	23,1	26,5	27,1	22,9	19,4	15,3	11,9
12	11,8	13	15,3	17,1	20,3	23,7	27	27,7	23,6	20,1	16,1	12,8
13	12,5	13,7	15,9	17,6	20,6	23,9	27,3	28,1	24	20,6	16,6	13,3
14	12,9	14	16,1	17,7	20,7	24	27,4	28,2	24,2	20,8	16,8	13,6
15	12,9	14,1	16,1	17,7	20,7	23,9	27,3	28,1	24,1	20,7	16,7	13,5
16	12,6	13,9	15,8	17,4	20,5	23,8	27,1	27,7	23,8	20,3	16,2	13,1
17	11,8	13,2	15,2	16,9	20,1	23,4	26,7	27,2	23,3	19,5	15,2	12,1
18	10,5	12,1	14,3	16,2	19,5	22,9	26,1	26,6	22,5	18,4	14	11
19	9,6	10,8	13	15,2	18,8	22,2	25,3	25,6	21,4	17,4	13,2	10,3
20	9	9,9	12	14,1	17,7	21,2	24,2	24,7	20,5	16,7	12,7	9,9
21	8,7	9,4	11,3	13,3	16,9	20,3	23,3	23,9	19,8	16,2	12,4	9,6
22	8,4	9	10,8	12,6	16,1	19,5	22,5	23,3	19,3	15,9	12,2	9,4
23	8,2	8,8	10,4	12,1	15,6	19	21,9	22,8	18,9	15,6	12	9,2
24	8	8,5	10,1	11,7	15,3	18,5	21,5	22,4	18,7	15,3	11,8	9,1

Taula A - 25 Corba horària de temperatures per a la subzona 3 (°C) – Mètode Graus dia.

Taula A - 26 Corba horària de temperatures per a la subzona 4 (°C)
- Mètode Graus dia.

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	6,6	6,7	8,4	10,6	14,2	17,7	20,9	21,5	16,8	13,8	9,8	7,1
2	6,4	6,4	8	10,1	13,8	17,3	20,3	21,1	16,4	13,5	9,6	7
3	6,2	6,1	7,6	9,7	13,4	16,8	19,8	20,6	16	13,2	9,5	6,8
4	6,1	5,8	7,2	9,4	13,1	16,4	19,3	20,1	15,7	13	9,3	6,7
5	5,9	5,6	6,9	9,1	12,8	15,9	18,9	19,7	15,4	12,8	9,2	6,6
6	5,8	5,4	6,7	8,9	12,9	16,3	19	19,5	15,1	12,6	9	6,5
7	5,7	5,3	6,7	9,5	14	17,4	20,1	20,3	15,4	12,6	8,9	6,4
8	5,7	5,4	7,8	10,8	15,3	18,7	21,6	21,7	16,6	13,4	9,1	6,3
9	6,3	6,8	9,7	12,4	16,8	20,3	23,3	23,3	18,1	14,9	10,1	6,9
10	7,5	8,5	11,6	14,1	18,2	21,7	24,9	24,9	19,7	16,5	11,5	8,1
11	8,8	10,2	13,2	15,4	19,4	23	26,4	26,4	21,1	18	12,7	9,4
12	9,9	11,6	14,6	16,5	20,3	24,1	27,6	27,5	22,2	19	13,8	10,4
13	10,8	12,5	15,7	17,4	21	24,8	28,4	28,4	23,1	19,8	14,6	11,1
14	11,4	13,3	16,4	17,9	21,4	25,2	28,9	28,9	23,7	20,3	15,1	11,6
15	11,6	13,6	16,8	18,1	21,5	25,4	29,1	29	23,9	20,5	15,2	11,7
16	11,4	13,6	16,8	18,1	21,3	25,3	28,9	28,8	23,8	20,2	14,8	11,4
17	10,7	13	16,3	17,6	20,9	24,9	28,4	28,2	23,3	19,4	13,8	10,4
18	9,4	11,7	15,1	16,7	20,1	24,1	27,5	27,3	22,2	18	12,5	9,3
19	8,4	10,1	13,3	15,4	19	23,1	26,3	26,1	20,9	16,8	11,6	8,7
20	7,8	9,1	12	14,1	17,7	21,8	24,9	24,8	19,8	15,9	11,1	8,3
21	7,4	8,4	11	13,1	16,7	20,6	23,8	23,9	18,9	15,3	10,7	7,9
22	7,2	7,8	10,2	12,3	15,9	19,7	22,9	23,1	18,2	14,8	10,4	7,6
23	6,9	7,4	9,6	11,6	15,3	19	22,2	22,5	17,6	14,4	10,2	7,3
24	6,7	7	9,1	11,1	14,8	18,4	21,6	22	17,1	14	9,9	7,2

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	6,4	7,2	9	11	14,8	18,3	21,5	22	17,8	14,2	10,2	7,5
2	6,1	6,9	8,5	10,5	14,3	17,8	20,9	21,5	17,4	13,9	9,9	7,3
3	5,9	6,5	8,2	10	13,9	17,4	20,4	21,1	17	13,6	9,7	7,1
4	5,6	6,3	7,8	9,7	13,5	17	20	20,7	16,6	13,3	9,5	6,9
5	5,5	5,9	7,5	9,3	13,2	16,6	19,6	20,3	16,3	13,1	9,3	6,7
6	5,3	5,7	7,3	9,1	13	16,5	19,5	20,1	16,1	12,9	9,1	6,5
7	5,2	5,4	7,1	9,1	13,2	16,7	19,6	20,1	16	12,7	9	6,4
8	5,2	5,4	7,6	9,6	14,1	17,8	20,6	20,6	16,3	13	9	6,4
9	5,5	6,2	9,4	11,1	16	19,6	22,5	22,2	17,4	14,2	9,8	6,6
10	6,7	8,1	11,6	13,2	18	21,6	24,7	24,3	19,3	15,9	11,4	7,9
11	8,5	10,1	13,6	15,1	19,8	23,2	26,5	26,2	21,2	17,7	13,3	9,7
12	10,4	12,2	15,4	16,7	21,1	24,3	27,9	27,7	22,8	19,3	15	11,3
13	11,8	13,8	16,5	17,8	22	25	28,6	28,7	23,9	20,4	16,1	12,4
14	12,7	14,7	17,1	18,4	22,4	25,3	29	29,2	24,5	20,9	16,7	13,2
15	13,2	15,1	17,2	18,6	22,5	25,3	29	29,2	24,7	20,9	16,8	13,5
16	13,1	14,9	16,9	18,5	22,4	25,2	28,9	29,1	24,5	20,6	16,4	13,1
17	12,2	14,2	16,2	18,1	22	24,9	28,6	28,7	24	19,8	15,3	12,1
18	10,8	12,8	15,2	17,5	21,5	24,5	28,1	27,9	23,3	18,7	14	10,8
19	9,6	11,3	13,7	16,4	20,7	23,8	27,2	27	22,2	17,6	13	9,9
20	8,8	10,2	12,4	15,2	19,6	22,8	26,2	25,9	21,1	16,6	12,3	9,3
21	8,2	9,4	11,5	13,9	18,2	21,6	24,8	24,7	20,1	16	11,7	8,8
22	7,7	8,7	10,8	13	17,1	20,4	23,7	23,8	19,3	15,4	11,2	8,4
23	7,2	8,1	10,1	12,3	16,2	19,6	22,8	23,1	18,7	14,9	10,8	8
24	6,8	7,6	9,6	11,6	15,6	19	22,2	22,5	18,2	14,5	10,4	7,7

Taula A - 27 Corba horària de temperatures per a la subzona 5 (°C) – Mètode Graus dia.

Taula A - 28 Corba horària de temperatures per a la subzona 6 (°C)
- Mètode Graus dia.

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	4,6	5,1	6,5	8,6	12,4	16	19,3	19,3	14,7	12,2	7,9	5,4
2	4,4	4,6	6	8	11,8	15,5	18,6	18,7	14,2	11,9	7,6	5,1
3	4,1	4,3	5,6	7,5	11,3	14,9	18	18,2	13,9	11,6	7,3	4,9
4	3,9	4	5,2	7,1	10,9	14,5	17,6	17,9	13,5	11,3	7,1	4,8
5	3,7	3,6	4,9	6,8	10,5	14,2	17,1	17,5	13,2	11	6,8	4,6
6	3,5	3,3	4,6	6,5	10,4	14,1	16,9	17,2	12,9	10,7	6,6	4,5
7	3,4	3	4,5	6,6	10,9	14,5	17,3	17,3	12,9	10,5	6,5	4,4
8	3,4	2,9	5,2	7,4	12	15,8	18,6	18	13,2	10,8	6,6	4,4
9	3,8	3,9	7,5	9,4	14,4	18,2	21,3	20,2	14,5	11,8	7,3	4,7
10	5	6,2	10	11,6	16,5	20,1	23,6	22,7	16,8	13,7	8,9	5,8
11	6,8	8,4	12,1	13,5	18,2	21,7	25,4	24,6	18,7	15,7	10,9	7,6
12	8,4	10,6	14	15,1	19,5	22,9	26,8	26,1	20,3	17,5	12,5	9,1
13	9,7	12,2	15,3	16,3	20,5	23,7	27,6	27,2	21,5	18,8	13,8	10,3
14	10,7	13,4	16,1	17	21	24	28,1	27,8	22,3	19,6	14,7	11,2
15	11,3	13,9	16,4	17,2	21,2	24,2	28,3	28	22,7	19,9	15,1	11,7
16	11,4	14	16,2	17,1	21,1	24,2	28,3	27,9	22,7	19,7	14,8	11,5
17	10,5	13,3	15,6	16,7	20,8	23,9	28	27,4	22,3	19	13,7	10,4
18	9	11,8	14,4	16,1	20,3	23,4	27,3	26,7	21,6	17,8	12,1	9
19	7,7	10	12,5	14,9	19,4	22,6	26,3	25,6	20,3	16,3	10,9	8
20	6,8	8,6	10,8	13,5	18,1	21,4	25	24,2	18,8	15,1	10,1	7,3
21	6,2	7,6	9,6	12	16,6	20,1	23,5	22,7	17,4	14,2	9,4	6,7
22	5,7	6,8	8,6	10,9	15,2	18,6	21,9	21,4	16,5	13,5	8,9	6,3
23	5,3	6,1	7,8	10	14,1	17,6	20,9	20,5	15,8	12,9	8,5	6
24	4,9	5,5	7,2	9,2	13,3	16,8	20	19,8	15,1	12,4	8,1	5,7

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	3,8	4,7	7,2	8,9	13,1	16,7	20	20,5	16,1	12,1	7,8	4,9
2	3,6	4,3	6,7	8,3	12,5	16	19,3	19,9	15,7	11,7	7,5	4,7
3	3,4	3,9	6,2	7,8	12,1	15,5	18,7	19,4	15,3	11,4	7,3	4,6
4	3,1	3,6	5,7	7,4	11,6	15	18,1	18,9	14,9	11,1	7,1	4,4
5	3	3,3	5,3	6,9	11,3	14,6	17,6	18,4	14,5	10,8	6,9	4,2
6	2,8	3	5	6,7	11,4	14,8	17,7	18,1	14,1	10,6	6,7	4,1
7	2,7	2,8	4,8	7,3	12,5	16	18,8	18,9	14,3	10,5	6,6	4
8	2,6	2,8	5,8	8,7	13,9	17,4	20,3	20,3	15,6	11,2	6,7	4
9	3	3,9	7,6	10,3	15,5	18,9	21,9	21,9	17	12,8	7,7	4,4
10	4,1	5,7	9,5	12,1	17,2	20,6	23,7	23,6	18,5	14,3	8,9	5,4
11	5,4	7,3	11,2	13,8	18,7	22,1	25,5	25,3	20,1	15,8	10,2	6,5
12	6,7	8,9	12,9	15,2	20	23,4	27	26,8	21,5	17,1	11,4	7,6
13	7,7	10,3	14,2	16,5	21,1	24,5	28,3	28,1	22,7	18,2	12,3	8,4
14	8,5	11,3	15,3	17,4	21,9	25,4	29,3	29,1	23,6	18,9	13	9
15	9	12	16	17,9	22,3	26	30	29,7	24,1	19,2	13,3	9,3
16	9,1	12,2	16,2	18	22,3	26,1	30,2	29,8	24,3	19,1	13,1	9,1
17	8,4	11,9	16	17,7	22	25,8	29,9	29,4	23,9	18,3	12,2	8,3
18	7,2	10,5	14,9	16,8	21,1	25,1	29,1	28,4	22,7	16,8	10,9	7,4
19	6,2	8,9	13	15,2	19,7	23,8	27,6	26,7	20,9	15,4	10,1	6,7
20	5,6	7,8	11,3	13,5	18	22	25,6	24,9	19,6	14,5	9,5	6,3
21	5,1	6,9	10,2	12,2	16,5	20,4	23,8	23,5	18,5	13,8	9	5,9
22	4,8	6,2	9,3	11,2	15,4	19,1	22,5	22,4	17,7	13,2	8,7	5,6
23	4,4	5,7	8,5	10,4	14,5	18,2	21,5	21,6	17,1	12,8	8,3	5,3
24	4,1	5,2	7,9	9,6	13,8	17,4	20,7	21	16,5	12,3	8	5,1

Taula A - 29 Corba horària de temperatures per a la subzona 7 (°C)
- Mètode Graus dia.

Taula A - 30 Corba horària de temperatures per a la subzona 8 (°C)
- Mètode Graus dia.

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	0,8	2,6	5,1	6,5	10,6	14,6	17,9	18,3	13,6	8,6	4,4	1,6
2	0,5	2,1	4,5	5,9	10,1	13,9	17,2	17,7	13,1	8,2	4,2	1,3
3	0,2	1,7	3,9	5,4	9,6	13,4	16,5	17,2	12,6	7,9	3,9	1,1
4	0	1,3	3,4	5	9,1	12,9	15,9	16,6	12,2	7,5	3,6	0,9
5	-0,3	0,9	3	4,5	8,7	12,4	15,4	16	11,8	7,1	3,4	0,7
6	-0,5	0,6	2,6	4,2	8,8	12,7	15,3	15,7	11,4	6,8	3,2	0,5
7	-0,6	0,4	2,4	5	10,3	14,5	17,1	16,7	11,4	6,7	3	0,4
8	-0,8	0,4	3,6	7,1	12,1	16,4	19	18,7	13	7,5	3,1	0,3
9	-0,3	2	6	9,2	14	18,2	21,1	20,9	14,8	9,5	4,4	0,8
10	1,5	4,2	8,3	11,4	15,8	20,1	23,3	23	17	11,5	6,3	2,3
11	3,2	6,4	10,6	13,2	17,5	21,9	25,4	25,1	19	13,5	8	3,9
12	4,8	8,5	12,7	14,8	19	23,3	27,1	27,1	20,7	15,1	9,5	5,5
13	6,2	10,3	14,3	15,9	19,9	24,2	28,3	28,6	22,1	16,4	10,8	6,7
14	7,4	11,7	15,5	16,4	20,3	24,7	29,1	29,6	23	17,3	11,7	7,7
15	8,1	12,5	15,9	16,4	20,4	25	29,3	29,7	23,3	17,6	12	8,1
16	8	12,6	15,7	16,1	20,1	24,9	29,2	29,4	23,2	17,2	11,7	7,6
17	6,9	11,6	14,9	15,5	19,5	24,4	28,7	28,8	22,7	16,2	10,3	6,3
18	4,8	9,6	13,4	14,4	18,7	23,7	27,8	27,7	21,5	14,3	8,3	4,5
19	3,5	7,4	11,5	12,9	17,5	22,5	26,5	26	19,7	12,5	7,2	3,7
20	2,8	6	9,8	11,3	15,8	20,6	24,4	23,8	17,9	11,3	6,5	3,2
21	2,2	5,1	8,3	9,9	14,3	18,9	22,6	22,1	16,7	10,5	5,9	2,8
22	1,7	4,2	7,3	8,7	13,1	17,4	21,1	20,8	15,6	9,9	5,4	2,4
23	1,4	3,6	6,5	7,9	12,2	16,3	19,8	19,8	14,8	9,4	5	2
24	1,1	3,1	5,8	7,2	11,5	15,5	18,8	19	14,2	8,9	4,7	1,8

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
1	0,9	1,6	3,4	4,8	8,7	12,1	14,9	15	10,3	7,4	3,9	1,6
2	0,6	1,3	2,9	4,3	8,1	11,6	14,2	14,5	9,9	7,1	3,7	1,5
3	0,5	1	2,5	3,9	7,7	11,1	13,7	14	9,6	6,8	3,6	1,3
4	0,4	0,7	2,1	3,5	7,4	10,7	13,2	13,6	9,3	6,6	3,4	1,2
5	0,3	0,5	1,9	3,3	7,1	10,4	12,8	13,3	9	6,4	3,3	1,1
6	0,2	0,3	1,7	3,1	7	10,3	12,6	13	8,7	6,3	3,1	1
7	0,1	0,2	1,5	3,2	7,4	10,9	13	13,1	8,6	6,1	3	0,9
8	0	0,1	1,9	4	8,5	11,9	14,2	13,9	8,9	6,2	3	0,9
9	0,2	0,7	3,9	5,8	10,4	13,9	16,4	15,7	10,4	6,8	3,3	1,1
10	0,9	2,5	6,5	7,9	12,2	15,6	18,6	18,1	12,7	8,7	4,5	1,8
11	2,5	4,5	8,6	9,4	13,5	16,9	20,2	19,9	14,5	10,7	6,3	3,3
12	4	6,6	10,3	10,7	14,7	18,1	21,5	21,3	15,9	12,4	8	4,6
13	5,2	8,1	11,5	11,5	15,5	18,9	22,6	22,5	17	13,6	9,4	5,8
14	6,1	9	12,3	12	15,8	19,4	23,2	23,1	17,7	14,3	10,3	6,6
15	6,3	9,4	12,5	12,1	15,9	19,5	23,3	23,4	18	14,6	10,4	6,8
16	5,7	9	12,3	12	15,9	19,4	23,2	23,2	17,9	14,3	9,7	6,1
17	4,8	8,1	11,7	11,5	15,6	19,2	22,9	22,7	17,5	13,5	8,6	5,2
18	3,6	6,7	10,5	10,9	15,1	18,7	22,3	21,9	16,8	12,4	7,4	4
19	2,8	5,2	8,9	9,8	14,3	18	21,3	20,8	15,5	11,2	6,4	3,3
20	2,2	4,2	7,4	8,7	13,1	16,9	20,1	19,4	14,3	10,1	5,7	2,8
21	1,8	3,4	6,3	7,6	11,9	15,7	18,8	18,2	13,1	9,3	5,2	2,4
22	1,5	2,8	5,4	6,7	10,9	14,6	17,6	17,1	12,3	8,6	4,8	2,1
23	1,2	2,4	4,7	5,9	10,1	13,7	16,5	16,2	11,6	8,1	4,4	2
24	1	2	4,1	5,3	9,4	12,9	15,7	15,6	10,9	7,6	4,1	1,7

Taula A - 31 Corba horària de temperatures per a la subzona 9 (°C) – Mètode Graus dia.

hores	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.	
Barcelona	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
Girona	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
Lleida	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
Tarragona	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3

Taula A - 32 Temperatura mitjana de l'aigua de xarxa general (°C) – Censolar.

Taula A - 33 Velocitats mitjanes del vent i distribució estadística de les direccions del seu moviment.

	H (m)	V (m/s)												Rosa dels vents (% del temps)									
		G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Cal- mes	
La Molina	2,2	3	3,2	3	3,3	3,1	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	2,8	2,9	11	5	8	12	11	8	16	12	17	
Figueres	3	2,7	3,1	3,1	3,3	2,6	2,4	2,4	2,2	2,1	2,3	2,2	2,5	29	3	1	16	8	4	1	8	30	
Girona	1,9	2,2	2,2	2,4	2,5	2,4	2	2,1	2,1	1,9	2	2,2	2,4	8	7	3	3	29	4	1	2	43	
Vic	3	1,1	1,4	1,7	2	1,5	1,3	1,9	1,7	1	1,9	1,2	1,3	4	10	4	8	21	23	7	3	20	
Montseny	4,3	9,4	9,1	8	7,2	6,6	5,5	6,1	6,6	7	8	8	8,9	5	13	5	1	6	31	30	4	5	
Barcelona	22,5	2,4	2,9	2,9	3	2,9	2,8	2,7	2,5	2,6	2,6	2,5	2,5	6	10	6	11	11	13	7	11	25	
El Prat	12	3,6	4,2	4,3	4,6	4,1	4,3	4,2	3,9	3,7	3,7	3,7	3,7	23	6	7	8	12	16	8	6	14	
Reus	19	3,3	4,2	4,2	4,2	3,8	3,8	3,7	3,6	3,1	3,7	3,4	4,2	12	8	6	12	13	11	15	12	11	
Tarragona	2	1,7	2,2	2	2,1	2	1,9	1,9	2	2	2	2	1,9	13	14	5	11	11	14	8	10	15	
Roquetes	11,9	3,2	3,6	3,3	3,5	3,2	3	3,3	3,1	2,7	3	3,2	3,9	26	7	3	12	22	3	4	15	8	
Lleida	2,8	1,5	2,5	2,3	2,7	2,2	2,1	2,2	2,2	1,7	1,6	1,7	1,4	1	13	3	3	3	19	16	6	36	

Taula A - 34 Radiació solar global sobre superfície inclinada (MJ/m²/dia). Estació: Barcelona. Azimut: 0 graus.

Inclinació (graus)	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
0	6,70	9,30	13,40	17,90	21,50	23,40	22,90	20,10	16,00	11,50	7,90	6,10
5	7,66	10,25	14,27	18,56	21,90	23,65	23,22	20,68	16,91	12,53	8,95	7,09
10	8,58	11,14	15,06	19,14	22,16	23,76	23,40	21,14	17,71	13,49	9,95	8,04
15	9,44	11,97	15,75	19,59	22,28	23,71	23,44	21,48	18,40	14,37	10,88	8,94
20	10,25	12,72	16,35	19,93	22,26	23,52	23,32	21,71	18,97	15,15	11,75	9,79
25	10,99	13,39	16,85	20,14	22,17	23,19	23,10	21,81	19,43	15,84	12,54	10,57
30	11,66	13,97	17,24	20,23	21,95	22,80	22,78	21,78	19,76	16,43	13,26	11,28
35	12,25	14,47	17,53	20,19	21,59	22,27	22,32	21,60	19,96	16,91	13,88	11,92
40	12,77	14,87	17,70	20,03	21,10	21,60	21,72	21,29	20,04	17,28	14,41	12,48
45	13,20	15,17	17,77	19,74	20,48	20,80	20,98	20,85	19,99	17,54	14,85	12,96
50	13,54	15,38	17,72	19,33	19,74	19,87	20,12	20,28	19,81	17,68	15,19	13,35
55	13,79	15,49	17,56	18,80	18,87	18,82	19,13	19,58	19,50	17,71	15,43	13,65
60	13,95	15,50	17,29	18,16	17,90	17,70	18,04	18,77	19,07	17,63	15,57	13,86
65	14,02	15,40	16,91	17,40	16,86	16,55	16,94	17,84	18,52	17,42	15,60	13,97
70	13,99	15,21	16,43	16,55	15,77	15,31	15,74	16,80	17,85	17,11	15,53	13,99
75	13,87	14,92	15,84	15,59	14,59	13,98	14,45	15,73	17,07	16,68	15,35	13,92
80	13,66	14,53	15,16	14,55	13,33	12,58	13,09	14,57	16,18	16,15	15,07	13,75
80	13,36	14,04	14,39	13,47	12,00	11,18	11,65	13,33	15,19	15,51	14,69	13,49
90	12,96	13,47	13,53	12,31	10,62	9,83	10,30	12,01	14,12	14,78	14,22	13,14

Inclinació (graus)	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
0	6,70	9,30	13,40	17,90	21,50	23,40	22,90	20,10	16,00	11,50	7,90	6,10
5	7,54	10,13	14,16	18,51	21,85	23,63	23,19	20,61	16,79	12,40	8,81	6,96
10	8,33	10,90	14,84	19,02	22,08	23,70	23,33	21,06	17,48	13,23	9,68	7,78
15	9,07	11,60	15,45	19,42	22,23	23,69	23,40	21,38	18,06	13,97	10,48	8,56
20	9,76	12,24	15,97	19,69	22,25	23,56	23,34	21,56	18,56	14,63	11,22	9,28
25	10,38	12,79	16,40	19,88	22,13	23,28	23,13	21,62	18,95	15,19	11,88	9,94
30	10,94	13,27	16,72	19,97	21,92	22,90	22,82	21,61	19,23	15,66	12,47	10,54
35	11,43	13,66	16,94	19,94	21,61	22,44	22,42	21,46	19,38	16,03	12,98	11,07
40	11,85	13,97	17,05	19,78	21,17	21,84	21,89	21,18	19,41	16,30	13,41	11,53
45	12,19	14,18	17,06	19,50	20,60	21,10	21,21	20,76	19,32	16,46	13,75	11,91
50	12,44	14,31	16,96	19,12	19,95	20,30	20,46	20,25	19,11	16,51	14,00	12,21
55	12,62	14,34	16,80	18,67	19,23	19,43	19,65	19,67	18,82	16,47	14,15	12,43
60	12,71	14,30	16,52	18,11	18,40	18,45	18,71	18,97	18,42	16,34	14,21	12,57
65	12,72	14,16	16,15	17,44	17,45	17,36	17,67	18,15	17,90	16,10	14,18	12,63
70	12,65	13,93	15,68	16,66	16,45	16,27	16,60	17,23	17,27	15,76	14,06	12,60
75	12,49	13,62	15,11	15,80	15,44	15,12	15,49	16,28	16,53	15,32	13,85	12,49
80	12,25	13,21	14,45	14,92	14,34	13,90	14,30	15,27	15,69	14,78	13,54	12,29
80	11,93	12,73	13,70	13,97	13,16	12,71	13,09	14,17	14,82	14,14	13,15	12,01
90	11,54	12,16	12,92	12,93	12,06	11,51	11,92	13,01	13,88	13,42	12,68	11,65

Taula A - 35 Radiació solar global sobre superfície inclinada (MJ/m²/dia). Estació: Barcelona. Azimut: 30 graus.

Mes	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
Gener	0	0	59	388	729	1008	1166	1166	1008	729	388	59	0	0	6700
Febrer	0	0	242	623	1002	1307	1476	1476	1307	1002	623	242	0	0	9300
Març	0	134	533	978	1402	1735	1918	1918	1735	1402	978	533	134	0	13400
Abril	27	410	869	1355	1803	2149	2336	2336	2149	1803	1355	869	410	27	17900
Maig	233	655	1137	1631	2078	2417	2601	2601	2417	2078	1631	1137	655	233	21500
Juny	346	785	1277	1774	2221	2558	2739	2739	2558	2221	1774	1277	785	346	23400
Juliol	298	737	1232	1737	2191	2535	2720	2720	2535	2191	1737	1232	737	298	22900
Agost	114	529	1016	1523	1988	2343	2536	2536	2143	1988	1523	1016	529	114	20100
Setembre	0	252	701	1190	1649	2006	2202	2202	2006	1649	1190	701	252	0	16000
Octubre	0	0	371	808	1235	1574	1762	1762	1574	1235	808	371	0	0	11500
Novembre	0	0	118	483	856	1161	1332	1332	1161	856	483	118	0	0	7900
Desembre	0	0	10	330	665	944	1101	1101	944	665	330	10	0	0	6100

Taula A - 36 Radiació solar global horària sobre superfície inclinada (kJ/m²). Estació: Barcelona. Inclinació: 0 graus. Azimut: 0 graus.

Taula A - 37 Radiació solar global horària sobre superfície inclinada (kJ/m²). Estació: Barcelona. Inclinació: 30 graus. Azimut: 0 graus.

Mes	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
Gener	0	0	246	748	1257	1672	1906	1906	1672	1257	748	246	0	0	11658
Febrer	0	0	431	964	1496	1927	2167	2167	1927	1496	964	431	0	0	13971
Març	0	181	681	1259	1789	2232	2479	2479	2232	1789	1259	681	181	0	17243
Abril	16	368	914	1514	2057	2501	2746	2746	2501	2057	1514	914	368	16	20231
Maig	106	504	1062	1654	2187	2614	2849	2849	2614	2187	1654	1062	504	106	21951
Juny	141	567	1132	1723	2265	2671	2901	2901	2671	2265	1723	1132	567	141	22803
Juliol	123	543	1116	1719	2274	2689	2925	2925	2689	2274	1719	1116	543	123	22778
Agost	57	437	1012	1632	2213	2644	2893	2893	2644	2213	1632	1012	437	57	21777
Setembre	0	273	824	1446	2044	2516	2777	2777	2516	2044	1446	824	273	0	19758
Octubre	0	0	576	1170	1755	2225	2487	2487	2225	1755	1170	576	0	0	16427
Novembre	0	0	336	879	1425	1870	2119	2119	1870	1425	879	336	0	0	13256
Desembre	0	0	203	706	1218	1638	1875	1875	1638	1218	706	203	0	0	11281

Taula A - 38 Radiació solar global horària sobre superfície inclinada (kJ/m²). Estació: Barcelona. Inclinació: 45 graus. Azimut: 0 graus.

Mes	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
Gener	0	0	320	870	1420	1868	2120	2120	1868	1420	870	320	0	0	13196
Febrer	0	0	493	1059	1623	2079	2334	2334	2079	1623	1059	493	0	0	15175
Març	0	191	703	1299	1838	2298	2554	2554	2298	1838	1299	703	191	0	17766
Abril	16	321	866	1470	2014	2466	2718	2718	2466	2014	1470	866	321	16	19741
Maig	109	391	940	1529	2059	2488	2726	2726	2488	2059	1529	940	391	109	20482
Juny	145	416	968	1552	2092	2497	2729	2729	2497	2092	1552	968	416	145	20799
Juliol	127	406	968	1565	2119	2534	2772	2772	2534	2119	1565	968	406	127	20981
Agost	59	359	929	1551	2137	2569	2823	2823	2569	2137	1551	929	359	59	20853
Setembre	0	264	821	1457	2070	2556	2826	2826	2556	2070	1457	821	264	0	19987
Octubre	0	0	635	1257	1872	2365	2640	2640	2365	1872	1257	635	0	0	17539
Novembre	0	0	418	1007	1594	2071	2338	2338	2071	1594	1007	418	0	0	14853
Desembre	0	0	283	838	1397	1853	2109	2109	1853	1397	838	283	0	0	12958

Bibliografia

Versió 2011

- Aenor
- Agrupació de Propietaris Forestals del Solsonès. La biomassa com a combustible renovable per a aigua calenta sanitària i calefacció
- Airlan
- Applus
- Applus, 2010. Los proyectos de cogeneración a través de la Empresa de Servicios Energéticos (E.S.E.)
- CAMELIA, 2006. Concerted Action Multigeneration Energy Systems with Locally Integrated Applications. Technical Component Database.
- Capstone
- Ciatesa
- Comissió Internacional de la Il·luminació (CIE)
- Consell Català de l'Esport. Fitxes tècniques dels equipaments esportius del Consell Català de l'Esport.
- Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya.
- Crege: Laboratori Suís de Geotèrmia.
- Crever-Gate, 2009. Màster en tecnologies de climatització i eficiència energètica en edificis. Universitat Rovira i Virgili.
- Ecovat, 2010. Viabilitat d'un sistema de trigeneració en piscines climatitzades.
- Eulen, 2010. Contrato de Gestión Energética de un Polideportivo. Programa de formación de Empresas de Servicios Energéticos. Escuela de Organización Industrial (EOI), Santiago de Compostela, 21 de octubre de 2010.
- Fenercom (Comunidad de Madrid), 2006. Guía técnica de iluminación eficiente. Sector residencial y terciario.
- Fenercom (Comunidad de Madrid), 2008. Documento anexo de la Guía de la Energía Geotérmica.
- Fenercom (Comunidad de Madrid), 2008. Guía de ahorro energético en gimnasios.
- Fenercom (Comunidad de Madrid), 2008. Guía de Eficiencia Energética en Instalaciones Deportivas.
- Fenercom (Comunidad de Madrid), 2008. Guía de la Energía Geotérmica.
- Ferroser, 2010. Infraestructuras inteligentes. Programa de formación de Empresas de Servicios Energéticos. Escuela de Organización Industrial (EOI), Santiago de Compostela, 21 de octubre de 2010.
- Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2008. Licht.wissen 01: Lighting with artificial light.
- Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010. Licht.wissen 08: Sports & Leisure.
- Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010. Licht.wissen 17: LED, the light of the future.
- Gas Natural Fenosa, 2009. Manual d'eficiència energètica.
- Gas Natural Fenosa. Canal d'eficiència energètica.
- González, D., 2008. Aplicacions de les energies renovables en edificis: climatització solar i altres conceptes de solar tèrmica. Daniel González i Castellví. 53^a Jornada Tècnica d'AGEM CETIB, 29 d'octubre de 2008.
- Grup Aesa, ICAEN, 2005. Potencial de cogeneració a Catalunya.

- Grupo Nova Energia
- ICAEN, 2009. Energia solar tèrmica. Col·lecció quaderns pràctics, número 3.
- ICAEN, 2009. Estalvi i eficiència energètica en edificis públics. Col·lecció quaderns pràctics, número 2.
- ICAEN, 2010. Ajuts i subvencions.
- ICAEN, 2010. Empreses de serveis energètics.
- ICAEN, 2010. Empreses de serveis energètics. Possibilitats de finançament i contractes.
- ICAEN, 2010. Empreses de serveis energètics. Possibles modalitats de facturació.
- ICAEN, 2010. Guia de desenvolupament de projectes de xarxes de districte de calor i fred.
- ICAEN, 2011. Els serveis energètics: eficiència i competitivitat. Cultura Energètica, número 176, març 2011.
- IDAE i Comitè Espanyol d'il·luminació, 2005. Guia tècnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios.
- IDAE, 2007. Biomasa: Edificios.
- IDAE, 2007. Comentaris al Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els edificis (RITE-2007).
- IDAE, 2007. Energía de la biomasa.
- IDAE, 2007. PAE 4 +: Pla d'Acció 2008 – 2012, de l'Estratègia d'Estalvi i Eficiència Energètica a Espanya 2004 – 2012
- IDAE, 2008. Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica.
- IDAE, 2009. Guía técnica de instalaciones de biomasa térmica en edificios.
- IDAE, 2010. Factores de conversión de consumo o producción a energía primaria (EP) y factor de emisión del año 2009. Publicat el novembre de 2010.
- IGME (Instituto Geológico y Minas de España).
- Indalux, 2002. Luminotècnia.
- Instaled
- Isuno Energy
- Kapelbi – Catálogo General 2009-2010.
- Menchaca
- MITYC (Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç) Secretaria d'Estat de l'Energia.
- Oficina Catalana del Canvi Climàtic. Generalitat de Catalunya.
- Osram
- Pasch
- Philips
- Qnorm Qualitat i Medi Ambient S.L. Eder, Consell Comarcal de la Selva, Consorci Forestal de Catalunya. Diagnosi dels sectors vinculats a la biomassa a la comarca de la Selva.
- ROCOCO, 2008. Reduction of Costs of Solar Cooling systems. Arsenal Research, Aguasol, Conness, Gmi, Tecsol, Fototerm, Hsf. FP6 de la Comissió Europea.
- Salicru
- Tecnopool
- UEG (Unión Española de Geotermia).
- UPM-CMS, 2008: Santa Cruz Astorqui, Jaime (1); del Río Merino, Mercedes (1); Cachero Alonso, Gemma (1); Monje García, Ignacio (2); Rubio Madueño, Dolores (2). (1) E.U. Arquitectura Técnica – Universidad Politécnica de Madrid, (2) Dpto. I+D+I Construcciones CMS. Estudio de la viabilidad del aprovechamiento de biomasa para calefacción y ACS en edificación. Cátedra CMS.

Normativa d'àmbit europeu

- Annex II de la Decisió de la Comissió de 21 de desembre de 2006, per la qual s'estableixen valors de referència harmonitzats per a la producció per separat d'electricitat i calor, de conformitat amb el que disposa la Directiva 2004/8/CE del Parlament Europeu i del Consell o norma que el transposi.
- Directiva 125/2009/CE per la qual s'instaura un marc per a l'establiment de requisits de disseny ecològic aplicables als productes relacionats amb l'energia (Directiva d'Ecodisseny).
- Directiva 2002/91/CE relativa a l'eficiència energètica dels edificis (Directiva d'Eficiència Energètica en Edificis o EPBD, Energy Performance of Buildings Directive).
- Directiva 2004/8/CE relativa al foment de la cogeneració sobre la base de la demanda de calor útil en el mercat interior de l'energia.
- Directiva 2006/32/CE sobre l'eficiència de l'ús final de l'energia i els serveis energètics.
- Directiva 2008/28/CE que modifica la Directiva 2005/32/CE, per la qual s'instaura un marc per a l'establiment de requisits de disseny ecològic aplicables als productes que utilitzen energia, així com la Directiva 92/42/CEE i les Directives 96/57/CE i 2000/55/CE pel que es refereix a les competències d'execució atribuïdes a la Comissió.
- Reglament (CE) 1005/2009 sobre les substàncies que esgoten la capa d'ozó.
- Reglament (CE) 244/2009 relatiu als requisits de disseny ecològic per a làmpades d'ús domèstic no direccionals.
- Reglament (CE) 245/2009 relatiu als requisits de disseny ecològic per a làmpades fluorescents sense balasts integrats, per a làmpades de descàrrega d'alta intensitat i per a balasts i lluminàries que poden funcionar amb aquestes làmpades.

Normativa d'àmbit estatal

- CTE, Codi Tècnic de l'Edificació.
- RITE, 2009. Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis.
- Reial decret 1287/2011 relatiu a l'establiment de requisits de disseny ecològic aplicables als productes relacionats amb l'energia.
- Reial decret 47/2007 pel qual s'aprova el procediment bàsic per a la certificació d'eficiència energètica d'edificis de nova construcció.
- Reial decret 616/2007 sobre foment de la cogeneració.
- Reial decret 661/2007 pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.
- Reial decret 865/2003 pel qual s'estableixen els criteris higiènics i sanitaris per a la prevenció i control de la legionel·losi.
- Reial decret llei 6/2010 de mesures per a l'impuls de la recuperació econòmica i la ocupació.

Normativa d'àmbit autonòmic

- Decret 21/2006 d'eficiència.
- Decret 352/2004 pel qual s'estableixen les condicions higièniques i sanitàries per a la prevenció i el control de la legionel·losi.

- Decret 95/2000 pel qual s'estableixen les normes sanitàries aplicables a les piscines d'ús públic.

Normes UNE-EN

- EN 16001 Sistemes de Gestió Energètica.
- UNE 23727:1990 Assajos de reacció al foc dels materials de construcció. Classificació dels materials utilitzats en la construcció”.
- UNE EN 12193: 2009 Il·luminació. Il·luminació d'instal·lacions esportives.
- UNE EN 12464-1:2003 Il·luminació. Il·luminació dels llocs de treball. Part 1: Llocs de treball en interiors.
- UNE EN 12207:2000 sobre permeabilitat a l'aire de finestres i portes.
- UNE EN 13779:2007 Ventilació dels edificis no residencials. Requisits de prestacions de sistemes de ventilació i condicionament de recintes.

Versió 1998

1. Estadístiques Energètiques de Catalunya. Departament d'Indústria i Energia, 1993.
2. Energy Balance Sheets, Eurostat, 1993.
3. Reial decret 2657/1996 (29020). Resolució del 12 de setembre de 1996 de la Direcció General d'Energia (37532). Ordre del 6 de setembre de 1996 (20603). Resolució del 30 de maig de 1996 de la Direcció General d'Energia (12354).
4. Calderas de baja temperatura, Nieto Berdote Pedro, Revista Montajes e instalaciones, núm 278, 1994.
5. Spaziosport. Dossier energia. Mesa redonda. Comitato Olimpico Italiano. juny de 1982.
6. Manual de alumbrado. N.V. Philips Gloeilampen fabrieken. Madrid, 1983.
7. Man, climate and architecture, B. Givoni, Elsevier Publishing Co. Ltd, 1969.
8. Design with climate, V. Olgyai, Princeton University Press, 1963.
9. Thermal confort requirements, P.O. Fanger. Laboratory of Heating and Air conditioning. Technical University of Denmark. Second International Congress on Building Energy Management, Ames, Iowa, USA, maig-juny de 1983.
10. Calderas de calefacción. Monografía tècnica de Roca. Versió MT 1.0.03.
11. Generadores de calor convencional y de alto rendimiento, Alberto Viti Corsi, Revista El instalador. núm. 303, 1994.
12. Cortesia Sedical
13. Cortesia Viessman
14. Tipos de calderas. Ricardo García San José, Revista El instalador. Gener de 1997.
15. Reial decret 1751/1998 del 31 de juliol. Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis.
16. Calefacción y agua caliente sanitaria. Santiago Aroca y otros. AMV Ediciones, 1991
17. Reial decret 2366/1994 de 9 de desembre (BOE 31-12-1994).
18. Revista Energia. Número maig-juny, 1996.
19. Gaswarne International. Número 45. Frankfurt am Main, 1996.
20. Energia Solar Tèrmica. Manuales de Energías Renovables. IDAE. Biblioteca Cinco Días, 1996.

21. Sollar collectors and their fields of application. ZREU. Comissió Europea. Direcció General d'Energia (DGXVII). Maxibrochure, 1995.
22. Solar energy heating design by the F•Chart method. W.A.Beckman, S.A Klein, J.A. Duffie. Wiley Interscience, 1997.
23. Solar energy heating design. W.A. Beckman, S.A. Klein.J.A. Duffie. John Wiley and sons. Nova York,1997.
24. Estalvi d'energia en instal·lacions esportives. Albert Mitjà i Albert Girbal. Generalitat de Catalunya, 1983.
25. Manual de Ahorro Energético en Instalaciones Deportivas. Joan Esteve, Albert Mitjà i Joan Josep Escobar. Instituto de Ciencias de la Educación Física y del Deporte, 1986.
26. Optimización energética en polideportivos. Cuadernos de Gestión Energética Municipal. IDAE, 1989
27. Enquesta sobre l'ús de les instal·lacions esportives a Catalunya. Serra, A. i altres. Secretaria General de l'Esport de la Generalitat de Catalunya. Barcelona, 1993.
28. HEATEX. Recuperador de calor aire-aire de flujos cruzados, tipo estético. Tecniseco.
29. ECONOVENT. Recuperadores de calor rotativos aire/aire. Tecniseco.
30. SIGMACAL. Intercambio o recuperación de calor con intercambiadores de placas. Madrid, 91/92.
31. UNE 100-030-94. Guía de prevención de la legionela en instalaciones.
32. UNE 100-170-89. Aislamiento térmico. Cálculo y espesores mínimos.
33. Norma DIN 1946 part 2
34. Batiments à hautes performances énergétiques: Sports. PYC Edition, 1995.
35. Acondicionamiento de aire y refrigeración. Cario Pizzeti, Ed. Interciencia, Madrid, 1971.
36. UNE 100-001-85. Condiciones climáticas para proyectos.
37. Guía de aplicaciones núm. 8: Alumbrado artificial de pabellones polideportivos. Ibérica de Alumbrado, S.A., 1993.
38. Les salles sportives et les salles polyvalentes. Association Française pour le développement des équipements des sports et des loisirs. Editions du moniteurs. París, 1982.
39. Good lighting for sports facilities. Information on lighting applications Booklet 8. Ftirdergemeinschaft Gutes Licht.
40. Decret 193/1987, de 19 de maig i publicat al DOGC del 5 de juny de 1987.
41. Thermal Environment for Indoor Swimming Pools, N.S. Billington, BSE, desembre de 1972. Vol 40
42. Guide pour la maitrise de l'energie dans les equipements, temps libre/jeuneusse et sports existants. Ministère du Temps Libre. Ministère délégué à la Jeunesse et aux Spons. Agence Française pour la Maitrise de l'Energie, París, octobre, 1982.
43. J.T.H.Lammers. P.J.J. Hoen, Simultaneous establishment of thermal confort for different categories of men in a swimming pool Danish Building Research Institute, First International Indoor Climate Symposium, Copenhagen, 1978.
44. UNE 100-011-91. La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales.
45. Observatoire des piscines couvertes. Diatechine. Ademe delegation Picardie, 1992 it 1994
46. Els equipaments esportius a Catalunya. Francesc Fàbregas i altres. Secretaria

- General de l'Esport de la Generalitat de Catalunya. Barcelona, 1994.
47. Piscines à plein-air en Poitou-Charentes: Bilan d'exploitation. AFME, 1989
 48. Daylight in buildings. Maxibrochure of the University College Dublin, Energy Research Group. Comissió Europea, Direcció General d'Energia (DGXVII), 1994.
 49. La lumière du jour dans les espaces intérieurs. Association Française de l'éclairage, ditions lux, 1983
 50. Montajes e instalaciones; núm. 205. A. De la Cruz Castillo, 1988
 51. Guía de aplicaciones. Alumbrado en deportes. Lighting Design and Engineering Centre Philips. Eindhoven (Països Baixos)
 52. Cuadernos de eficiencia energética en iluminación; núms. 1 i 4 IDAE i Comité Español de Iluminación. Novembre de 1996.
 53. Energía solar fotovoltaica. Manuales de Energías Renovables núm. 6. IDAE. Madrid, 1996.
 54. Equipements sportifs et socioéducatifs. Ministère de la Jeunesse et des Sports. Editions du Moniteur, 1993.
 55. Expressió deduïda pel Sr. Francesc Carreras de Diclima S.A., Empresa fabricant, distribuïdora i instal·ladora de bombes de calor.
 56. Geografia física dels Països Catalans. Oriol Riba i altres. Ketres editora. Barcelona, 1980.
 57. Atlas Climàtic de Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya del Departament de Política Territorial i Obres Públiques i Departament de Medi Ambient, Barcelona, 1997.
 58. L'architettura dell'evoluzione. Sergio Los i Natasha Pulitzer. Luigi Param Ed. Bologna, 1977. Itàlia.
 59. Atlas Eòlic de Catalunya. 3 volums (d'octubre de 1984 al novembre de 1985, novembre de 1985 a desembre de 1986, gener de 1987 a març de 1988). Enher i ICAEN. 1987, 1990 i 1993.
 60. Pla de parcs eòlics de Catalunya. Resultats dels mesuraments del vent, període 1991-1995. Albert Mitjà, Conrad Messeguer, Joan Esteve i Joan Josep Escobar. Estudis Monogràfics núm. 7 ICAEN, 1996.
 61. Atlas de radiació solar a Catalunya. Josep M. Baldasano, Josep Calbó i Josep Moreno Santabàrbara. Estudis monogràfics núm. 6. ICAEN, 1996.
 62. La pompe de chaleur. Mode d'emploi. Jacques Bernier. Tom 2. Pyc Edition. Paris, 1981.
 63. CSTB (Centre Científic i Tècnic de l'Edifici) de França. Estudi del gimnàs de Grosbliedestroff. Cortesia de Multibeton.
 64. Norma Din 67 526.
 65. Projecte de la Piscina Municipal de Terrassa. Francisco Gallardo i Bravo Ortega, 1997.
 66. Normativa reglamentària d'edificació sobre aïllament tèrmic NRE-AT-87.
 67. UNE 85-205-78 sobre permeabilitat a l'aire de fusteries.
 68. NBE-CPI-96 Condicions de protecció contra incendis en edificis.

