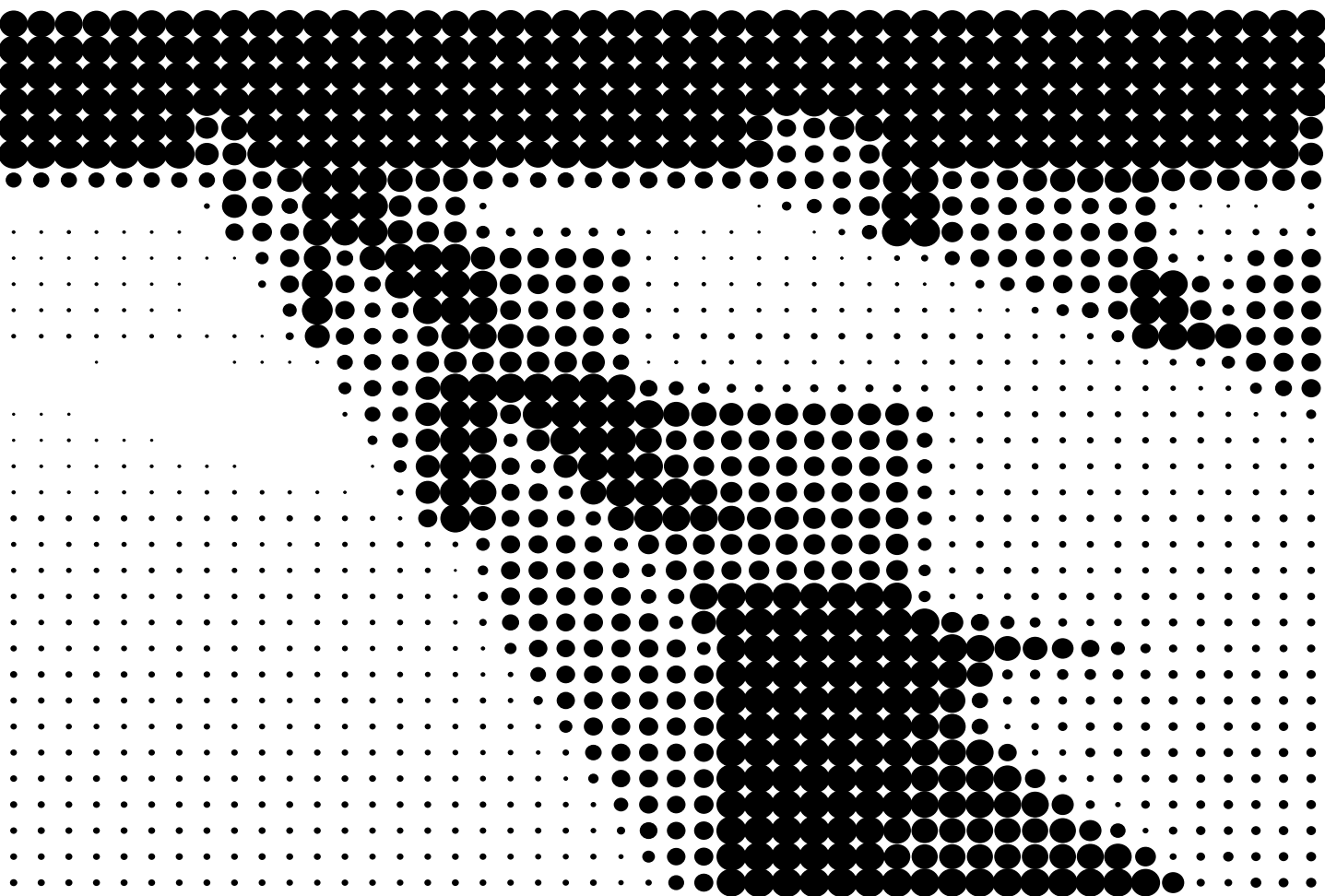


Estalvi i eficiència energètica en edificis públics



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 2



Estalvi i eficiència energètica en edificis públics



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 2





Estalvi i eficiència energètica en edificis públics



Col·lecció Quadern Pràctic
Número 2

Biblioteca de Catalunya - Dades CIP

Peters, Christoph - 1965

Estalvi i eficiència energètica en edificis públics

(Col·lecció Quadern Pràctic 2)

Bibliografia:

I. Granollers, Josep Maria II. Vehil, Eulàlia, ed.

III. Institut Català d'Energia IV. Títol

V. Col·lecció: Col·lecció Quadern pràctic 2

1. Edificis públics – Consum d'energia

2. Edificis públics – Estalvi d'energia – Catalunya

725.1:504(467.1)

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

1a. edició: Barcelona, octubre de 2009
Redacció: Cristoph Peters i Josep M. Granollers
Supervisió: Eulàlia Vehil, Institut Català d'Energia
Disseny i maquetació: Oxigen, comunicació gràfica
Impressió: Estudi6
Dipòsit legal: B-23.264-2009



Aquesta obra està subjecte a una llicència de Reconeixement-No comercial-Sense obres derivades 3.0 de Creative Commons.

Índex

Presentació	15
1. Introducció	17
1.1. Objectius de la guia	17
1.2. A qui va dirigida aquesta guia	17
1.3. Operació, manteniment i projectes energètics	18
1.4. Estructura de la guia	23
1.5. Les auditories energètiques	23
2. Climatització	25
2.1. Confort	26
2.1.1. Confort tèrmic	26
2.1.2. Confort higiènic	32
2.2. Conceptes bàsics de climatització	34
2.2.1. Classificació de sistemes pel tractament d'aire	35
2.2.2. Classificació de sistemes pel fluid de transport d'energia	38
2.2.3. La unitat de tractament d'aire (UTA)	40
2.3. Principals tipus de sistemes de climatització	41
2.3.1. Sistemes tot aire	41
2.3.2. Sistemes aire-aigua	49
2.3.3. Sistemes tot aigua	54
2.3.4. Sistemes d'expansió directa (refrigerant)	58
2.4. Refrigeració en sistemes de climatització	62
2.4.1. El cicle frigorífic per compressió mecànica de vapor	62
2.4.2. El cicle frigorífic per absorció	69
2.4.3. Refrigeració solar	74
2.4.4. Torres de refredament d'aigua	80
2.5. Calefacció en sistemes de climatització	86
2.5.1. Calderes	87
2.5.2. Energia solar tèrmica	95
2.6. Combinacions de refrigeració i calefacció en sistemes de climatització	102
2.6.1. La bomba de calor	102
2.6.2. Geotèrmia	102
2.7. Benchmarking del consum tèrmic en sistemes de climatització	106

2.8. Recomanacions en sistemes de climatització	111
2.8.1. Sistema	111
2.8.2. Manteniment d'instal·lacions de calderes	114
2.8.3. Ús d'instal·lacions de calderes	116
2.9. Bones pràctiques en sistemes de climatització	116
3. Ventilació	119
3.1. Conceptes bàsics en sistemes de ventilació	119
3.2. Estratègies perquè augmenti l'eficiència energètica en la ventilació	120
3.2.1. Minimització d'infiltracions	120
3.2.2. Recuperació de calor	120
3.2.3. Modulació dels volums d'aire	120
3.2.4. Ventilació nocturna	121
3.2.5. Mecanismes de control	122
3.3. Recomanacions en sistemes de ventilació	122
3.3.1. Sistema	122
3.3.2. Manteniment	122
3.3.3. Ús	123
3.4. Bones pràctiques en sistemes de ventilació	123
4. Il·luminació	124
4.1. Conceptes bàsics en il·luminació	124
4.2. Aprofitament de la llum natural	127
4.2.1. Característiques de la llum natural	127
4.2.2. Sistemes constructius d'aprofitament/transport de llum natural	127
4.3. Estratègies perquè augmenti l'eficiència energètica en la il·luminació	128
4.3.1. Làmpades	128
4.3.2. Llumeneres	129
4.3.3. Sectorització	129
4.3.4. Sistemes de regulació i control	130
4.4. Benchmarking en sistemes d'il·luminació	131
4.5. Recomanacions en sistemes d'il·luminació	133
4.5.1. Sistema	133
4.5.2. Manteniment	133
4.5.3. Ús	133
4.6. Bones pràctiques en sistemes d'il·luminació	134

5. La instal·lació elèctrica	135
5.1. Conceptes bàsics en la instal·lació elèctrica	135
5.2. Compensació de la potència reactiva en xarxes no distorsionades	140
5.2.1. Conceptes bàsics en compensació de la potència reactiva	140
5.2.2. Recomanacions en compensació d'energia reactiva	146
5.3. Energia solar fotovoltaica	147
5.3.1. Conceptes bàsics en fotovoltaica	147
5.3.2. Recomanacions en instal·lacions fotovoltaïques	150
5.3.3. Bones pràctiques en instal·lacions fotovoltaïques	151
6. Sistemes de regulació i control	152
6.1. Conceptes bàsics en sistemes de regulació i control	152
6.1.1. Objectiu de la instal·lació de sistemes de control	152
6.1.2. Conceptes bàsics en sistemes de control	152
6.1.3. Sistemes de gestió d'edificis (SGE o BMS)	161
6.2. Recomanacions en sistemes de gestió d'edificis	164
6.2.1. Avantatges dels sistemes de control global	164
6.2.2. Inconvenients dels sistemes de control global	166
6.3. Bones pràctiques en sistemes de gestió d'edificis	166
7. Manteniment	167
7.1. Objectiu i necessitat de manteniment	167
7.2. Tipus de manteniment	167
7.2.1. Manteniment preventiu	167
7.2.2. Manteniment correctiu	168
7.3. Gestió del manteniment	168
7.4. Manteniment en equips de climatització	169
7.4.1. Unitats terminals i elements del circuit	169
7.4.2. Components mecànics de distribució de fluids	174
7.4.3. Equips productors de climatització	175
7.4.4. Prevenció de legionel·losi en instal·lacions amb torres de refredament	185
7.5. Manteniment en sistemes de ventilació	188
7.6. Manteniment en sistemes d'il·luminació	188
7.7. Manteniment en la instal·lació elèctrica	189
7.7.1. Manteniment respecte al factor de potència	189
7.7.2. Manteniment en instal·lacions fotovoltaïques	189
7.8. Manteniment en sistemes de control i regulació	190

8. Altres conceptes de subministrament energètic	191
8.1. Companyies de serveis energètics	191
8.1.1. Conceptes bàsics en serveis energètics	191
8.2. Energia de districte	192
8.2.1. Conceptes bàsics en energia de districte	192
8.2.2. Bones pràctiques en energia de districte	193
8.3. Cogeneració, amb absorció	194
8.3.1. Conceptes bàsics en cogeneració, amb absorció	194
8.3.2. Bones pràctiques en cogeneració, amb absorció	195
9. Gestió eficient de l'aigua	196
9.1. Conceptes bàsics	196
9.2. Benchmarking en consum d'aigua	197
9.3. Estratègies per a reduir la demanda d'aigua	199
9.3.1. Reductors de cabal	199
9.3.2. Airejadors perlitzadors	199
9.3.3. Aixetes termostàtiques	199
9.3.4. Aixetes amb polsador temporitzador	199
9.3.5. Aixetes amb sensors infrarojos	200
9.3.6. Urinaris murals sense aigua	200
9.3.7. Cisternes de vàter amb volum reduït de descàrrega i cisternes de doble descàrrega	201
9.3.8. Vàters amb descàrrega pressuritzada	201
9.3.9. Reg	201
9.4. Estratègies per a aprofitar i reutilitzar les aigües	202
9.4.1. Aprofitament de l'aigua pluvial	202
9.4.2. Aprofitament de l'aigua sobrant de piscines	203
9.4.3. Reutilització d'aigües grises	203
9.4.4. Dimensionament dels dipòsits d'aigües no potables	203
9.5. Recomanacions	206
9.5.1. Sistema	206
9.5.2. Manteniment	206
9.5.3. Ús	206

10. El CAP Roger de Flor - un edifici exemplar	207
10.1. Antecedents	207
10.2. Disseny de l'edifici	208
10.3. Sistema de climatització	208
10.4. Ventilació	208
10.5. Il·luminació	209
10.6. Sistema de gestió de l'edifici	209
10.7. Estalvi d'aigua	209
11. Referències	210
12. Agraïments	211



Presentació

L'eficiència energètica en edificis ha gaudit d'una bona empenta amb l'aprovació dels darrers canvis normatius. Al Decret d'ecoeficiència aplicable a l'àmbit de Catalunya, s'hi ha sumat el Código Técnico de la Edificación, la Qualificació Energètica dels edificis i el recentment reformulat Reglamento de Instalaciones Técnicas en Edificios.

Tots ells han permès que augmentés considerablement l'exigència de racionalització en el consum d'energia dels nostres edificis. De fet, calia; a Catalunya, tot i que les exigències climàtiques són més suaus que les del nord d'Europa -per exemple-, els edificis gasten un 24,9% de tota l'energia que necessita el nostre país.

Aquest percentatge creix d'una manera significativa amb els anys i cal que en destaquem dos motius. El primer -fins a cert punt justificat- és que estem incrementant sensiblement el grau de confort als nostres edificis. Els sistemes de climatització ja són comuns en edificis on abans no ho eren. Fins i tot molts dels habitatges que es construeixen disposen de sistemes, no només de calefacció, sinó també de refrigeració. El mateix passa amb l'enllumenat i amb els electrodomèstics que poblen cada vegada més densament els nostres habitatges.

El segon motiu no ho és tant de justificat: som ineficients en el consum d'energia. No fem servir prou els aparells i elements que, tot i oferir els mateixos serveis, consumeixen menys energia que els aparells convencionals. A més, els nostres hàbits de conducta energètica s'han d'adaptar per a estalviar energia i cost.

El sector públic no és una excepció. Els edificis de l'Administració local consumeixen una part significativa de l'energia dels ajuntaments i consells comarcals, tot i estar per sota encara de l'enllumenat públic que representa un 50% del consum total d'energia que paguen aquests ens. La Generalitat de Catalunya mateixa té una factura energètica anyal entorn als 90M€ deguda a l'energia que gasta als seus edificis. És per això que des de l'any 2007 executa un acord de govern específic per a reduir aquest consum i que l'eficiència i l'estalvi energètic als edificis és una peça essencial del Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015.

Aquesta publicació s'insereix en aquesta realitat amb l'objectiu d'informar i formar els professionals mostrant tecnologies, aparells, hàbits i exemples reals d'aplicació de l'estalvi i l'eficiència energètica als edificis.

La publicació fa un repàs exhaustiu de la possible aplicació de sistemes eficients a les instal·lacions dels edificis: climatització, ventilació, enllumenat i instal·lacions elèctriques. També inclou l'aplicació d'un manteniment correcte que permeti optimitzar el consum d'energia, el potencial de les energies renovables i dels sistemes de regulació i control. Finalment, tot i que no és un tema únicament energètic, s'aborda la gestió eficient del consum de l'aigua. En el marc de la practicitat d'aquesta publicació -com a exemple demostratiu de la integració de tecnologies eficients-, es descriu el Centre d'Atenció Primària Roger de Flor, que ha participat en el projecte europeu SARA (Sustainable Architecture Applied to Replicable Public Access Buildings) i que va sorgir a partir d'una iniciativa multidepartamental de col·laboració.

Bona lectura!



1. Introducció

1.1. Objectius de la guia

L'11 d'octubre de 2005, el Govern català va aprovar el Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015. En aquest Pla es concreta l'estratègia per aconseguir que el consum d'energia a Catalunya tingui el menor impacte ambiental possible, basant-se en quatre àmbits:

- Fomentar l'estalvi i eficiència energètica.
- Promoure les energies renovables.
- Crear les infraestructures energètiques necessàries.
- Donar suport a la recerca i la innovació tecnològica en l'àmbit energètic.

Aquesta guia pretén facilitar un conjunt de bones pràctiques que, convenientment aplicades a la gestió energètica dels edificis, conduiran a estalviar molt i a reduir de manera important la quantitat d'emissions de CO₂ a l'atmosfera.

1.2. A qui va dirigida aquesta guia

El 24 d'abril de 2007 es va signar una proposta d'acord per la qual s'aprovava crear un programa d'estalvi i eficiència energètica als edificis i equipaments de la Generalitat de Catalunya.

En aquest acord s'obliga, entre altres aspectes, a designar un gestor energètic per cada edifici o equipament que tingui un consum energètic anual superior a 200.000 kWh d'energia final, tèrmica i/o elèctrica. Aquest gestor energètic serà el responsable de l'explotació energètica de l'edifici o equipament.

Aquesta guia va principalment dirigida a aquests gestors energètics, ja que la missió que tenen encomanada, inclou les tasques següents:

- Conèixer i transmetre les dades de consum energètic.
- Analitzar les dades de consum i de les instal·lacions que hi ha a l'edifici.
- Proposar i impulsar accions pràctiques d'estalvi i eficiència energètica.
- Proposar la introducció de sistemes d'energies renovables.

En aquest sentit, aquest document no s'entén com una guia per a planificar edificis de nova construcció, que hauria d'incloure un ventall ampli de criteris de disseny i de mesures passives per a reduir la demanda energètica, sinó que ofereix una orientació als responsables d'explotació d'edificis (gestors energètics, caps de manteniment...), per tal d'optimitzar l'ús de l'energia als edificis públics ja en ús. Alhora, servirà com a font per a conèixer les principals tecnologies que hi ha actualment en el mercat i alguns dels paràmetres importants per implantar-los. D'altra banda dóna a conèixer quines accions i tasques d'operació i manteniment de l'edifici cal realitzar per tal d'obtenir el millor rendiment de les instal·lacions actuals als edificis i els complementa amb exemples de bones pràctiques.

1.3. Operació, manteniment i projectes energètics

L'estalvi d'energia i el manteniment estan totalment relacionats i no es poden separar si es vol promoure l'eficiència i l'estalvi energètic en l'ús de les instal·lacions. Per a dur a terme una gestió energètica global d'un edifici o instal·lació que minimitzi l'ús de l'energia externa, cal actuar segons dues directrius bàsiques:

- Implantació de projectes energètics.
- Seguiment de determinades activitats de manteniment.

Per a optimitzar l'ús de l'energia és condició necessària que s'utilitzin les dues directrius. Si només se'n fa servir una, no s'aconsegueix optimitzar energèticament la instal·lació.

La implantació d'un projecte energètic té dues fases:

1. Introducció d'accions de molt baix cost i ràpida implantació, que donen un estalvi immediat. Són accions com: ajustar els termòstats, reduir els nivells d'il·luminació, reduir les ràtios de ventilació, etc.
2. Projectes que requereixen d'una inversió econòmica significativa i que consisteixen en implantar millores energètiques dels equips actuals o substituir-los per altres amb tecnologies més avançades i, per tant, més eficients; per exemple, substituir sistemes de volum constant o de doble conducte per sistemes de VAV, implantar variadors de freqüència en bombes i ventiladors, i sistemes de control que permetin adaptar i ajustar el subministrament de flux tèrmic a la demanda del sistema.

El fet que el manteniment de la instal·lació sigui el correcte fa que el gestor pugui aconseguir la millor eficiència energètica en els sistemes i components. Per aconseguir que augmenti l'eficiència caldria un projecte de substitució dels sistemes i equips actuals per d'altres de nova generació i, per tant, amb un rendiment millor.

Exemple

Una unitat refredadora centrífuga que ha funcionat durant 10 anys amb un manteniment rutinari té un coeficient d'eficiència típic (COP) a plena càrrega de 3,5 aproximadament. Un programa de manteniment adequat que consisteixi en dues inspeccions anuals amb la corresponent neteja dels tubs dels bescanviadors, equilibrar i tractar l'aigua del circuit i monitoritzar possibles fuites de refrigerant, donaria un increment d'eficiència que permetria obtenir un COP de fins a 4,5 i això conduiria a un estalvi energètic de fins un 25%.

Per a refredadores de dimensions mitjanes i grans (a partir de 550.000 F/h), el cost de manteniment s'hauria de recuperar amb els estalvis d'energia, en qüestió de pocs mesos (2 a 4). Actualment, les refredadores centrífugues a plena càrrega donen un COP de l'ordre de 6,4.

Quina seria la millor opció per a una instal·lació determinada? Substituir la refredadora dona un estalvi energètic superior, però la inversió inicial és molt més elevada. L'opció d'un manteniment adequat dona menys estalvi, però un retorn molt més ràpid. La millor opció s'haurà de seleccionar d'acord amb la instal·lació. Si la refredadora és relativament nova (5 a 6 anys), la millor opció cost/eficiència serà la d'establir un programa de manteniment adequat. Si, pel contrari, la refredadora treballa en condicions molt allunyades de la seva eficiència estàndard i està en un valor proper a la vida útil d'aquest equip, seria millor l'opció de substituir-la per una refredadora nova d'alta eficiència energètica.

Avaluació del funcionament energètic d'un edifici

Per a optimitzar l'eficiència energètica del funcionament de les instal·lacions d'un edifici, cal que els gestors energètics coneguin quin és el grau d'eficiència de les seves instal·lacions, quant a l'ús de l'energia es refereix, i comparar-ho amb altres edificis (benchmarking).

Aquesta comparativa amb altres edificis similars o benchmarking, permet establir objectius de millora energètica més ambiciosos, que no s'obtidrien si únicament es realitzés un comparatiu històric amb la pròpia instal·lació.

El seguiment de l'eficiència energètica d'un edifici no ha de ser un esforç puntual, sinó que s'ha de realitzar de manera regular i contínua.

Hi ha raons fonamentals que justifiquen la importància de l'avaluació contínua del funcionament energètic, o eficiència energètica d'un edifici o instal·lació:

- Les instal·lacions canvien. Canvien també els sistemes, l'edifici, les funcions que té, els horaris, les persones que l'ocupen. Tots aquests canvis tenen un impacte positiu o negatiu en la despesa energètica de l'edifici. Si en l'anàlisi d'eficiència energètica global d'un edifici no es consideren aquests factors de canvi, les conclusions de l'avaluació seran falses i també les conclusions del que caldria implantar per a millorar l'eficiència de la instal·lació.
- Els sistemes d'una mateixa instal·lació canvien amb el pas del temps: els components es deterioren, es desgasten, els sistemes perden calibratge i s'han de recalibrar, les comportes i les vàlvules es bloquegen, apareixen fuites (d'aire, de refrigerant, d'aigua), hi ha components que fallen i sistemes que funcionen fora dels paràmetres de disseny... Tots aquests canvis tenen una incidència en la despesa energètica de l'edifici.

Cal insistir en que no n'hi ha prou amb estudiar aïlladament l'evolució de les ràtios de funcionament d'una instal·lació al llarg del temps. S'han de comparar amb altres edificis similars.

El fet que una instal·lació funcioni aparentment de manera correcta i ofereixi les condicions de confort que es requereixen en un edifici, no significa que, efectivament, funcioni de manera correcta. Cal comparar-la amb altres instal·lacions similars per tal que el gestor energètic pugui saber el grau de millora que pot aconseguir en la instal·lació.

Mesura del funcionament de la despesa energètica d'edificis

Una de les principals dificultats en les comparacions d'eficiència energètica entre instal·lacions o edificis està en escollir mesures significatives. Tot i que és senzill recollir les dades d'ús d'energia de manera diària, setmanal, mensual o anual, les diferències entre els diferents edificis i com es fan funcionar, o el tipus de combustible que utilitzen fa molt difícil treure'n conclusions significatives només pel fet de comparar la despesa total anual.

Per tant, tots els valors que es vulguin comparar s'hauran d'homogeneïtzar amb una mateixa referència que els faci comparatius. Aquest fet es refereix per exemple a la relació de consums en superfícies (útils o construïdes!) i període de temps (kWh/m²·a) o de potència instal·lada d'una llumenera amb els seus equips auxiliars en la superfície de l'espai a una il·luminació definida (W/m² a 100 lux). També és primordial no comparar energia elèctrica sense reflexió amb energia tèrmica, ja que poden haver causat un consum d'energia primària molt diferent. A grans trets es pot generalitzar que, per a la producció i el subministrament d'un kWh elèctric a disposició del client final, ha estat necessari el consum de tres kWh d'energia primària (degut

al factor de rendiment a la central generadora i les pèrdues a la xarxa de distribució). Això significa que 1 kWh elèctric utilitzat, per exemple, en un sistema de calefacció, requereix d'un sistema de bomba de calor amb un coeficient de rendiment sobre tres per ser igual d'eficient en l'àmbit de l'energia primària com 1 kWh de gas. Afinant més, utilitzant com a denominador comú la quantitat d'emissions de CO₂ eq com a principal preocupació per minimitzar l'efecte d'hivernacle de la Terra, és necessari conèixer les emissions associades a la producció elèctrica i la combustió d'energies fòssils. Aquest índex contempla totes les energies primàries utilitzades per a la generació elèctrica, sigui d'origen fòssil, nuclear, hidràulica, o d'altres energies renovables, però, evidentment, varia segons autonomies, estats o continents i cal prendre la decisió sobre quin índex aplicar.

Factors que determinen la despesa i l'eficiència energètica

La despesa energètica d'un edifici no ve determinada únicament per l'eficiència dels sistemes instal·lats i les condicions tèrmiques de l'edifici. Hi ha molts altres factors involucrats. S'han fet estudis que demostren que les despeses individuals de dos edificis idèntics en un mateix lloc geogràfic i funcionant amb el mateix horari, poden ser significativament diferents.

Factor personal

Les persones són un factor decisiu per a determinar l'ús i l'eficiència energètica d'un edifici. Se sap que un edifici amb sistemes eficients i d'alt rendiment té més consum energètic que un de convencional si les persones del segon tenen més consciència de la despesa energètica i les altres no. Els termòstats es poden fixar per sobre o per sota del punt de consigna desitjat; es poden apagar o no els llums quan desocupen una sala o zona; moltes vegades s'obren finestres quan els aparells de climatització estan en marxa; les comportes per a renovar aire poden estar molt obertes o just el necessari.

Aquesta influència de l'usuari en la temperatura de consigna resulta obvi quan es recorda que augmentar un grau la temperatura de consigna en funcionament de calefacció representa entre un 5 i 7% d'increment de consum energètic per calefacció; el mateix que passa quan per cada grau de menys funcionant en refrigeració augmenta entre un 8 i 10% el consum d'energia per refrigeració.

Taula 1.1. Emissions de CO₂eq associades a la producció de calor i electricitat.

Combustible	Kg CO ₂ /kWh ^t	Electricitat	Kg CO ₂ /kWh ^e
Gasoil ¹	0,264	Mix Europa 25	0,510
Gas natural ¹	0,201	Mix Estat espanyol	0,464
Biomassa	0,000	Mix Catalunya	0,230

Taula 1.2. Exemple de consum energètic segons l'ocupació o règim de funcionament. Font: *Commercial Buildings Energy Consumption and Expenditures*, 1992.

Nombre d'hores setmanals de funcionament	Consum energètic	
	(kWh/m ² · any)	(Kcal/m ² · any)
≤ 40 8 h/dia 5 dies/setmana	105	90.300
40 a 60 10-12 h/dia 5 dies/setmana	210	180.600
61 a 84 12 h/dia 7 dies/setmana	250	215.000
85 a 120 24 h/dia 5 dies/setmana	310	265.000
168 24 h/dia 7 dies/setmana	460	395.000

¹ Plan de fomento de las energías renovables, annex I. www.idae.es

Hi ha tants factors lligats a les persones que ocupen i fan funcionar un edifici, que és inviable llistar-los tots. N'hi ha alguns, però, que són determinants per a l'eficiència energètica d'un edifici. Per a poder-los identificar, cal recórrer tot l'edifici durant les hores d'ocupació i, després, durant les hores en què està desocupat, i examinar les activitats de manteniment que es realitzen segons el protocol previst per a la instal·lació en qüestió.

Factor tipus d'edifici

Aquest factor es refereix al tipus d'activitat que es realitza en l'edifici i que determina la despesa energètica tant directament (per la pròpia activitat) com indirecta (per les operacions que comporta el tipus d'activitat). Un edifici utilitzat per un centre de càlcul que fa servir ordinadors de càlcul i processament de dades de manera extensiva, tindrà un consum d'energia més elevat perquè aquests aparells necessiten un sistema de refrigeració durant tot l'any, 7 dies/setmana i 24 hores/dia. Un altre exemple és el cas dels centres sanitaris que disposen de laboratori i/o servei de radiologia davant de la resta de centres en què només hi ha atenció de consulta externa. Aquestes dues activitats requereixen refrigeració durant tot l'any, de manera que els centres sanitaris amb aquests serveis tenen una despesa energètica molt més elevada que la resta.

Factor d'ocupació o de funcionament

Les hores de funcionament d'un edifici són funció del tipus d'activitat que s'hi faci. Pot ser des d'unes hores, a 24 hores dia. La despesa energètica anual per un determinat edifici, és òbviament directament proporcional al nombre d'hores que funcioni.

Factor clima i respostes constructives

És el primer factor que s'analitza a l'hora de determinar el consum energètic d'un edifici. Com més extrem sigui el clima, més elevada serà la despesa energètica.

La limitació de la despesa energètica al factor clima es realitza millorant l'embolcall de l'edifici, principalment el grau d'aïllament, la qualitat dels vidres, el control solar, l'activació de la massa tèrmica, ventilació creuada, etc. Evidentment, hi ha molts altres factors arquitectònics i constructius que influeixen en el consum energètic de l'edifici com ara la forma de l'edifici, la seva orientació, la relació entre superfícies opaques i transparents, etc., però que no seran discutides en el marc d'aquesta guia, tal com s'ha exposat a la primera pàgina de la introducció.

Per a mesurar l'impacte del clima en la despesa energètica s'utilitzen els graus dia de calefacció o refrigeració. Els graus dia de calefacció per un dia concret representen la mitjana de les temperatures exteriors enregistrades durant aquest dia i que han estat per sota d'una temperatura base determinada (normalment 15°C). El nombre total de graus dia de calefacció GDC, per la temporada de calefacció, es troba sumant els valors de cada dia.

Anàlogament, els graus dia de refrigeració (GDR) representen la mitjana de les diferències entre una temperatura base (normalment 21°C) i la temperatura exterior registrada al llarg del dia, sempre que sigui superior a la temperatura base (T_b). Així, el 1r. dia de refrigeració equival a 1°C per sobre d'una T_b definida durant un temps de 24h. Tot i que l'energia per a escalfar i refredar un edifici varia en funció del clima, hi ha altres factors com la il·luminació, la impulsió d'aire per ventilar i d'altres càrregues elèctriques que no depenen del clima.

Factor d'envelliment

La despesa energètica d'un edifici també depèn de l'edat que tingui. Part d'aquesta variació es deu al procés d'envelliment dels aparells instal·lats. L'eficiència de qualsevol instal·lació o equip disminueix amb el pas del temps per molts factors: creixement de crostes a les superfícies de transferència de calor, brutícia que es diposita a l'interior dels conductes dels sistemes de climatització, desgast per funcionament que incrementa les toleràncies dels components dels sistemes de control, etc. Tots aquests factors contribueixen a fer disminuir de l'eficiència del funcionament amb l'edat de la instal·lació.

També cal tenir en compte que els edificis i aparells més nous es realitzen basant-se en la normativa actual (CTE), molt més exigent que la normativa de fa uns anys. Una refredadora centrífuga actual d'alta eficiència utilitza la meitat d'energia per a produir la mateixa quantitat de fred que la que feia servir una unitat centrífuga de fa 10 anys.

Altres factors. Ús efectiu de les dades del funcionament energètic

Hi ha una àmplia gamma d'altres factors que determinen la despesa energètica d'un edifici. El consum energètic està molt influït pel tipus d'aparells instal·lats, tipus de combustible, ajustament dels aparells i equips, com es fan funcionar, com es mantenen...

Un altre factor determinant és el grau de rigor amb què es faci el seguiment de la gestió energètica. Els sistemes de gestió energètica s'utilitzen en qualsevol tipus d'instal·lació, independentment de la dimensió que tinguin, amb resultats molt positius, i particularment en edificis o instal·lacions en què els gestors energètics utilitzen els aparells fent-ne una anàlisi i seguiment diaris per tal de reduir al màxim l'ús de l'energia.

Els gestors energètics han de tenir present que el fet de tenir equips d'alta eficiència energètica no és suficient per aconseguir automàticament un comportament eficient de l'edifici. També cal tenir en compte que abans de fer un test de referència amb altres edificis similars, cal que les dades siguin comparables d'acord amb els temps d'utilització i funcionament entre edificis.

Els pressupostos de les previsions de consum energètic d'un edifici són una eina efectiva per a avaluar el funcionament energètic d'un edifici i per a identificar problemes potencials d'eficiència energètica.

El gestor energètic s'ha de plantejar dues qüestions:

- Quin grau d'efectivitat té l'ús de l'energia del meu edifici amb relació a altres edificis similars?
- Funciona l'edifici de la manera més eficient possible?
o existeix una manera de millorar l'eficiència de la instal·lació?

Després d'alguns anys de recopilar dades de funcionament energètic, es podrà crear un patró que mostrarà quina variació es pot preveure en l'ús de l'energia davant de variacions de la climatologia.

Finalment cal remarcar que és important disposar del màxim nombre de dades per a poder fer una avaluació acurada del funcionament energètic de l'edifici. Si es disposa de dades mensuals, setmanals o fins i tot diàries, seran de gran valor quan es vulguin identificar problemes específics en els sistemes energètics, especialment per a grans edificis o instal·lacions.

1.4. Estructura de la guia

La guia s'estructura en els principals apartats que componen el conjunt d'instal·lacions d'un edifici:

- Climatització i aigua calenta sanitària.
- Ventilació.
- Il·luminació.
- Instal·lació elèctrica.
- Sistemes de gestió energètica.

Cadascun d'aquests apartats dona una introducció als conceptes bàsics així com una descripció de les principals tecnologies que hi ha al mercat; recomanacions generals amb vista a una possible inversió en instal·lacions més eficients o basades en energies renovables; consells pràctics de manteniment de les instal·lacions actuals així com consells per als usuaris de l'edifici per intentar donar un coneixement bàsic de com funcionen i per a implantar mesures d'estalvi. Cada conjunt d'instal·lacions conclou amb un exemple de bones pràctiques.

En un capítol propi es donen pautes bàsiques per a un manteniment correcte de les instal·lacions. Aquestes indicacions es limiten principalment l'interval de temps recomanat per a fer les operacions convenients de manteniment, creant un pla de manteniment, però, evidentment, no poden substituir les mesures concretes que els fabricants indiquen per a cada equip, els anys de construcció de maquinària, els sistemes específics, etc.

Adicionalment, un apartat de la introducció resumeix els principals objectius i resultats que han de tenir en compte les auditories energètiques les quals, en la majoria dels edificis, les portaran a terme consultories externes i serviran de base per a conèixer el consum i l'estat de les instal·lacions i per a prioritzar mesures de millora.

Al segon element amb més impacte ambiental en les nostres actuacions, l'aigua, i atesa la creixent importància que va adquirint, se l'hi ha dedicat un capítol propi per tractar com gestionar-la eficientment. Altres conceptes innovadors de subministrament d'energia es troben resumits per separat atesa la influència transversal que tenen en diferents aspectes com ara el finançament o la gestió externalitzada.

Algunes de les opcions aquí descrites, a més, són únicament viables en circumstàncies molt concretes i parcialment només en edificis de nova construcció. Finalment es descriu un edifici singular, el Centre d'Atenció Primària Roger de Flor a la dreta de l'Eixample barceloní, que ha estat concebut i realitzat incorporant-hi al màxim criteris d'edificació sostenible, tant pel que fa al disseny de l'edifici com amb relació als aparells de funcionament, clima i aigua.

1.5. Les auditories energètiques

Per tal de poder diagnosticar quin és el grau d'eficiència energètica d'un edifici, cal que es faci una auditoria o diagnòstic energètic, incloent una anàlisi acurada del funcionament de l'edifici des del punt de vista energètic.

Aquest estudi, que habitualment es contracta a una consultora externa, té com a objectiu principal detectar el grau del possible malbaratament d'energia en un edifici i prioritzar propostes de millora.

Tot i aquest suport d'experts exteriors, és important que el gestor energètic tingui el criteri per contrastar la informació i participar activament en les decisions necessàries per millorar l'eficiència, que pot ser tan senzill com ajustar alguns paràmetres a les instal·lacions existents o tan complex com renovar sistemes sencers.

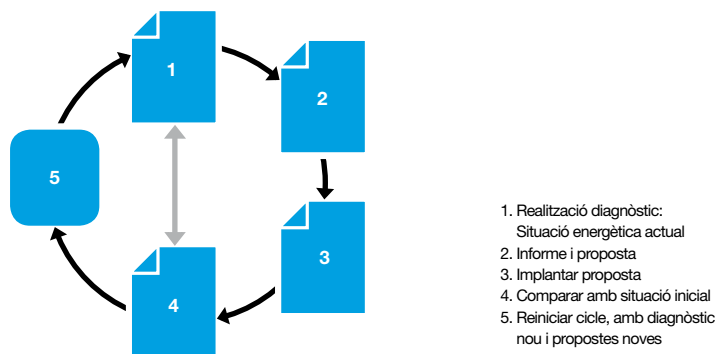
Els objectius que persegueix la realització d'auditories en els edificis són els següents:

- Fomentar l'ús racional de l'energia.
- Promoure la utilització d'energies renovables o noves tecnologies d'alta eficiència energètica.
- Millorar la gestió energètica amb la implantació de sistemes de gestió altament desenvolupats.

La realització d'auditories, tindran com a mínim el contingut següent:

- Descripció de l'orientació de l'edifici.
- Descripció de la pell de l'edifici: tancaments, guanys per radiació solar, etc.
- Activitat del centre: avaluació de les càrregues tèrmiques internes i perfil d'ús.
- Descripció dels serveis energètics: climatització, il·luminació, ACS, altres.
- Consum elèctric degut a la il·luminació.
- Consum elèctric degut a la refrigeració.
- Consum tèrmic de la refrigeració. Avaluació del COP o eficiència energètica dels equips productors de fred. Aquesta anàlisi també es pot fer de manera teòrica a través de les característiques tècniques dels equips.
- Consum elèctric o de gas degut a la calefacció.
- Avaluar rendiments actuals dels equips de calefacció.
- Anàlisi de l'estat actual dels equips productors de fred i calor.
- Estat general del manteniment de les instal·lacions: estat de la calorifugat, fuites, rovellats...
- Donar estimació de la pèrdua de rendiment en funció de l'edat dels equips.
- Consum elèctric total de l'edifici.
- Consum d'aigua.
- Establir ràtios de consum per m² i any (amb indicació de la superfície de referència, útil o construïda), i donar recomanacions i dades comparatives.
- Anàlisi del sistema de control actual.

Figura 1.1. Cicle de diagnòstic, proposta, implantació, comparació i reiniciació.





2. Climatització

La climatització d'un edifici consisteix en un procés mitjançant el qual es fa un tractament de les condicions ambientals interiors a cadascun dels diversos compartiments o dependències que té. En aquest procés es tracta i controla de manera simultània, la temperatura, la humitat, la neteja i la distribució de l'aire, per tal de donar el confort, benestar i higiene necessaris per a les persones que l'utilitzen.

El procés de la climatització inclou:

- Escalfar o refredar l'ambient interior.
- Mantenir els nivells correctes de ventilació i filtrat.
- Tractar l'aire per tal de mantenir unes condicions de qualitat d'aire i de confort requerides, dins les quals es consideren els paràmetres següents:
 - Temperatura.
 - Humitat relativa.
 - Velocitat (sortida pels difusors, distribució).
 - Puresa (pols, olors, bacteries, etc.).
- Mantenir un nivell de soroll que no molesti els usuaris de l'edifici.
- Realitzar la regulació i control simultani dels principals paràmetres responsables per al confort.

L'eficiència del sistema de climatització i consegüentment l'estalvi d'energia que es pot aconseguir està directament relacionada amb els elements següents:

- Qualitat dels tancaments de l'edifici. L'edifici ha de tenir les característiques necessàries per tal que l'intercanvi tèrmic no desitjat entre l'ambient exterior i l'ambient interior sigui mínim, minimitzant les pertorbacions tant exteriors com interiors.

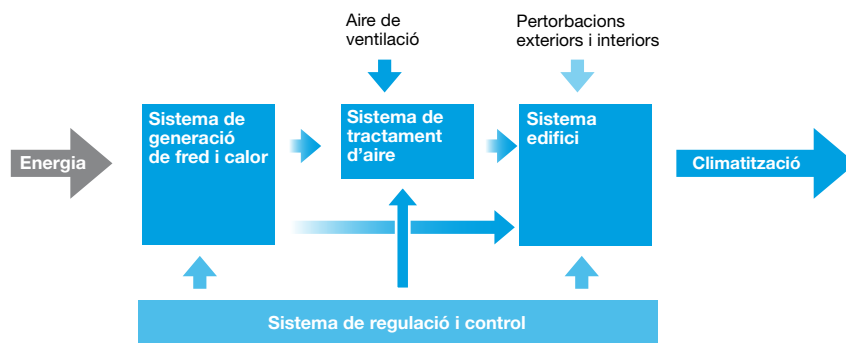


Figura 2.1. Procés de climatització.

- El tipus d'unitat productora de fred i calor. En el mercat hi ha diferents tecnologies, tant d'aparells de calefacció com de refrigeració.
- El sistema de distribució de fred i calor. Els elements productors de fred i calor seran més o menys eficients segons el sistema o tipus d'instal·lació de distribució.
- El sistema de tractament d'aire i ventilació. El sistema es pot optimitzar segons el tipus de components que configurin el climatitzador o unitat de tractament d'aire (UTA), i segons la possibilitat de poder treballar en règim de *free cooling* o sistema de refredament gratuït en les èpoques intermèdies (primavera i tardor).
- El sistema de gestió de la climatització. Una bona gestió dels fluxos energètics optimitzarà l'ús de tots els components i, per tant, el farà més eficient.

2.1. Confort

L'ambient interior d'un edifici ha de complir tots els tipus de confort: tèrmic, higiènic, acústic i lumínic.

Amb vista als principals objectius de la climatització d'edificis, la garantia de les condicions adequades de temperatura i humitat així com de l'aire interior, la descripció bàsica següent se centra únicament en els apartats de confort tèrmic i higiènic. Per descomptat, el sistema de climatització de l'edifici també ha de garantir que els nivells de soroll produïts per les màquines de clima no sobrepassin valors establerts.

2.1.1. Confort tèrmic

El cos humà contínuament genera calor a partir de l'oxidació dels aliments (metabolisme), amb una ràtio de producció que varia entre els 100 W i els 1.000 W, en funció del tipus d'activitat realitzada. La temperatura del cos humà s'ha de mantenir en un marge molt estret si es vol evitar la sensació de desconfort. Les dues vies de què disposa l'ésser humà per evitar el desconfort són:

- La regulació de l'ambient en què es troba el cos, així com el seu grau d'activitat i tipus de roba.
- Les respostes fisiològiques amb les quals el cos s'adapta a l'ambient, els mecanismes de termoregulació: en ambients de molta calor els vasos sanguinis es dilaten (augmenta el flux sanguini superficial) i hi ha una regulació evaporativa amb la transpiració; en ambients de molt fred hi ha restricció del flux sanguini superficial i les tensions musculars, calfreds i l'activitat espontània del tremolar són maneres que utilitza el cos per generar calor.

Balanç energètic del cos humà

El cos humà genera l'energia metabòlica M necessària per a l'activitat de la persona. Una part es gasta en treball muscular W i la diferència entre aquestes dues ens dona la calor generada Q_{cos} , la qual es pot emmagatzemar amb el consegüent increment de temperatura del cos o dissipada a l'ambient a través de la pell (Q_{pell}) i la respiració (Q_{resp}). La dissipació d'aquesta calor implica els diferents mecanismes de transmissió de calor: conducció, convecció i radiació.

² La calor sensible és la calor que quan se subministra o s'extreu d'una substància, en fa variar la temperatura. Així, un escalfament sensible no modifica el contingut d'humitat de l'aire, i un refredament sensible no produeix condensació del vapor d'aigua que hi ha en l'aire.

Variables personals	Variables ambientals
Grau de l'activitat realitzada	Temperatura de l'aire (Ta)
Tipus de roba usada	Temperatura mitjana radiant (Tr) o radiació tèrmica ambiental
	Humitat relativa (HR)
	Velocitat relativa de l'aire (Va)

Taula 2.1. Tipus de variables que afecten el balanç energètic.

Activitat	met	Activitat	met
Dormint	0,7	Treball general de laboratori	1,0 a 1,4
Assegut, quiet	1,0	Treballs d'oficina diversos	1,1 a 1,3
Dret, relaxat	1,2	Treball lleuger en indústria elèctrica	2,0 a 2,4
Caminant en terreny anivellat a 3,2 km/h:	2,0	Neteja d'espais	2,2 a 3,4
Caminant en terreny anivellat a 4,8 km/h:	2,6	Exercicis de gimnàstica	3,0 a 4,0
Caminant en terreny anivellat a 6,4 km/h:	3,8	Bàsquet, pista coberta	5,0 a 7,6

Taula 2.2. Valors típics d'energia metabòlica generada per una persona adulta realitzant diferents activitats de manera contínua.

Tipus de roba	clo	m²K/W
Despullat (sense roba)	0	0
Roba d'estiu	0,7	0,11
Roba d'entretemps	0,8 a 1	0,12 a 0,15
Vestit sencer	1,25	0,19
Roba d'abric	1,5 a 2	0,23 a 0,31
Roba per quan fa molt fred	3 a 4	0,46 a 0,62

Taula 2.3. Valors típics d'aïllament segons tipus de roba.

- Pèrdues de calor sensible²: per conducció, convecció i radiació de la pell.
 $Q_s(\text{pell}) = Q_s \text{ Cond} + Q_s \text{ Convec} + Q_s \text{ Rad}$
- Pèrdues de calor latent³: evaporació de la suor i humitat a través de la pell.
 $Q_l(\text{pell}) = Q_{\text{Levap-suor}} + Q_{\text{Lhumitat-pell}}$
- Pèrdues de calor sensible i latent a través de la respiració.
 $Q_{\text{resp}} = Q_{\text{Sresp}} + Q_{\text{Lresp}}$ $M - W = Q_{\text{cos}} = Q_{\text{pell}} + Q_{\text{resp}}$

Quantificació d'algunes de les variables més importants

Superfície del cos humà

La superfície (A_D) del cos humà, en m², es pot avaluar a partir de l'equació següent:

$$A_D = 0,202 \text{ m}^{0,425} \text{ h}^{0,725}$$

m és la massa del cos en Kg

h és l'altura de la persona en m

Per una persona de 1,73 m i una massa de 70 Kg, s'obté una superfície de 1,80 m²

Energia metabòlica M

La unitat utilitzada per a expressar l'energia metabòlica és el met, que és l'energia metabòlica per unitat de superfície del cos humà, generada quan està assegut i quiet.

³ La calor latent és la calor que quan se subministra o s'extreu d'una substància, no en fa variar la temperatura. És, per tant, la calor que contribueix a canviar l'estat d'una substància: vaporització d'aigua o condensació de l'aigua que conté l'aire.

Taula 2.4. Equacions per a determinar els coeficients de transferència de calor per convecció.

Equació *	Límits de velocitat	Condicció
$h_c = 8,3 V^{0,6}$ $h_c = 3,1$	$0,2 < V < 4,0$ $0 < V < 0,2$	Assegut amb aire en moviment
$h_c = 2,7 + 8,7 V^{0,67}$ $h_c = 5,1$	$0,15 < V < 1,5$ $0 < V < 0,15$	Ajagut amb aire en moviment
$h_c = 8,6 V^{0,53}$	$0,5 < V < 2,0$	Caminant amb aire quiet
$h_c = 5,7 (M - 0,85)^{0,39}$	$1,1 < V < 3,0$	Actiu amb aire quiet
$h_c = 14,8 V^{0,69}$ $h_c = 4,0$	$0,15 < V < 1,5$ $0 < V < 0,15$	Dret amb aire en moviment

* h_c en $W/(m^2 K)$, V en m/s , i M en unitats met. 1 met=58,2 W/m^2 .

Figura 2.2. Zones de confort tèrmic en el diagrama psicromètric segons l'ASHRAE.

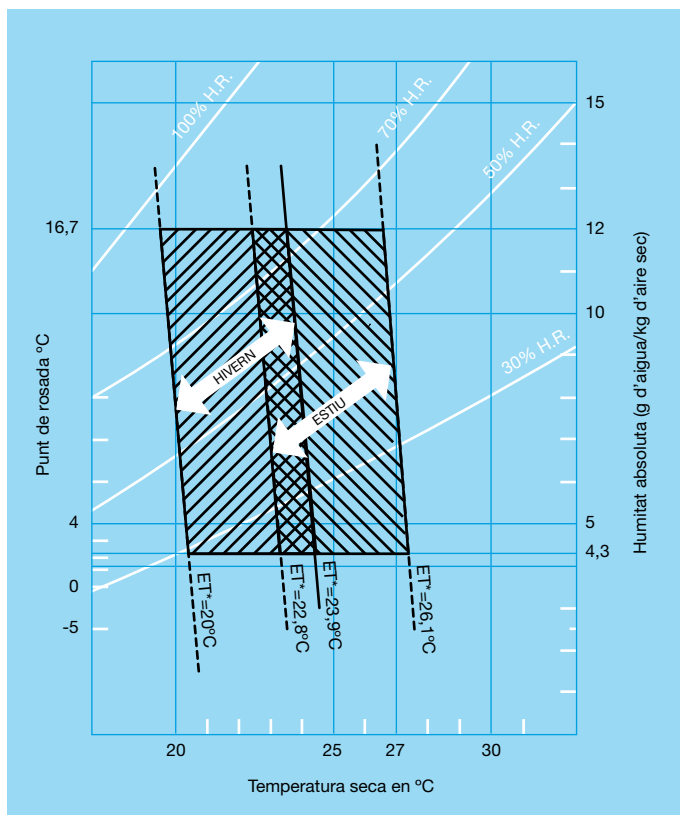
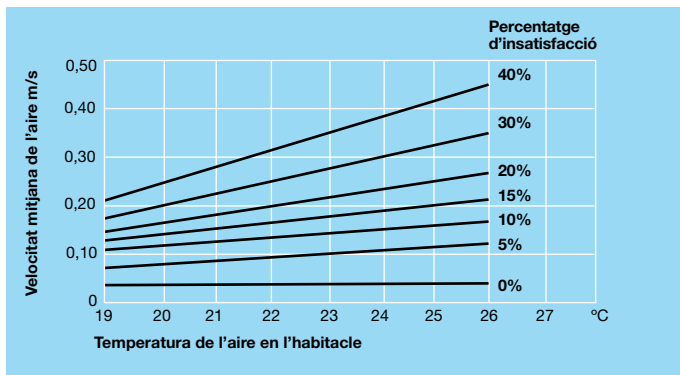


Figura 2.3. Influència de la velocitat de l'aire al confort tèrmic.



1 met $\approx 58,2 \text{ W/m}^2 = 50 \text{ Kcal/h m}^2$.

Per a una persona estàndard (amb una superfície d'1,80 m²) en activitat sedentària (1 met), l'energia metabòlica és aproximadament de 100 W.

Treball muscular W

El treball muscular sempre és molt més petit que l'energia metabòlica generada, de manera que habitualment no es té en compte per a càlculs de confort.

Aïllament de la roba I_a

Per als càlculs de confort és important conèixer la resistència tèrmica de la roba al pas de la calor desde la pell a l'ambient. Aquesta resistència s'expressa en unitats clo. Un clo és aproximadament la resistència tèrmica que ofereix la roba utilitzada en ambients interiors durant l'hivern, i equival a 0,155 m² K/W.

Temperatura mitjana radiant T_r

És una mesura de la influència de la radiació ambiental sobre el cos.

Es defineix com la temperatura uniforme que tindria un recinte imaginari que intercanviés amb el cos la mateixa quantitat de calor per radiació que el recinte de temperatura no uniforme actual.

El valor de la T_r es determina per l'expressió següent, resultant de fer un balanç de calor per radiació entre el cos i les superfícies que el rodegen.

$$T_r^4 = \sum_i^N T_i^4 \cdot F_{p-i}$$

T_i és la temperatura de la superfície.

F_{p-i} és el factor de vista entre la persona i la superfície i, que representa el percentatge de radiació que abandona la superfície de la persona, i arriba directament a la superfície i.

Si les diferències de temperatura entre les diferents superfícies que veuen el cos no són molt grans, la T_r, es pot estimar per l'expressió:

$$T_r = \sum_i^N T_i \cdot F_{p-i}$$

S'han dissenyat diferents tipus de termòmetres per a mesurar directament la T_r com, per exemple, el termòmetre d'esfera de Vernon.

Temperatura operativa T_o

És una mitjana ponderada de les temperatures T_r i T_a (temperatura de l'aire), amb relació als coeficients de transferència de calor on h_r i h_c són els coeficients de transferència de calor per radiació i convecció respectivament.

$$T_o = \frac{h_r \cdot T_r + h_c \cdot T_a}{h_r + h_c}$$

El valor de h_r per temperatures típiques d'interior de locals, és pràcticament constant. Podem considerar: h_r > 4,7 W/m² °C. El valor d'h_c es podrà determinar a partir d'alguna de les expressions de la taula 2.4.

Temperatura efectiva, ET

És un indicador del confort ambiental que combina en una única variable la influència de les variables personals i ambientals. Es defineix com la temperatura que, en un ambient amb humitat relativa del 50%, provocaria en l'individu, la mateixa pèrdua de calor que la que es produeix en les condicions actuals. L'ET depèn del grau d'activitat i de la roba de la persona, que caldria especificar per a cada situació considerada. Resulta, per tant, impossible realitzar gràfics generalitzats d'ET.

Temperatura efectiva estàndard ET*

És la temperatura efectiva definida a partir d'unes condicions típiques determinades. Aquestes condicions són les corresponents a una situació normal a l'interior d'un local:

$$I_d = 0,6 \text{ clo} \quad M = 1 \text{ met} \quad V < 0,1 \text{ m/s} \quad T_r = T_a$$

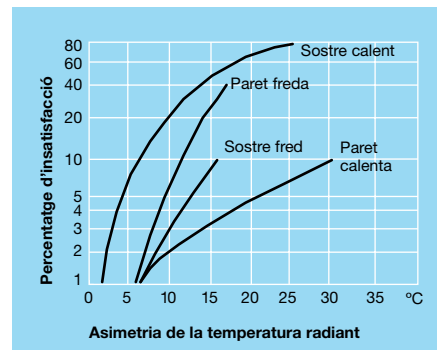
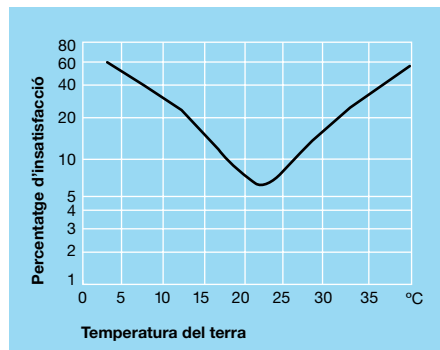
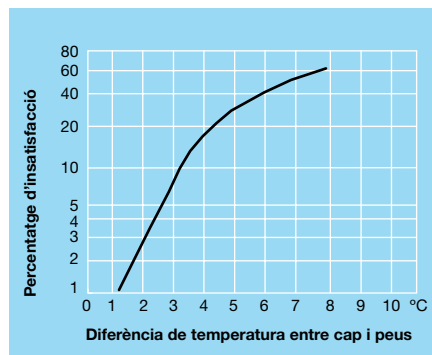
Altres variables i paràmetres que intervenen en el confort

És important tenir en compte que el confort és un paràmetre subjectiu i, per tant, no existeix una condició de confort universal en la qual el 100% de les persones se sentin bé. En aquest sentit es mesura la qualitat del confort en percentatge de persones insatisfetes amb una determinada condició.

Apart de les variables comentades, en el confort tèrmic hi influeix una sèrie de variables secundàries que en determinades situacions s'ha de tenir en compte.

- Edat, sexe i estació de l'any.
- Gradient vertical en la temperatura de l'aire a l'alçada de cap i de peus.
- Temperatura del terra.
- Asimetria de la radiació tèrmica.

Figura 2.4. Influència de diferents variables secundàries al confort tèrmic.



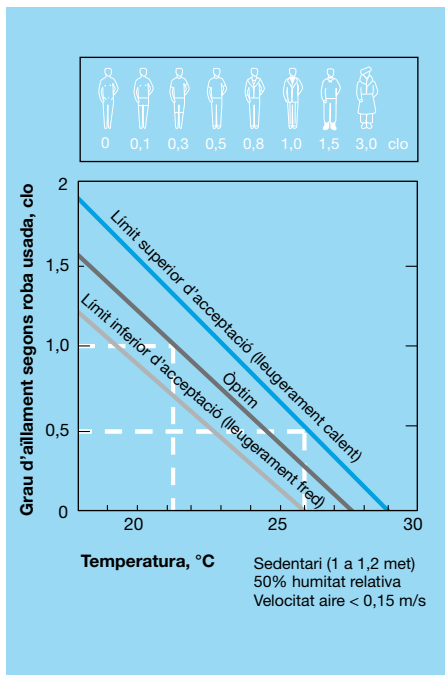


Figura 2.5. Confort segons grau d'aïllament i temperatura.

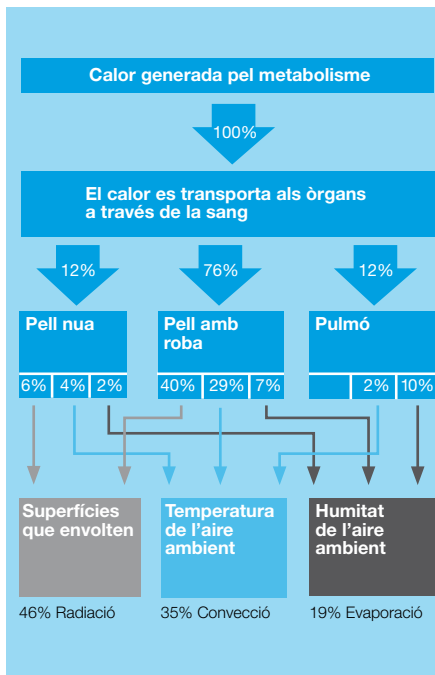


Figura 2.6. Proporcions de transmissió de calor generada pel metabolisme.

Les proporcions per tal de tenir confort tèrmic, es regulen pels tipus de transferència de calor següents:

40 a 50%	Radiació	degut a la diferència de temperatura entre els cossos
30 a 35%	Evaporació	degut a la calor alliberada a través de la suor i respiració
15 a 20%	Convecció	degut a la temperatura i a la velocitat de l'aire
2 a 5%	Conducció	degut a la diferència de temperatura entre superfícies en contacte

Paràmetre	Estiu	Hivern
Temperatura seca: Ts	25°C ± 1°C	20 °C ± 1°C
Humitat relativa: HR	50% ± 5%	50% ± 5%
Velocitat aire: Va	≤ 0,15 m/s	≤ 0,10 m/s
Nivell acústic en zona de treball	Durant el dia: 40 a 45 dBA. Durant la nit: 30 a 35 dBA	

Taula 2.5. Valors de confort per diferents paràmetres.

2.1.2. Confort higiènic

El confort higiènic en edificis es refereix principalment a la qualitat de l'aire interior. Desafortunadament hi ha una quantitat important d'edificis en què els ocupants pateixen de diferents símptomes degut a una manca de qualitat d'aire, com de dessecació de les membranes de la mucosa o de mals de cap per ambients molt carregats de CO₂ i altres emissions.

L'aire de l'interior d'un edifici ha de complir dos requisits:

- Els ocupants l'han de percebre com un aire fresc.
- Ha de tenir la qualitat adequada per evitar qualsevol malestar o risc negligible per a la salut.

El cos humà percep la qualitat de l'aire a través de l'olfacte sensible als compostos olorosos i un sentit químic situat a les membranes mucoses del nas i els ulls, sensible als compostos irritants.

Taula 2.6. Valors de disseny de la qualitat de l'aire interior.

Qualitat	% d'insatisfets	Qualitat (dpol)	Ventilació (l/s.olf)
Alta qualitat	10	0,6	16
Qualitat estàndard	20	1,4	7
Baixa qualitat	30	2,5	4

Taula 2.7. Càrrega de pol·lució deguda als ocupants.

Activitat	Olf / ocupant
Sedentaris, 1-1,2 met: 0% de fumadors	1
Sedentaris, 1-1,2 met: 20% de fumadors	2
Sedentaris, 1-1,2 met: 40% de fumadors	3
Sedentaris, 1-1,2 met: 100% de fumadors	6
En moviment, poc actius, 3 met	4
En moviment, semi actius, 6 met	10
En moviment, molt actius, 10 met	20

(per als fumadors es considera una mitjana d'1,2 cigarretes/h)

Taula 2.8 Valors d'ocupació als edificis (pers./m²).

Ús de l'edifici	Densitat d'ocupació (pers./m ²)
Oficines	0,15
Sales de conferències	0,5
Teatres i cinemes	1,5
Aules d'escoles	0,5
Habitatges	0,05

Taula 2.9. Càrrega de pol·lució deguda als edificis.

Tipus d'edifici	Emissió de pol·lució (olf/m ²)	
	Valor mitjà	Interval
Oficines	0,3	0,02 – 0,95
Escoles (aules)	0,3	0,12 – 0,54
Teatres i cinemes	0,5	0,13 – 1,32
Edificis amb materials poc contaminants		0,05 – 0,10

La unitat que mesura la qualitat de l'aire es el pol (del llatí pollutio). 1 pol és la qualitat de l'aire contingut en un espai en què es troba una font de pol·lució d'1 olf amb una ventilació d'1 l/s d'aire no contaminat. 1 olf (del llatí olfactus) correspon a l'emissió de pol·lució originada per una persona estàndard.

$$1 \text{ pol} = 1 \text{ olf} / 1 \text{ l/s}$$

La càrrega total de pol·lució d'un local és el resultat de la suma de valors de pol·lució emesos per cadascuna de les fonts contaminants que hi ha al local o edifici:

- Els ocupants.
- L'edifici: mobles, estores, cortines, catifes, i el propi sistema d'AC.

Per al càlcul de la càrrega de pol·lució s'utilitzen valors experimentals.

La influència de la qualitat de l'aire exterior també és important per a definir les necessitats de ventilació. Si l'aire exterior està en males condicions, caldrà purificar-lo abans d'utilitzar-lo.

Indret	Qualitat de l'aire (dpol)
Al mar o a la muntanya	0,07
En ciutats amb aire molt net	0,5
En ciutats amb aire acceptable	1,5

Taula 2.10. Nivells típics de qualitat d'aire exterior (dpol).

Càlcul de la ventilació necessària

L'eficàcia de la ventilació, \mathcal{E}_v , és la relació entre les concentracions de l'aire evacuat a l'exterior (C_e) i de l'aire a la zona de respiració (C_i):

$$\mathcal{E}_v = \frac{C_e}{C_i}$$

$\mathcal{E}_v = 1$ si l'aire està totalment mesclat.

$\mathcal{E}_v > 1$ si l'aire a la zona de respiració és més ric que l'evacuat, disminuiran les necessitats de ventilació.

$\mathcal{E}_v < 1$ si l'aire a la zona de respiració és més pobre que l'evacuat, les necessitats de ventilació augmentaran.

La ventilació necessària Q_c (en l/s) es calcula amb la fórmula següent:

$$Q_c = 10 \cdot \frac{G}{C_i - C_o} \cdot \frac{1}{\mathcal{E}_v}$$

G és la càrrega de pol·lució en olf.

C_i (en dpol) és la qualitat de l'aire desitjada.

C_o (en dpol) és la qualitat de l'aire exterior.

Si, a causa de la presència d'alguna espècie química, calgués ventilar per a mantenir la qualitat de l'aire des del punt de vista de la salut, la càrrega requerida Q_h (en l/s) es calcula amb l'expressió:

$$Q_h = \frac{G}{c_i - c_o} \cdot \frac{1}{\epsilon_v}$$

G és la càrrega de pol·lució química (en mg/s).

c_i (en $\mu\text{g/l}$) és la concentració permesa per l'espècie química a l'aire interior.

c_o (en $\mu\text{g/l}$) és la concentració existent a l'aire exterior.

Procediment de càlcul

Per a determinar la ventilació necessària per mantenir una qualitat de l'aire interior des d'un punt de vista de confort, se segueix el procediment següent:

1. Elecció de la qualitat de l'aire interior.
2. Estimació de la qualitat de l'aire exterior.
3. Càlcul de la càrrega de pol·lució.
4. Estimació de l'eficiència de la ventilació.
5. Càlcul de la ventilació necessària Q_c a partir de l'equació corresponent.

Si fos necessari calcular les necessitats de ventilació des del punt de vista de la salut, se segueix el mateix procediment, avaluant Q_h . S'escolliria el valor màxim entre Q_c i Q_h .

Pol·lució deguda al sistema de climatització

Està demostrat per diferents estudis que una font important de pol·lució als edificis es deu al propi sistema d'aire condicionat. Els elements responsables d'aquesta pol·lució són bàsicament els filtres i els bescanviadors de calor rotatius. Una altra font important de pol·lució és un manteniment insuficient dels humidificadors, si n'hi ha. Els humidificadors d'esprai i els filtres d'adsorció són una bona mesura per a millorar la qualitat de l'aire.

Des del punt de vista energètic, la millor mesura és dissenyar els edificis amb un nivell baix de pol·lució, fet que comporta disminuir les necessitats de ventilació i, per tant, un estalvi d'energia.

2.2. Conceptes bàsics de climatització

Els sistemes de climatització són les diferents configuracions constructives i de disseny d'un conjunt d'aparells, l'objectiu dels quals és mantenir unes condicions termodinàmiques desitjades en un local.

Un sistema de climatització, també anomenat sistema HVAC (de l'anglès: Heating, Ventilating and Air Conditioning), té per finalitat les tasques següents:

- Controlar la temperatura del local i de l'aire (escalfar, refredar).
- Controlar la humitat de l'aire (humidificar o extreure humitat).
- Controlar la qualitat de l'aire (ventilar amb aire exterior, filtrar partícules, gasos).

Al mateix temps, el disseny del sistema de climatització ha de garantir que ni la velocitat d'aire d'impulsió ni el so produït pel propi equip de HVAC, pel fluid que circula pels conductes o a la sortida pels difusors, molesti els usuaris de l'edifici.

La classificació genèrica dels sistemes de climatització es fa en funció del fluid utilitzat per a transportar l'energia tèrmica (fred o calor) i que s'introdueix als locals a través dels equips o elements terminals per tal de controlar les variables esmentades.

Els quatre grups principals de sistemes de climatització són:

- Sistemes tot aire.
- Sistemes tot aigua o sistemes hidrònics.
- Sistemes aire-aigua.
- Sistemes d'expansió directa o sistemes de refrigerant.

Hi ha altres criteris per a classificar els sistemes d'aire condicionat com, per exemple, pel tipus de tractament d'aire o segons la regulació.

A la vegada, en un sistema, hi ha els aparells i elements següents que el conformen:

- Unitat de tractament d'aire (UTA), també anomenada climatitzador. És una unitat en la qual es fa el tractament de l'aire que cal subministrar al local o edifici. Pot tractar-se només de l'aire de ventilació o bé, aquest, barrejat amb l'aire recirculat i refredat o escalfat per a la climatització.
- Elements generadors o productors de fred i/o calor. Representen el cor del sistema, ja que és gràcies a ells que es genera l'energia tèrmica que necessita l'edifici per tal de ser condicionat.
- Emissors o unitats terminals (UT). Aquests reben els fluids primaris de la central de tractament i es fan servir per a transmetre les condicions tèrmiques requerides als diferents locals de l'edifici. Garanteixen que la velocitat de l'aire sigui la correcta i són responsables del nivell sonor que produeix la instal·lació de clima.
- Elements intermedis. Serveixen d'unió entre la central productora d'energia tèrmica i els elements terminals. Són totes les canalitzacions (conductes i canonades) i accessoris (caixes de ventilació, comportes, bombes, vàlvules...).
- Equips de control, regulació i seguretat. Garanteixen que el funcionament de la instal·lació sigui el correcte, per tal d'obtenir el confort exigint i la seguretat necessària.

Els diferents components i equips que configuren un sistema de climatització es classifiquen segons la taula 2.12.

2.2.1. Classificació de sistemes pel tractament d'aire

2.2.1.1. Sistema autònom

En un sistema autònom, la unitat de producció de fred o calor i la unitat de tractament d'aire estan incloses en el mateix aparell, el qual s'ubica normalment a la mateixa zona a climatitzar. Aquí hi ha integrats tots els elements del cicle frigorífic (compressor, condensador, evaporador, vàlvula termostàtica) i els elements de regulació i control per al tractament de l'aire (filtre, ventilador). També formen part del sistema integrat les anomenades unitats *split* o partides, en què s'ha separat la unitat condensadora de l'evaporadora.

Aquests sistemes s'apliquen per rangs de potències petites o mitjanes: de 1.200 a 120.000 W (1.000-103.000 F/h).

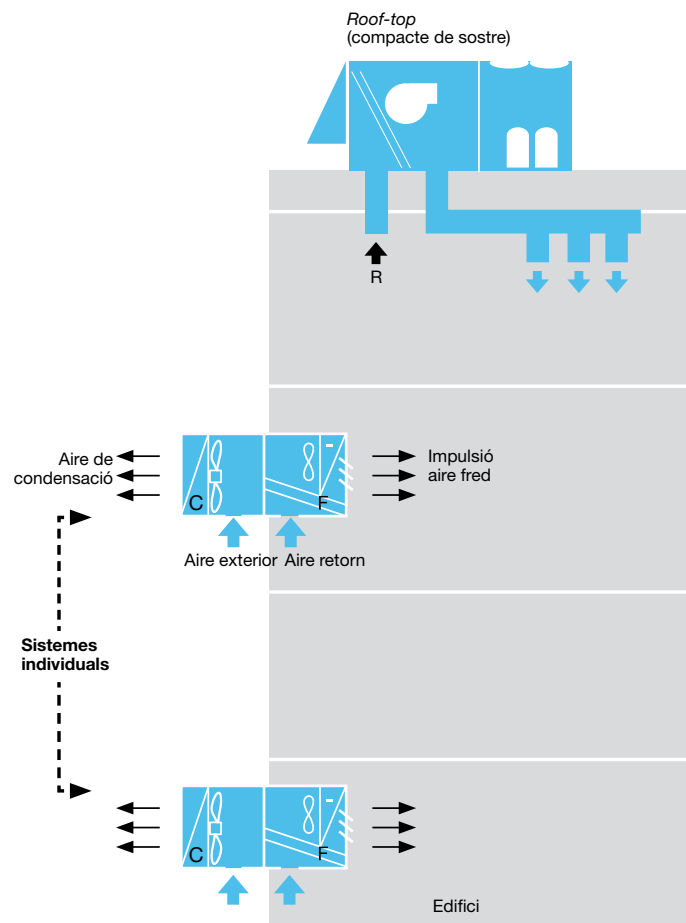
Taula 2.11. Classificació dels sistemes d'aire condicionat per diferents criteris.

Tractament aire	Fluid de transport d'energia	Regulació
<ul style="list-style-type: none"> Sistemes autònoms Sistemes centralitzats 	<ul style="list-style-type: none"> Tot aire Tot aigua Aire-aigua Expansió directa (DX) (refrigerant) 	<ul style="list-style-type: none"> Tot o res (On/Off) Volum constant i temperatura variable (Aire) Volum variable i temperatura constant (Aire) Volum i temperatura variables (Aire) Dos tubs (Aigua) Quatre tubs (Aigua)

Taula 2.12. Classificació dels components i equips d'un sistema d'aire condicionat per diferents criteris.

Generadors d'energia tèrmica	Tipus de fluid refrigerant	Emissors de l'energia tèrmica (unitats terminals)
<ul style="list-style-type: none"> Refredadores Calderes Bombes de calor Unitats recuperadores 	<ul style="list-style-type: none"> Freons Altres gasos Aigua Aire 	<ul style="list-style-type: none"> Aerotermos (<i>fan-coils</i>) Inductors Unitats interiors (evaporadores) Radiadors Sostre / terra radiant

Figura 2.7. Sistema autònom amb unitats compactes aire/aire (DX).



2.2.1.2. Sistema centralitzat

En un sistema centralitzat, les unitats de tractament d'aire i els elements generadors estan ubicats a l'exterior del local o edifici a climatitzar i regulats tots per un mateix control.

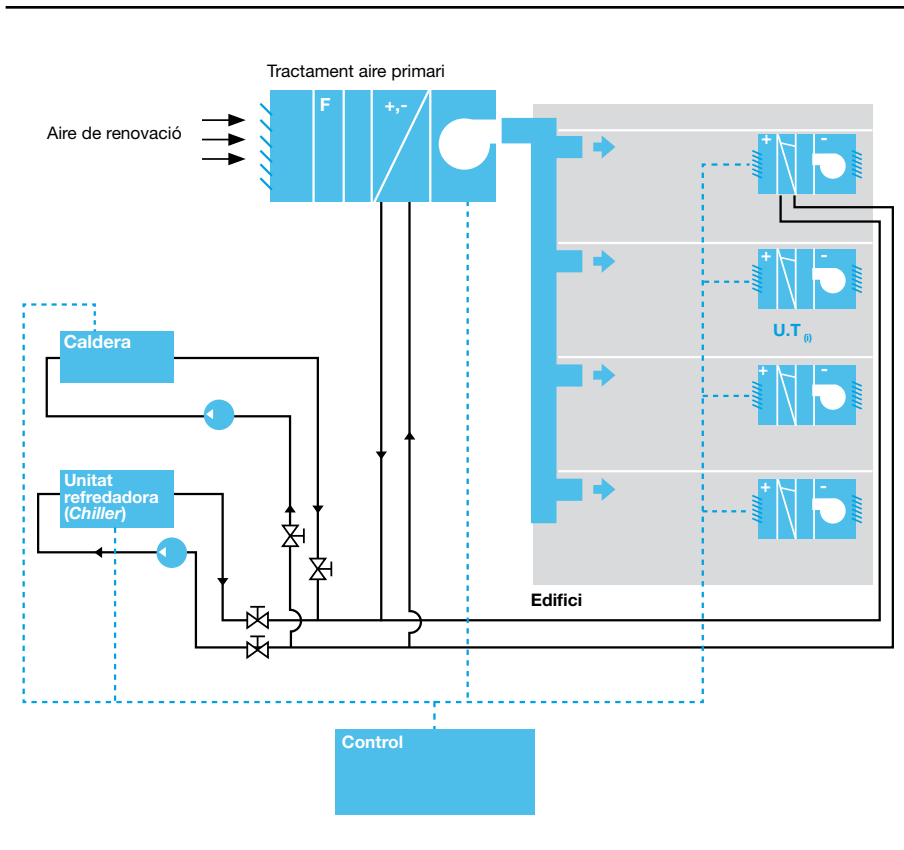


Figura 2.8. Sistema centralitzat amb generadors de fred i calor independents, que alimenten les unitats terminals de cadascun dels locals de l'edifici i que fan tractament tèrmic de l'aire primari.

2.2.2. Classificació de sistemes pel fluid de transport d'energia

2.2.2.1. Sistema tot aire

En un sistema tot aire s'utilitza un cabal d'aire tractat per tal d'aconseguir les condicions de confort del local. Les unitats terminals d'aquest sistema són unitats de difusió: difusors i reixetes, així com, en certs casos, unitats de control de la quantitat d'aire a subministrar, com les comportes. La unitat central és el climatitzador on té lloc el tractament de l'aire.

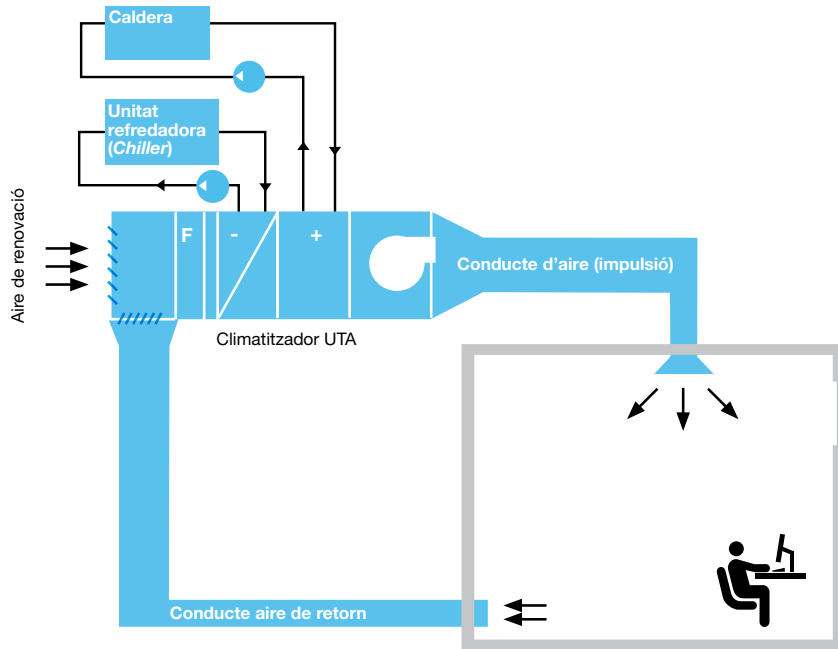
2.2.2.2. Sistema tot aigua

En un sistema tot aigua s'utilitza aigua com a fluid caloportador, el qual transfereix la seva energia a les unitats terminals. Les unitats generadores són refredadores, calderes, bombes de calor, etc. Com a unitats terminals normalment s'utilitzen els aerotermos, els quals poden tenir diferents configuracions i ubicacions: paret, casette, per conducte, terra. També s'utilitzen inductors.

2.2.2.3. Sistema aire-aigua

En un sistema aire-aigua s'utilitzen simultàniament cabals d'aigua i d'aire. L'aire s'aporta per tal de ventilar l'edifici (aportació d'aire primari per a garantir la qualitat d'aire interior). L'aigua és el fluid usat per a establir les condicions de confort tèrmiques requerides al local. Les unitats generadores són: refredadores, calderes, bombes de calor i climatitzadors per al tractament de l'aire de ventilació. Com a unitats terminals es poden utilitzar aerotermos i inductors.

Figura 2.9.
Sistema tot aire.



2.2.2.4. Sistema d'expansió directa (DX) o de refrigerant

En un sistema d'expansió directa s'utilitza un fluid refrigerant (freó) com a fluid caloportador per a transferir l'energia al local a condicionar. En el local a condicionar s'hi ubiquen les unitats interiors, que funcionen com a evaporador en cicle de fred o com a condensadores en cicle de calor. Les unitats exteriors contenen el compressor. Una mateixa condensadora pot alimentar diverses unitats interiors.

Aquests sistemes tenen un rendiment més alt que els anteriors, ja que la transferència de calor es fa una única vegada entre el refrigerant i l'aire, mentre que en els anteriors hi ha un primer bescanvi a la unitat refrigeradora per obtenir aigua freda i després entre aquesta aigua freda i l'aire del local.

Figura 2.10. Sistema tot aigua.

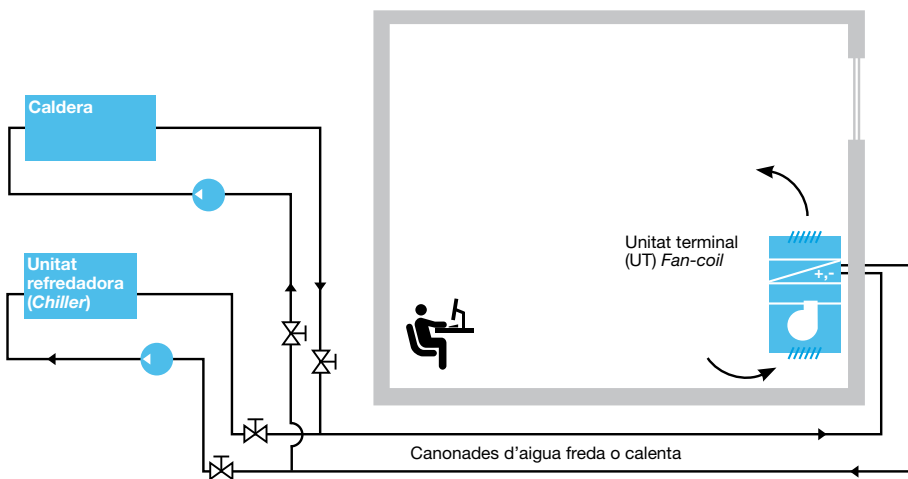
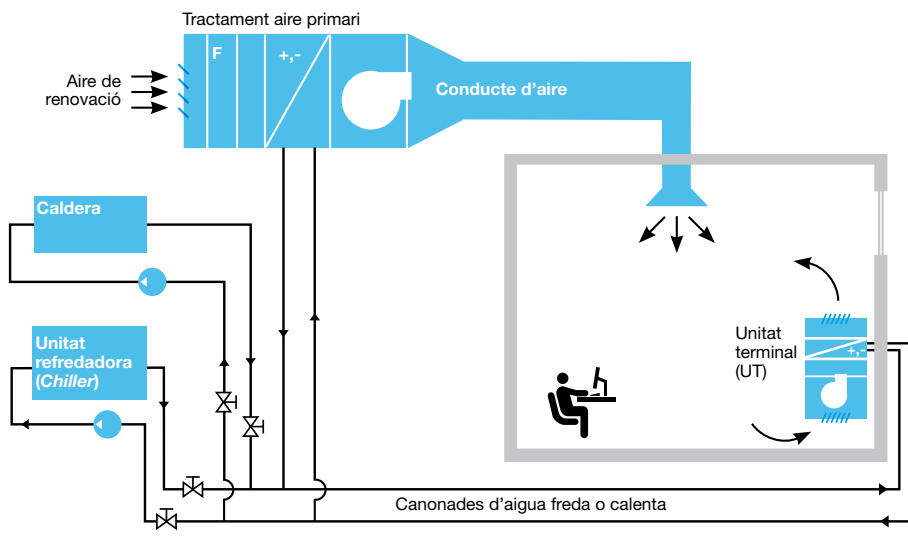


Figura 2.11. Sistema aire-aigua.



2.2.3. La unitat de tractament d'aire (UTA)

Una unitat de tractament d'aire o climatitzador, en la qual es tracta l'aire que s'impulsa al local, consta del funcionament i components següents:

- L'aire de retorn procedent del local és aspirat pel ventilador d'aspiració. Una part d'aquest aire s'expulsa a l'exterior, entrant aire de renovació fresc de l'exterior. Entre aquests dos cabals d'aire es pot intercalar un bescanviador de calor per tal de preescalfar l'aire exterior de renovació. A la caixa de mescla (M) es barregen l'aire de renovació exterior amb la part d'aire de retorn que no ha estat expulsat.
- Després, l'aire passa a través d'un filtre (F) per eliminar partícules de pols i altres impureses. A continuació, l'aire passa a través d'una bateria de fred, per l'interior de la qual hi circula aigua freda o líquid refrigerant segons sigui el sistema de refredament emprat: aigua de refredadora o gas d'una unitat d'expansió directa.

Figura 2.12. Sistema d'expansió directa.

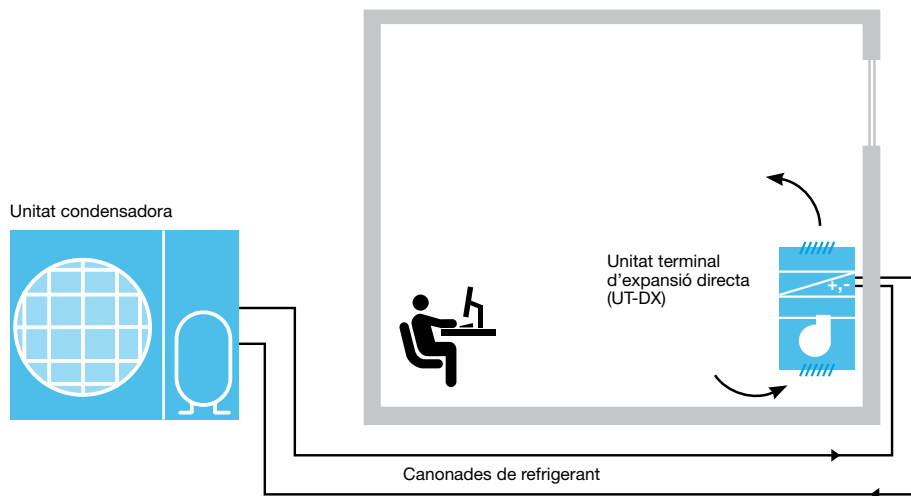
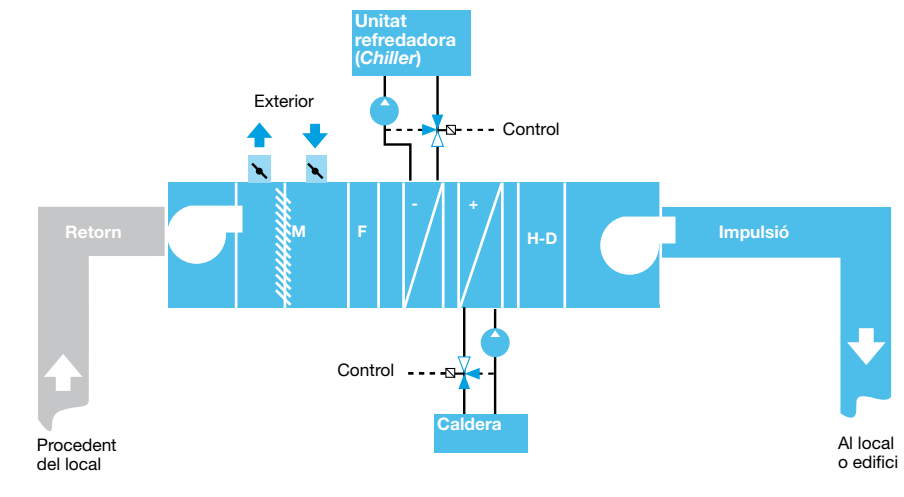


Figura 2.13. Funcionament d'una unitat de tractament d'aire.



- La bateria de calor escalfa l'aire, i pot utilitzar aigua calenta, vapor o gas refrigerant (DX). Segons sigui el fluid caloportador, estarà alimentada per una caldera (d'aigua o vapor), per una bomba de calor (refredadora-bomba de calor) o forma part d'una bomba de calor comportant-se com a tal o evaporador al canvi de cicle.
- A l'etapa final, abans de subministrar l'aire al local, es pot humectar o deshumectar segons sigui la necessitat (H-D).

2.3. Principals tipus de sistemes de climatització

2.3.1. Sistemes tot aire

Els sistemes tot aire es poden subdividir en els grups següents:

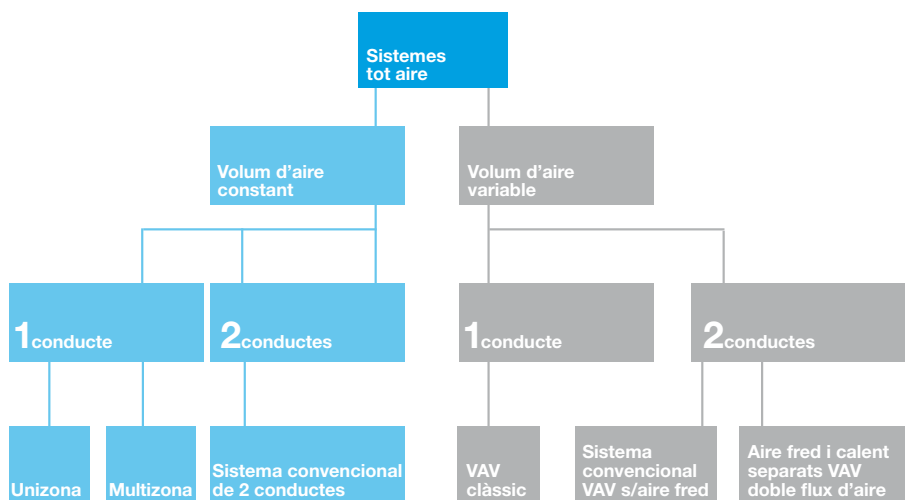


Figura 2.14. Classificació de sistemes tot aire.

Aquests sistemes es classifiquen bàsicament segons el control que es faci per a obtenir les condicions desitjades en el local a climatitzar: control de temperatura i control de volum d'aire.

Segons el tipus de control, tenim quatre possibilitats de funcionament:

- Volum d'aire variable i temperatura constant.
- Volum d'aire variable i temperatura variable.
- Volum d'aire i temperatura constants.
- Volum d'aire constant i temperatura variable.

Figura 2.15. Volum d'aire i temperatura constant.

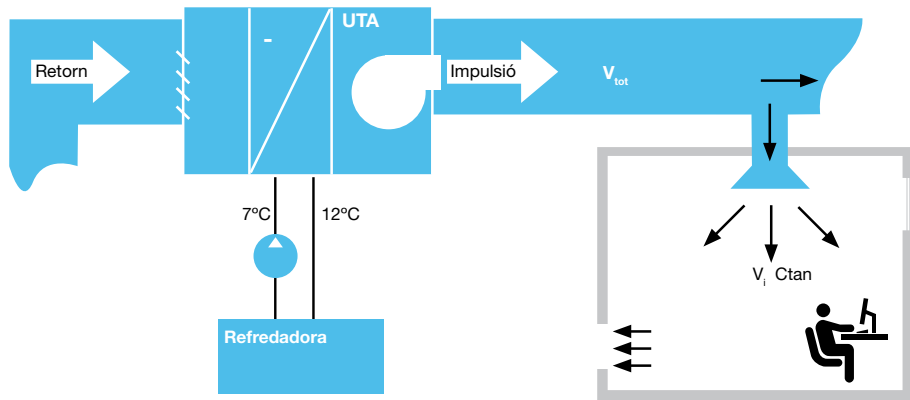


Figura 2.16. Volum d'aire variable i temperatura constant.

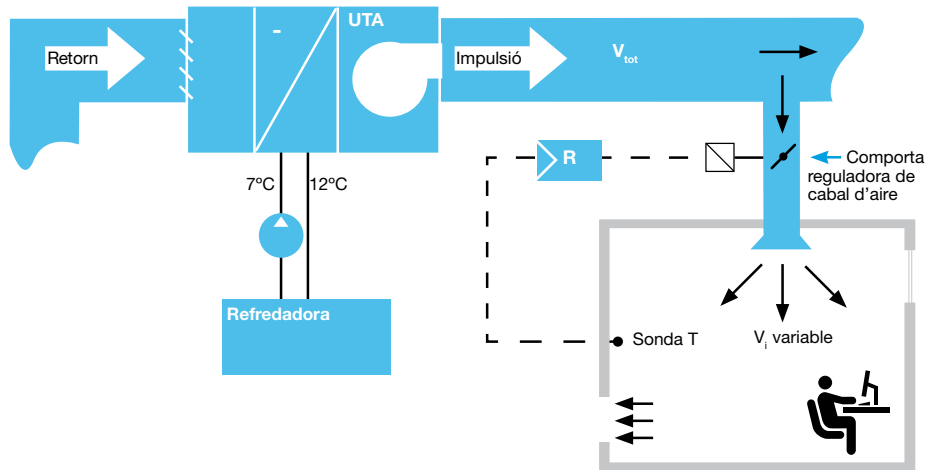


Figura 2.17. Volum d'aire constant i temperatura variable.

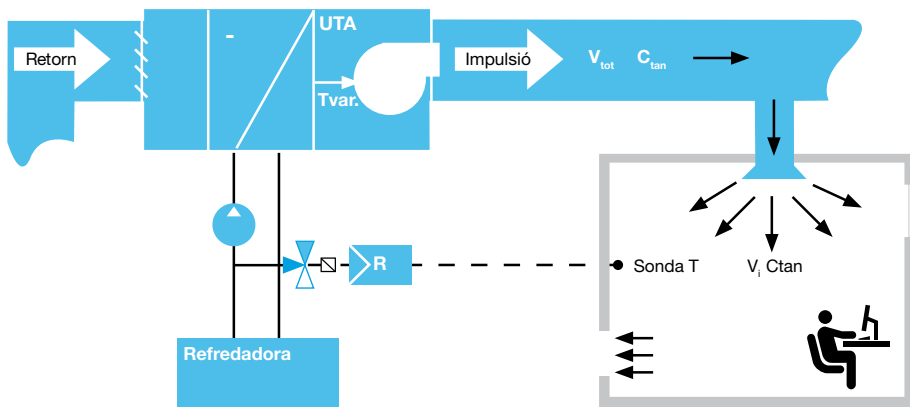
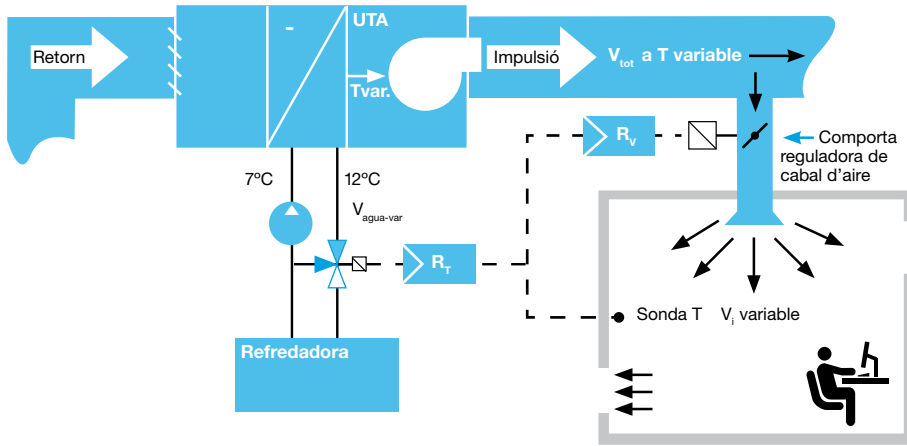


Figura 2.18. Volum d'aire i temperatura variable.



La variació del volum d'aire es fa mitjançant caixes reguladores de cabal d'aire, instal·lades abans dels difusors de sortida d'aire de cada sala o local condicionat. En funció de la temperatura de sala respecte a la temperatura de consigna es dona pas a més o menys cabal d'aire.

La variació de la temperatura es realitza regulant el cabal d'aigua que passa per la bateria d'aigua del climatitzador. Al variar aquest cabal es baixa o puja la temperatura de l'aire a la sortida de la UTA, segons el règim de funcionament.

També es pot actuar directament sobre la unitat generadora de fred o calor perquè doni més o menys temperatura de sortida d'aigua. Però això no s'acostuma a fer ja que les refredadores estan dissenyades per a obtenir temperatures d'aigua de 7°C, i normalment no estan preparades per a variar les condicions del cicle frigorífic. La variació de temperatura de l'aigua refredada vindria donada variant el cabal de refrigerant mitjançant la vàlvula d'expansió termostàtica.

Les més utilitzades de les quatre configuracions presentades són:

- Volum d'aire constant i temperatura variable.
- Volum d'aire variable i temperatura constant ja que la primera configuració de volum d'aire i temperatura constant no permeten satisfer les exigències del confort del local i la configuració de volum d'aire i temperatura variables és innecessària i d'elevat cost econòmic.

2.3.1.1. Sistemes tot aire amb volum d'aire constant i temperatura variable

El control de la temperatura dels locals a climatitzar es realitza variant la temperatura de l'aire impulsat, mantenint constant el volum d'aire. El termòstat es col·loca en el local a climatitzar o en el conducte de retorn, si des d'un mateix climatitzador es condicionen diferents locals.

Quan es condicionen diferents locals amb un únic punt de regulació, és fàcil que sorgeixin problemes, ja que no es poden satisfer les condicions de confort a tots els locals simultàniament.

Sistemes unizona

En sistemes unizona es disposa d'un climatitzador per a cada zona a climatitzar. Els components del climatitzador se seleccionen d'acord amb les exigències dels diferents locals que configuren la zona a climatitzar. La temperatura de l'aire d'impulsió acostuma a estar entre 6 i 8°C per sota de la temperatura a què es vol mantenir el local, i amb velocitats d'aire inferiors a 9 m/s. Per tal de minimitzar la secció dels conductes es pot incrementar la velocitat de l'aire i el salt tèrmic entre la temperatura d'impulsió de l'aire i la del local, però aquesta mesura va acompanyada d'un increment de la pèrdua de càrrega i de soroll. Per evitar molèsties acústiques és bo limitar la velocitat de l'aire a un màxim de 15 m/s amb un salt tèrmic de 10 a 12 K.

És habitual que la unitat de climatització d'aquests sistemes no sigui un climatitzador alimentat per refredadora i caldera o bomba de calor, sinó que siguin unitats compactes o autònoms (DX), compactes de coberta (*roof-top*), compactes verticals o horitzontals, o unitats partides. Una xarxa de conductes d'aire distribueix l'aire als diferents locals a climatitzar. Els elements terminals estan constituïts normalment per simples difusors i reixetes de paret sense elements de control.

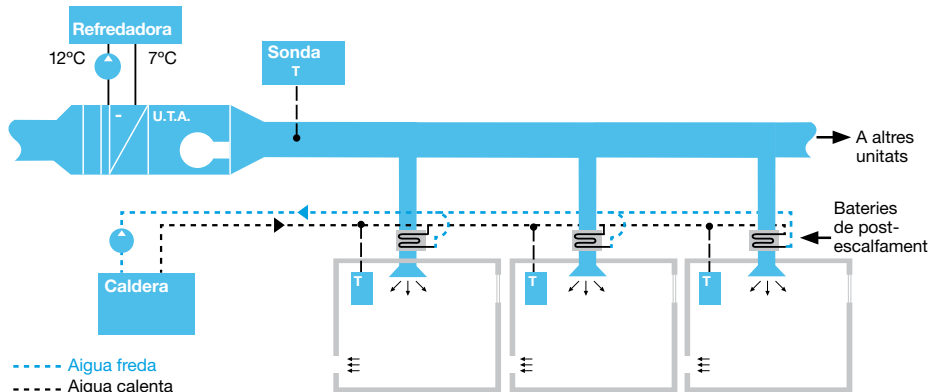
L'equipament de control acostuma a ser un termòstat de temperatura ambient situat en algun dels locals o un termòstat de temperatura de retorn. Aquest tipus de control, quan la zona està constituïda per diferents locals o sales amb càrregues variables en el temps, és incapaç de controlar-hi la temperatura de manera uniforme i confortable.

Sistema unizona amb post-escalfament

Els sistemes unizona amb post-escalfament permeten condicionar zones amb diferents variacions de càrrega. L'aire es refreda en una unitat central (UTA) fins a una temperatura de 15°C. Abans de ser impulsat a una zona, es pot - si s'escau - escalfar l'aire mitjançant una bateria de calor col·locada a la unitat terminal, i així subministrar diferents temperatures a les diferents zones. Aquest post-escalfament a les unitats terminals es pot fer amb bateries d'aigua calenta de tipus simple o inductors o amb bateries de resistències elèctriques.

El gran inconvenient que presenta aquest sistema, és el que ha de generar una quantitat de fred superior al necessari i a més subministrar calor extra. És per aquest motiu que la instal·lació nova d'aquests sistemes està prohibida per les Instruccions Tècniques Complementàries (IT.IC) de la legislació actual.

Figura 2.19. Sistema unizona amb post-escalfament.



Sistema multizona

En un sistema multizona es distribueix un cabal d'aire mitjançant un conducte per a cada zona o local des de la mateixa unitat central de tractament d'aire. Una unitat climatitzadora multizona està composta pels elements següents:

- Secció de presa d'aire exterior, amb comportes d'aire exterior i de retorn, bateries de preescalfament (si es requereixen) i filtres.
- Secció d'impulsió, anterior a les bateries de fred i calor.
- Secció de bateries de fred i calor, que tenen una disposició en paral·lel, de manera que es generen dues corrents d'aire: una de freda i l'altra, calenta.
- Comportes de barreja dels corrents d'aire fred i calent, controlades per termòstats d'ambient a cada zona.

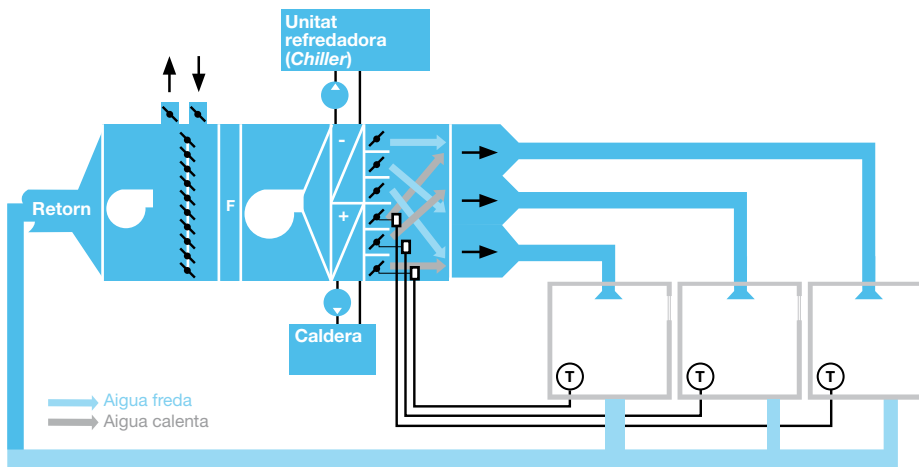


Figura 2.20. Sistema multizona.

2.3.1.2. Sistemes tot aire amb volum d'aire variable i temperatura constant

Els sistemes de volum d'aire variable (VAV) són sistemes en els quals la temperatura d'impulsió es manté constant i la regulació de la temperatura dels locals es fa variant el flux d'aire fred o calent que s'hi introdueix. A la xarxa de conductes hi ha una sèrie d'unitats encarregades de regular la quantitat d'aire que se subministra a cada local, són les anomenades caixes de volum d'aire variable. Aquestes unitats disposen d'una comporta (*damper*), regulada pel senyal del termòstat ubicat al local a climatitzar. Es pot aconseguir el mateix efecte actuant directament sobre els difusors, integrant-hi motors que permetin variar-ne la posició i, per tant, la quantitat d'aire que deixen passar.

Per tal d'assegurar una impulsió d'aire a temperatura constant, la bateria d'aigua del climatitzador central té incorporada una vàlvula proporcional que regula el cabal que hi passa, controlada per un sensor en l'impulsió del climatitzador. Si la bateria és d'expansió directa, el sistema de control haurà de governar la capacitat del compressor. En aquest cas es regula el cabal de refrigerant.

Sistema de conducte doble (*double duct*)

En un sistema de conducte doble la unitat central subministra aire tractat a través de dos conductes diferents a les diferents unitats terminals de cada local. En aquestes unitats terminals es barregen els aires per tal de mantenir la correcta temperatura així com el cabal i condicions necessàries d'aire.

Hi ha tres tipus de caixes de barreja:

- De cabal d'impulsió constant. Necessiten barrejar els corrents d'aire fred i calent.
- De cabal variable, compostes per:
 - Regulador de temperatura ambient.
 - Regulador de cabal que asseguri un cabal mínim de ventilació del local.
 - Un segon regulador de cabal comandat pel termòstat ambient per tal d'accionar la comporta d'aire calent (calefacció) i la d'aire fred (refrigeració).
- Un dels dos tipus anteriors, però amb post escalfament o post refredament final. Útil en edificis que tenen alguns locals d'elevades càrregues tèrmiques a l'estiu o a l'hivern. Això permet evitar un sobredimensionat de la instal·lació de climatització.

Figura 2.21. Sistema de doble conducte.

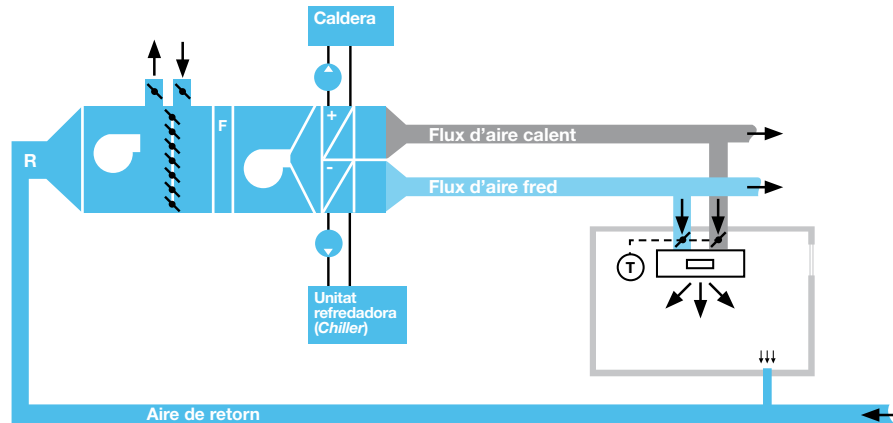
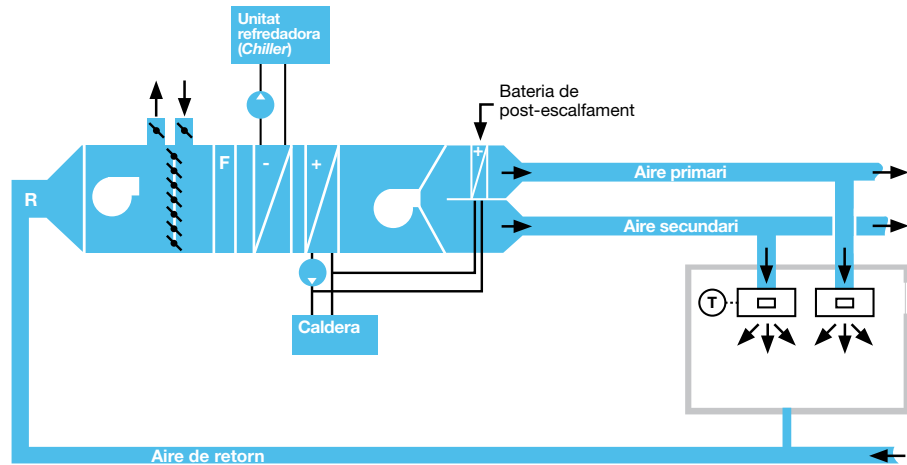


Figura 2.22. Sistema de flux doble.



L'ús de dos aires diferents, tractats amb energies convencionals, està prohibit per les IT.IC. De tota manera es pot funcionar de la manera següent:

- Mode estiu: prendre l'aire exterior com a aire calent, tancant la corresponent bateria de calor.
- Mode hivern: prendre de manera anàloga l'aire exterior com a aire fred.

Sistema de flux doble (dual conduit)

El sistema de flux doble és un sistema d'alta velocitat amb una unitat de tractament d'aire que subministra dos fluxos d'aire a cada local o sala:

- L'aire primari (volum d'aire constant, temperatura variable) neutralitza els guanys o pèrdues de calor per transmissió durant tot l'any.
- L'aire secundari se subministra a cabal variable i temperatura constant.

Les unitats terminals incorporen reguladors de cabal d'aire per control termostàtic.

2.3.1.3. Sistemes combinats: volum d'aire variable en zones interiors i volum d'aire constant en zones perifèriques

Hi ha edificis en què, atesa la distribució de les diferents sales o zones, a les àrees interiors, la càrrega de calefacció és pràcticament nul·la, ja que no hi ha intercanvi de calor directament amb l'exterior, mentre que les zones perifèriques necessiten aportació tèrmica durant tot l'any. Aquest tipus de distribució, ateses les càrregues internes elevades, les zones interiors solen necessitar aportació de fred durant quasi tot l'any.

En una distribució com la que mostra la figura és molt útil el sistema combinat de cabal variable a les zones interiors, i cabal constant a la perifèria.

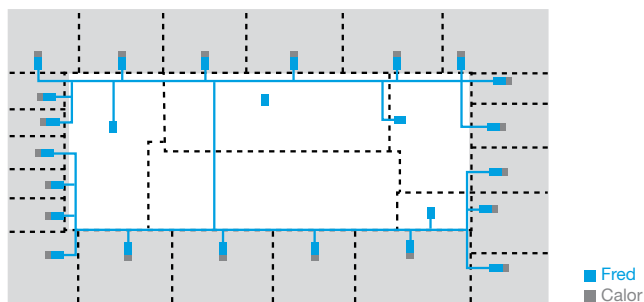


Figura 2.23. Sistema de volum d'aire variable unizona amb post-escalfament a les unitats terminals de les àrees perifèriques.

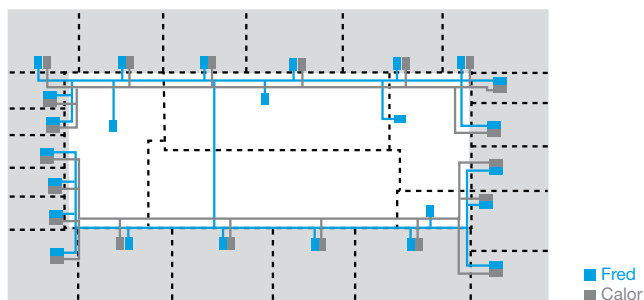


Figura 2.24. Sistema de volum d'aire variable de conducte doble a la zona perifèrica (aportació de fred i calor), i d'un conducte a les zones interiors.

2.3.1.4. Avantatges i inconvenients dels sistemes tot aire

En general els sistemes tot aire tenen els pros i contra següents:

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

Per les diferents variants dels sistemes tot aire, es poden resumir els avantatges i inconvenients següents:

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

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

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

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

2.3.2. Sistemes aire-aigua

Atès que els sistemes aire-aigua combinen la utilització de dos fluids primaris per fer l'aportació tèrmica, a més de les dues unitats o centrals de calor i fred, cal que hi hagi dos equips intermedis per fer la connexió amb les unitats terminals: una xarxa de canonades d'aigua i una xarxa de conductes per a distribució d'aire.

Els sistemes aire-aigua se subdivideixen en els grups següents:

- Sistemes d'inducció.
- Sistemes d'aeroterms (*fan-coils*) amb aire suplementari.
- Sistemes de superfícies radiant amb aire suplementari.

2.3.2.1. Sistemes d'inducció

El nom d'aquest tipus de sistema ve donat pel tipus d'unitat terminal utilitzada pel condicionament de l'edifici: els inductors. El funcionament d'aquest sistema consisteix en fer una aportació d'aire primari, el qual és totalment de renovació (tot exterior), als inductors, els quals barregen aquest aire primari amb aire del local (aire secundari) que passa a través d'una bateria d'aigua calenta o freda per donar-li la temperatura necessària i subministrar-lo al local.

Els inductors són unitats terminals a les quals se subministra un cabal d'aigua freda o calenta i aire primari. Utilitzen bateries de tubs amb aletes. L'alimentació d'aire primari entra per un petit plenum i passa a través de petits injectors d'aire o toveres a alta velocitat. Això crea una baixa pressió i provoca l'efecte d'inducció, el qual aspira l'aire del local, forçant el seu pas a través d'obertures a la part lateral de l'inductor. L'aire aspirat per inducció es refreda/escalfa en passar a través de la bateria d'aigua freda. L'aire del local (aire secundari) i l'aire primari es barregen i surten a través de la reixeta de la part superior de la unitat.

Camp d'aplicació. Aquest sistema s'aplica en edificis que tenen diferents càrregues tèrmiques en els seus locals, en locals amb ocupació discontinua, i en edificis en què es necessita calor i fred simultàniament. El sistema pot funcionar amb una configuració a dos tubs (un circuit d'aigua) o a quatre tubs (dos circuits d'aigua) per escalfar i refrigerar, segons siguin les bateries dels inductors simples o de doble circuit.

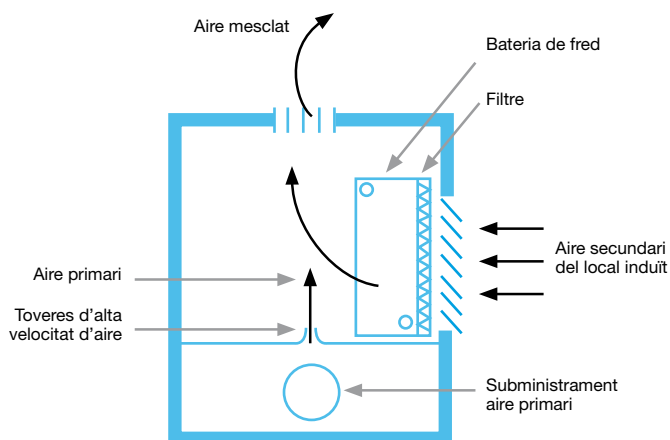


Figura 2.25. Secció d'un inductor.

Figura 2.26. Sistema d'inducció a dos tubs.

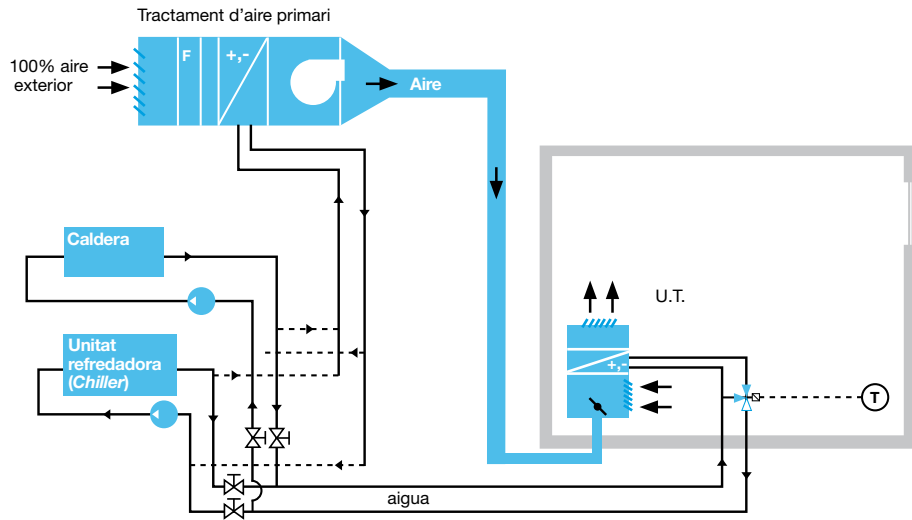
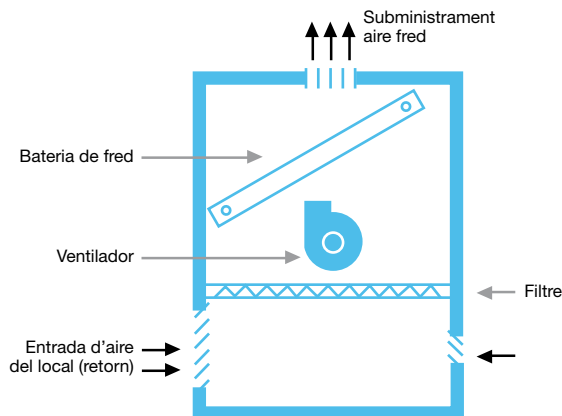


Figura 2.27. Secció d'un aerotermos.



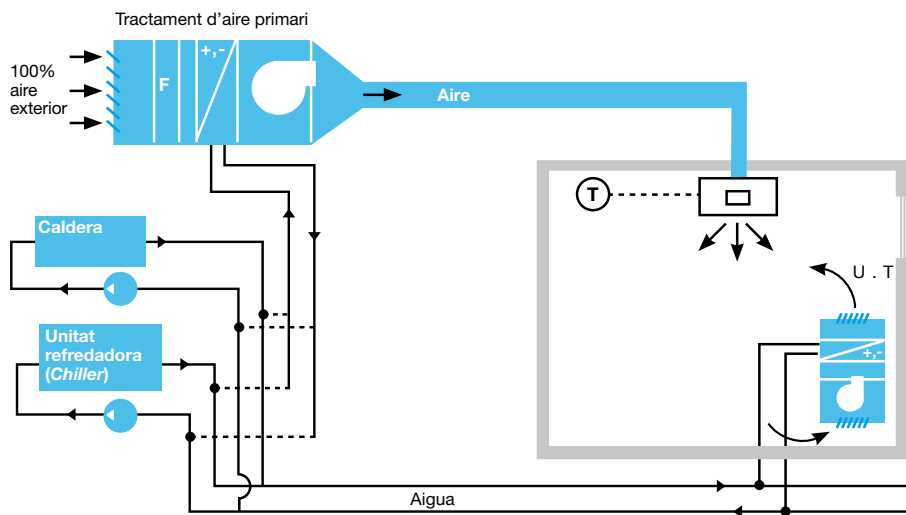
2.3.2.2. Sistemes d'aerotermos amb aire suplementari

Aquest sistema és molt semblant a l'anterior. La diferència està en la utilització com a unitat terminal d'un aerotermos o unitat ventilo-convectiva enlloc de l'inductor. Un aerotermos (*fan-coil*) és una unitat formada per un ventilador (*fan*) i un serpenti (*coil*) pel qual circula aigua freda o calenta. Igual que els inductors, hi ha aerotermos de bateries simples i dobles, aigua calenta i freda.

L'aire exterior es condiciona en una UTA i es transporta al local, de manera independent a través de conductes d'aire de ventilació o, si els aerotermos disposen d'entrada d'aire primari, directament a cadascun dels aerotermos. Aquest sistema és molt utilitzat en tot tipus d'edificis.

En aquest sistema, els aerotermos subministren directament el fred o calor a l'aire del local, i l'aire necessari per a la ventilació se subministra de manera independent, tal com mostra la figura 2.28.

Figura 2.28. Esquema d'un sistema d'aeroterms amb aire suplementari.



2.3.2.3. Sistemes de superfícies radiant amb aire suplementari

El sistema de superfícies radiant amb aire suplementari consisteix en la instal·lació d'una xarxa de canonades d'aigua pel terra, parets o sostre dels locals a climatitzar, per tal d'obtenir una temperatura radiant de superfície que sigui adequada per a la climatització del local. En paral·lel necessita d'una aportació constant d'aire per ventilar i -segons climatologia- deshumectar l'edifici condicionat. L'extracció d'humitat és especialment important quan el sistema treballa en cicle de fred, ja que la condició perquè el sistema treballi adequadament és que la temperatura de les superfícies radiant estigui per sobre de la temperatura de rosada de l'aire interior.

Tradicionalment aquests sistemes s'han utilitzat únicament per a instal·lacions de calefacció, tot i que cada vegada hi ha més instal·lacions de sostre-fred. Mantenir una certa temperatura de superfície radiant té diversos efectes:

1. Intercanvi per radiació amb la resta de superfícies del local.
2. Intercanvi per convecció natural amb l'aire del local.
3. La temperatura mitjana radiant (vegeu la secció de confort), és un paràmetre que influeix molt en la sensació de confort dels ocupants del local.
 - Amb aquest sistema, la sensació de confort és molt alta, fins i tot a temperatures fora dels marges tradicionals, ja que la temperatura operativa - la mitjana entre la temperatura de l'aire i la radiant de les superfícies - és influïda positivament per temperatures de les superfícies més properes a la temperatura operativa de confort.
 - El sistema té un consum energètic menor respecte als altres sistemes: l'aigua freda se subministra a una temperatura de 15 a 17°C enlloc dels 7°C de qualsevol instal·lació estàndard en règim d'estiu i de 36 a 38°C enlloc dels 50°C en règim d'hivern, per la gran superfície d'intercanvi amb l'interior. Aquesta diferència de temperatura que no cal refredar o escalfar, representa un estalvi important en la producció de fred i calor.

Això implica una selecció conseqüent de l'equip productor de fred, el qual haurà d'estar dissenyat per a refredar a 15 o 17°C, cosa difícil de trobar en el mercat actual, ja que els principals fabricants no dissenyen les refredadores per a aquestes condicions. Quant al seu funcionament en règim d'hivern, la baixa temperatura màxima del sistema indica utilitzar preferentment calderes de condensació o baixa temperatura, el rendiment de les quals és molt superior al de les convencionals (vegeu apartat de calefacció).

Aquestes instal·lacions es poden fer també a 4 tubs.

Hi ha diverses maneres de configurar el sostre radiant. Les primeres solucions eren plaques metàl·liques per l'interior de les quals passaven conduccions (normalment en coure) per on hi circula aigua a 15 o 17°C. Altres solucions consisteixen en plaques de guix, dins les quals hi ha un serpenti de canonada d'aigua d'un material plàstic (normalment polibutilè).

Figura 2.29. Instal·lació amb sostre radiant (fred i calor) a dos tubs.

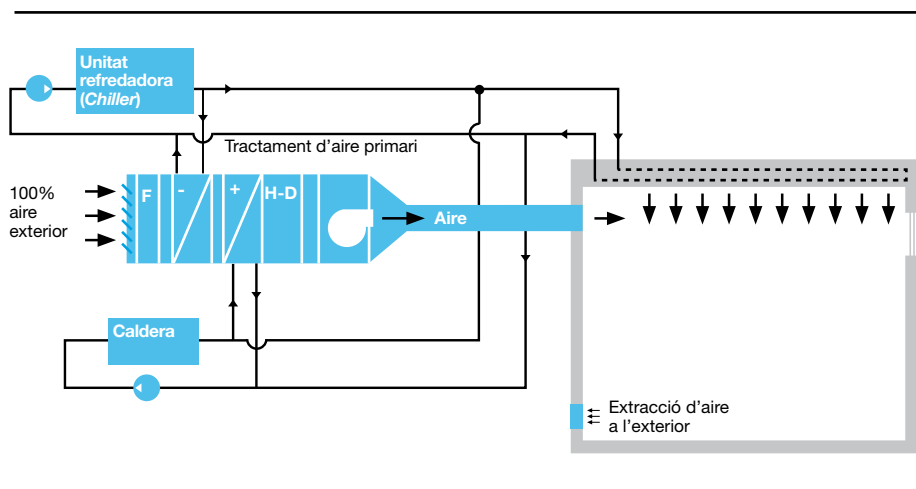
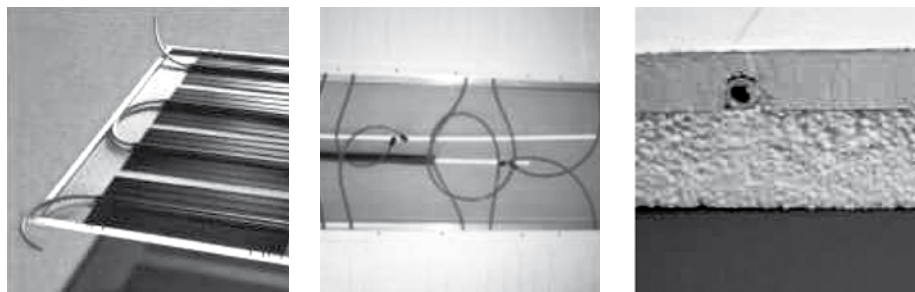


Figura 2.30. Sistemes de sostres i terra radiant.



2.3.2.4. Avantatges i inconvenients dels sistemes aire-aigua

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

Sistemes amb aerotermos	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> • Requereixen poc espai • Control individual de la temperatura a cada local o zona • Permet donar calefacció i refrigeració al mateix temps (muntatge a quatre tubs) • Circulació de l'aire confinada al local • Bona distribució d'aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Cal preveure la ventilació • Cada aerotermos necessita drenatge dels condensats • Nivell de sorolls més elevat • Manteniment d'aerotermos: neteja de filtres... • Augment de l'humitat relativa si es treballa amb càrrega parcial

Sistemes radiants	
Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> • Requereixen poc espai • Permeten temperatures més altes a l'estiu i més baixes a l'hivern • Donen millor sensació de confort • Les temperatures d'impulsió d'aigua permeten millors rendiments de producció i, per tant, més estalvi energètic • Necessiten poc manteniment 	<ul style="list-style-type: none"> • Risc de condensació quan treballa en fred • Requereix un bon aïllament a la part superior del sostre • L'aire primari s'ha de subministrar per separat

Paràmetres de disseny dels sistemes aigua-aire		
Sistemes d'inductors	Sistema amb aerotermos	Sistemes radiants
<ul style="list-style-type: none"> • Refrigeració: Temperatura impulsíó aigua: 7°C; $\Delta T = 5^\circ C$ Tenir en compte temperatura de rosada del local en refrigeració • Calefacció: Temperatura impulsíó aigua: 80°C; $\Delta T = 10^\circ C$ Pressió aire primari: 200 Pa Velocitat aire primari: 15 a 20 m/s 	<ul style="list-style-type: none"> • Refrigeració: Temperatura impulsíó aigua: 7°C; $\Delta T = 5^\circ C$ • Calefacció: Temperatura impulsíó aigua: 50 a 80°C; $\Delta T = 5$ a $10^\circ C$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Refrigeració: Temperatura aigua freda: 15°C; $\Delta T = 3$ a $5^\circ C$ Temperatura mínima: 18°C Capacitat mitjana: 60 W/m² Tenir en compte temperatura de punt de rosada • Calefacció: Temperatura impulsíó aigua: 35-45°C; $\Delta T = 5$ a $15^\circ C$ Temperatura màxima a la superfície terra: 26°C superfície sostre: 30°C Capacitat màxima: 100 W/m²

2.3.3. Sistemes tot aigua

Els sistemes tot aigua utilitzen com a unitats terminals diferents tipus d'aerotermos, els quals es poden connectar amb un o dos circuits d'aigua, segons la instal·lació sigui a dos o quatre tubs. En règim de calor, les unitats terminals poden ser radiadors convencionals o superfícies radiant (sostre, terra o parets).

La ventilació s'obté per obertures practicades a través de parets, i per exfiltració i infiltració del propi local o edifici. Per tant, els sistemes tot aigua es caracteritzen perquè no hi ha aportació d'aire tractat, de manera que aquests sistemes no disposen d'unitats centrals de tractament d'aire o climatitzadors.

S'anomenen també sistemes hidrònics. Atès que la normativa actual obliga a realitzar una ventilació forçada, en cas d'implantar aquest sistema tot aigua, la ventilació es realitza de manera independent i paral·lela.

Dins aquests sistemes tenim els següents:

- Sistemes d'aerotermos a dos tubs.
- Sistemes d'aerotermos a quatre tubs.
- Sistemes de radiadors (calefacció).
- Sistemes de terra o sostre radiant.

2.3.3.1. Sistemes d'aerotermos a dos o quatre tubs

Els sistemes d'aerotermos a dos o quatre tubs són iguals als descrits dins l'apartat anterior de sistemes aire-aigua, però no disposen de l'aportació d'aire tractat des d'un sistema centralitzat de tractament d'aire (UTA). Els sistemes a dos tubs estan pensats per donar només fred o només calor segons sigui la temporada d'estiu o hivern. Els sistemes a quatre tubs permeten donar simultàniament calor i fred, i disposen, per tant, de dos circuits separats, un d'aigua calenta i l'altre de freda. Les unitats d'aerotermos tenen una bateria doble: una part refreda i l'altra escalfa. Els sistemes a quatre tubs són més cars d'implantació i d'exploració i manteniment, però donen més confort en els casos que es necessiti fred i calor simultanis en diferents èpoques de l'any.

Tots dos sistemes permeten una zonificació de l'edifici a climatitzar. Poden fer un control per zona, ubicant aerotermos dimensionats per aquestes zones i col·locant vàlvules de tres vies per aerotermos per tal de regular la temperatura o quantitat d'aigua que passa per l'aerotermos.

És convenient evitar els sistemes a quatre tubs per la gran despesa energètica que representen.

Taula 2.13. Potència d'emissió de calor de diferents tipus de radiadors o emissors.

Tipus de radiador o emissor	Potència emesa
Panell o xapa d'acer	-50%
Fosa	1
Acer	+10%
Alumini	+15%
Doble panell d'acer amb convector*	+30%

*Convector: elements semblants a un radiador en què la transmissió de calor dels tubs a l'aire es força mitjançant un ventilador.

2.3.3.2. Sistemes de radiadors d'aigua

El sistema de radiadors d'aigua correspon al sistema convencional adoptat per la majoria d'edificis fins fa relativament pocs anys (anys 70), en els quals no es contemplava la refrigeració i tampoc la renovació i tractament d'aire de ventilació. Els radiadors són emissors de calor construïts normalment de fosa o acer negre, per l'interior dels quals l'aigua circula a una temperatura de 50 a 90°C.

La calor a l'aire ambient es transmet aproximadament segons les proporcions següents:

- Un 20% per radiació.
- Un 80% per convecció.

Hi ha bàsicament tres tipus constructius configurats en elements:

- Radiadors de fosa, de pes molt elevat, i llarga durabilitat (més de 50 anys).
- Radiadors de xapa d'acer.
- Radiadors d'alumini, que tenen un alt coeficient de transferència de calor, però la seva vida útil és molt més curta que la dels altres dos.

Els radiadors amb més potència d'emissió de calor són els d'alumini, seguit dels d'acer i després dels de fosa. Vegeu la taula 2.13.

L'inconvenient dels convectors, a part de la despesa energètica més alta respecte a d'altres emissors, és l'arrossegament de partícules de pols en suspensió, el qual resta confort ambiental a la instal·lació i augmenta el coeficient d'embrutiment (*fouling factor*). En general, el confort d'una instal·lació amb radiadors és molt millor a la d'una instal·lació convectiva i, per tant, sempre és preferible per part dels usuaris. Aquestes instal·lacions permeten un control zonificat, mitjançant vàlvules termotàtiques.

Configuracions de les canonades en un sistema hidrònic

Les connexions entre les canonades i les unitats terminals es poden realitzar de 4 maneres diferents:

- Monotub en sèrie (*series loop*).
- Monotub en paral·lel (*one-pipe-main*).
- Bitub retorn directe (*2-pipe direct return*).
- Bitub retorn invertit (*2-pipe reverse return*).

Els sistemes monotub són sistemes senzills i de baix cost d'instal·lació. L'aigua ha de passar a través de totes les unitats, les quals no es poden aïllar de la resta del circuit. Això té desavantatges importants:

- El manteniment o reparació d'una unitat implica haver de parar tota la instal·lació.
- No es pot fer control de temperatura sobre l'aigua.
- El nombre d'unitats està limitat, ja que la temperatura de l'aigua va decreixent.

Les unitats terminals deriven de la canonada principal. Muntant vàlvules en cadascuna d'aquestes branques, el sistema es pot reparar sense haver de parar-lo. La temperatura d'entrada als emissors no és constant. Si hi ha moltes unitats, la temperatura de l'aigua a les últimes serà massa freda o massa calenta.

En un sistema monotub amb distribució en paral·lel, per evitar que l'aigua que circuli únicament per la canonada principal i pràcticament sense flux als radiadors amb més resistència, s'utilitzen diversores en T a les connexions dels radiadors.

Els sistemes bitub poden ser de retorn directe o de retorn invertit.

En la configuració de retorn directe se subministra a cada unitat la mateixa quantitat d'aigua. Cada unitat pot tenir un control separat de les altres i en casos de reparació o manteniment només se n'aïlla la unitat corresponent. El problema d'aquest sistema és la diferència de pèrdua de càrrega pels diferents emissors. Cada unitat té un recorregut diferent i cada vegada més llarg. Aquest desequilibri es pot resoldre amb l'ús de vàlvules d'equilibrat.

En la configuració de retorn invertit es resolen els problemes de l'anterior. És un disseny amb un equilibrat hidràulic intrínsec, ja que les longituds dels camins de l'aigua són totes aproximadament iguals, cosa que permet equilibrar el circuit hidràulicament de manera senzilla.

Els sistemes a tres i quatre tubs permeten donar fred i calor al mateix temps.

El sistema tot aigua a tres tubs teòric és una variant del sistema de tres tubs en què la caldera i refredadora estan units per un mateix col·lector i en què hi ha un retorn únic. El sistema, però, físicament és de tres tubs, encara que conceptualment és una millora d'un sistema a tres tubs.

- La bateria de fred ha de ser més gran que la bateria de calor, ja que s'ha de dimensionar per a la calor sensible i la latent.
- La bateria de calor s'ha de situar a la part superior i la de fred a baix per drenar.
- Si s'utilitzen vàlvules de dues vies enlloc de les de tres vies, les bombes hauran de ser de cabal variable per assegurar un bon equilibrat.

Aquest sistema és el que dóna el millor confort adaptant-se a qualsevol època de l'any i pot donar fred i calor al mateix temps per diferents locals segons les necessitats.

Figura 2.31. Sistema monotub, distribució en sèrie i paral·lel.

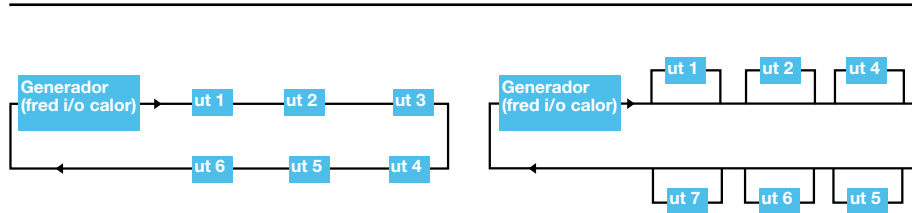
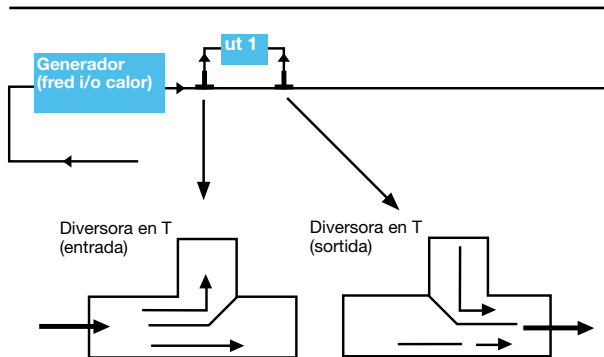


Figura 2.32. Diversores en T per garantir el flux de l'aigua pel radiador.



Suggeriment important

- Implantar un sistema a 2 tubs per donar només calefacció o només fred, segons temporada, ja és una manera de racionalitzar l'ús de l'energia.
- Utilitzar un sistema de *free cooling* (ventilació independent) en èpoques intermèdies (primavera o tardor) per vèncer la càrrega de calor, fa estalviar consum de climatització, ja que només queden els consums de ventilació.
- Un sistema tot aigua amb aerotermos a dos tubs i vàlvules de tres vies pot regular la temperatura de cadascun dels locals, donant així confort zonificat. És un sistema més econòmic ja que únicament utilitza dos tubs, davant de tres o quatre tubs.

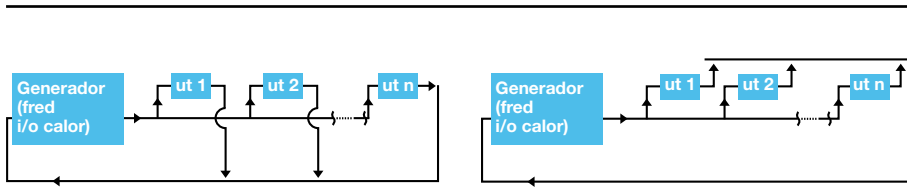


Figura 2.33. Sistema bitub, distribució per retorn directe i per retorn invertit.

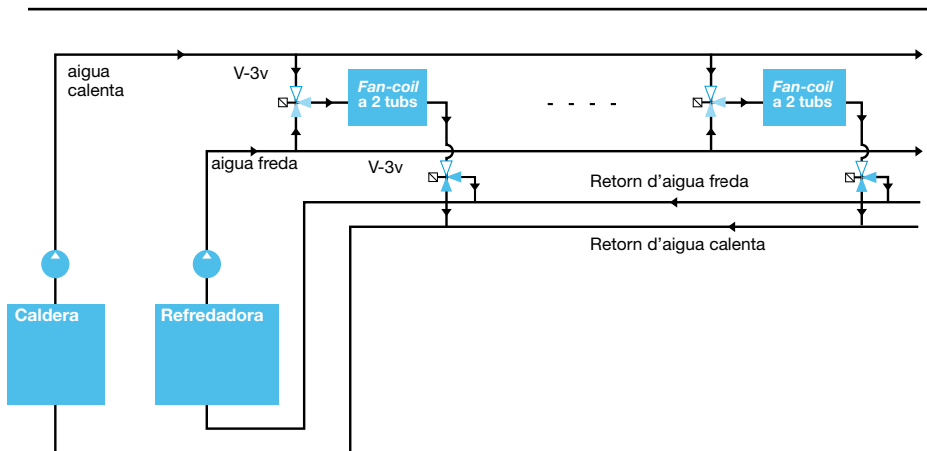


Figura 2.34. Sistema tot aigua a tres tubs teòrics.

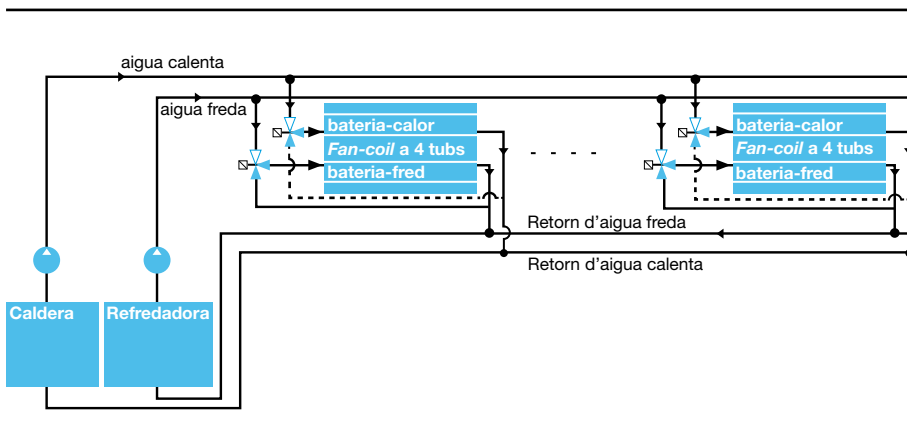
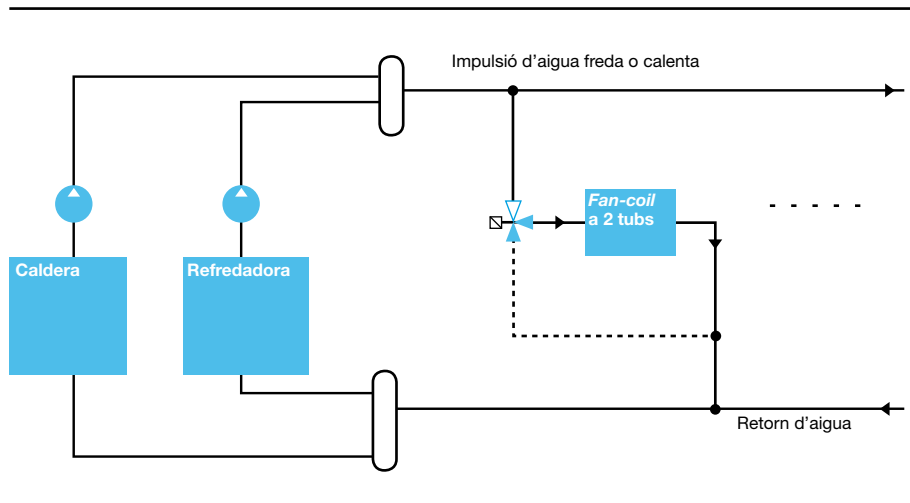


Figura 2.35. Sistema tot aigua a 4 tubs.

Figura 2.36. Sistema tot aigua amb aerotermos a dos tubs i vàlvules de tres vies.



2.3.4. Sistemes d'expansió directa (refrigerant)

Els sistemes d'expansió directa obvien la necessitat d'enviar aire o aigua des d'un sistema central a cada zona d'un edifici. Simplifiquen el sistema reduint conductes i canonades. Les unitats de producció tèrmica interiors que han de refrigerar o escalfar són normalment dins o molt a prop del local o espai a condicionar i estan formades únicament pels elements essencials (els elements que fan soroll o necessiten manteniment es col·loquen a les unitats exteriors).

Es poden classificar quatre tipus principals:

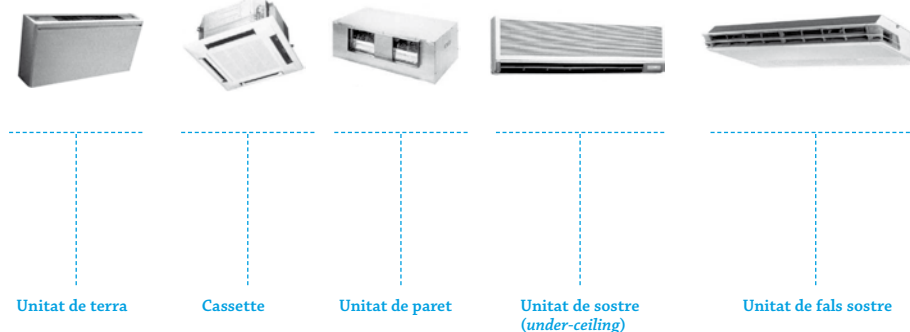
- Sistemes amb unitats compactes: unitats de coberta (*roof-top*), unitats de finestra (*through the wall*) i compactes (*packaged*).
- Sistemes partits: *split*.
- Sistemes partits: *multi-split*.
- Sistemes VRV.

També hi ha aparells individuals d'expansió directa, que s'ubiquen en cadascun dels locals a condicionar. Aquesta solució és molt simple perquè és fàcil muntar-los individualment.

2.3.4.1. Sistemes amb unitats compactes

Unitats compactes comprenen les unitats de coberta (*roof-top*) i equips de finestra. Aquests aparells disposen en el seu interior de tots els elements del circuit frigorífic: compressor, condensador, sistema d'expansió, evaporador, ventiladors, termòstat i elements de control. Són equips d'alt nivell sonor.

Figura 2.37. Exemples de tipus d'unitats interiors de sistemes partits.



2.3.4.2. Sistemes partits (*split system*)

Els sistemes partits estan formats per dos elements separats: una unitat interior (normalment l'evaporador) i una unitat exterior (condensadora). El compressor (element més sorollós) es troba a la unitat exterior, juntament amb el sistema d'expansió i elements de control de seguretat. La unitat interior inclou només la bateria evaporadora, amb el corresponent ventilador i comandament de control o termòstat.

Hi ha diversos tipus d'unitats interiors, funcionant com a expansió directa o també dins d'un sistema d'aigua.

- Unitats de paret (*high wall*), que es col·loquen a la part superior d'una paret.
- Unitat de terra o consoles de terra, que es col·loquen verticalment recolzades sobre el terra al cantó de la paret, ocupant l'espai típic d'un radiador de calefacció.
- Unitats de sostre (*under-ceiling*), que són unitats penjades horitzontalment del sostre.
- Unitats de fals sostre. Són unitats horitzontals, com les anteriors, però sense un acabat exterior, ja que van muntades horitzontalment dins el fals-sostre i no queden a la vista.
- Unitats de "cassette", que són unitats quadrades per a encastar al sostre. Només queda a la vista la part inferior, que és on hi ha les reixetes d'impulsió i retorn.

És possible trobar totes aquestes unitats en la modalitat de només refrigeració o com a bomba de calor. Algunes, incorporen resistències elèctriques com a suport de bomba de calor o per a calefacció.

Actualment, les unitats de paret acostumen a incorporar la funció *air sweep* que consisteix en poder variar l'angle de les lames de sortida d'aire per tal de donar una direcció més vertical o horitzontal a l'aire.

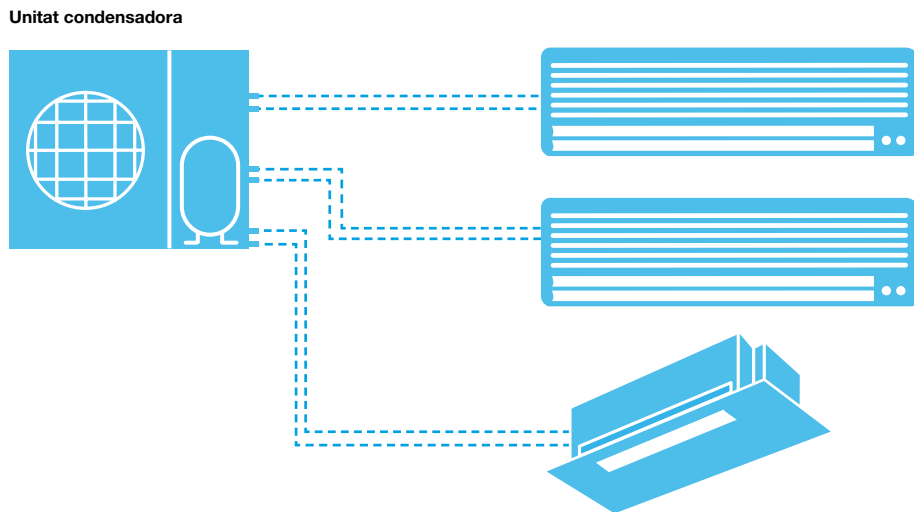
2.3.4.3. Sistemes partits *multi-split*

Els sistemes partits *multi-split* són una extensió del sistema anterior i consisteixen en què cada unitat condensadora exterior té la capacitat per assistir a varies unitats evaporadores o unitats interiors. Per tal de poder comandar i alimentar des d'una condensadora varies evaporadores i adaptar-se a les demandes frigorífiques de cadascuna de les unitats interiors, les unitats exteriors incorporen diferents solucions tecnològiques:

- Més d'un circuit amb més d'un compressor. Aquesta és una tecnologia simple i fiable. Cada unitat condensadora disposa en el seu interior d'un circuit amb compressor, condensador, expansió i control per cada unitat interior a la qual es vol connectar.
- Un únic circuit, però amb capacitat de donar la quantitat de refrigerant que demanin les unitats interiors. S'utilitzen compressors de velocitat de rotació variable. La velocitat del compressor s'adapta a la demanda de les unitats interiors. Aquests tipus de compressors s'anomenen *inverters*.
- Per *bypass* de gas calent. Es disposa d'una vàlvula per a controlar la capacitat del compressor. Quan la demanda de les unitats interiors disminueix, la vàlvula s'obre i deixa passar refrigerant de la descàrrega a l'aspiració, aportant així menys refrigerant a les unitats interiors.

Les unitats interiors d'aquest sistema són les mateixes que les descrites en el sistema anterior d'aparells individuals. Generalment, cada unitat interior té el seu propi comandament a distància per infrarojos.

Figura 2.38. Sistema *multi-split*.



2.3.4.4. Sistemes de Volum de Refrigerant Variable (VRV)

Els sistemes VRV són sistemes capaços de variar la quantitat de fluid refrigerant que se subministra a cadascuna de les unitats interiors d'una instal·lació, amb una única línia de líquid i una de gas per tal de donar fred i calor.

El sistema de control de capacitat dels compressors es fa mitjançant el sistema *inverter*, que és capaç de subministrar un corrent elèctric de freqüència variable, variant així les revolucions del compressor segons sigui la demanda tèrmica de les unitats interiors.

L'aplicació més habitual d'aquests sistemes és per a treballar com a bomba de calor, en què es disposa de dos tubs de refrigerant. També hi ha aplicacions de només fred.

Els principals components d'un sistema VRV són els següents:

- Les unitats condensadores disposen d'un o dos compressors amb sistema de control de capacitat tipus *inverter*.
- Separador d'oli a la descàrrega del compressor. Aquest element és fonamental en aquests sistemes, ja que les longituds de les canonades de refrigerant acostumen a ser força llargues i cal assegurar el retorn de l'oli al compressor per poder-lo lubricar.
- Sistema de control per determinar la potència frigorífica necessària. Això es fa:
 - amb un control electrònic que permet la comunicació amb les unitats interiors per conèixer la quantitat de refrigerant que necessita cada una, o
 - amb un control de la pressió del refrigerant a l'aspiració del compressor.
- Xarxa de canonades de refrigerant líquid (a baixa pressió si treballa en fred, o alta pressió, quan funciona en el cicle invers de calor).
- Xarxa de canonades de refrigerant gas (baixa pressió en fred, alta pressió en bomba de calor). Mateixa estructura que la xarxa anterior.
- Unitat interior que pot ser qualsevol tipus dels descrits: paret, cassette, de terra, de sostre, climatitzadors, etc.

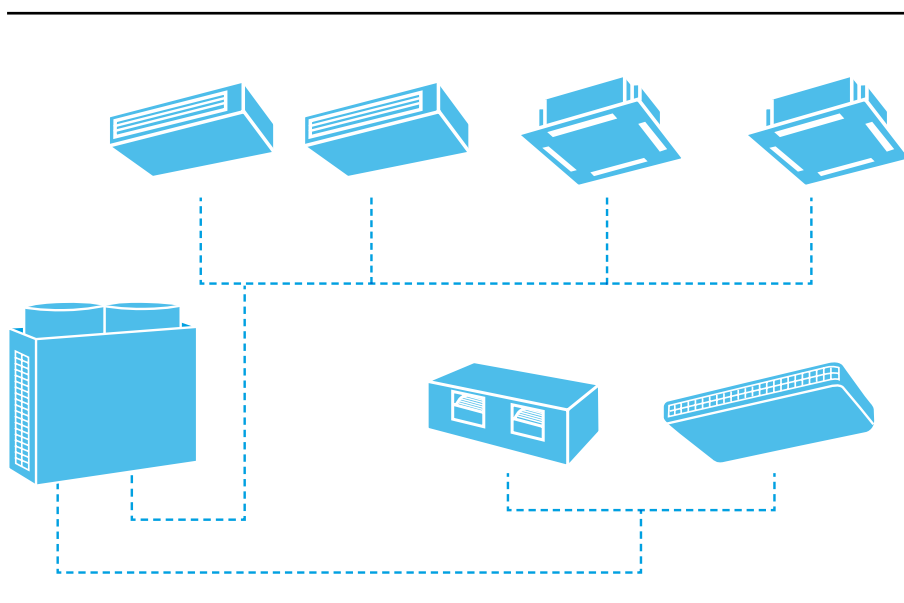
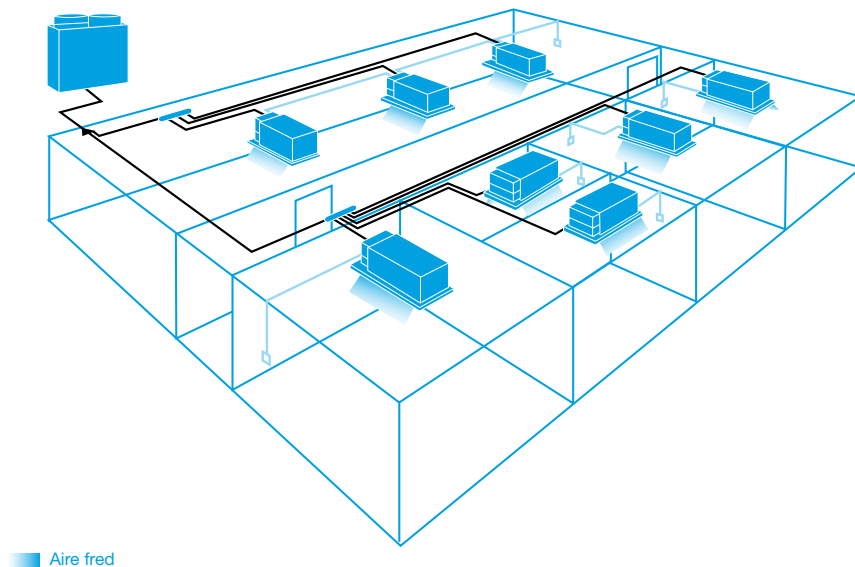


Figura 2.39. Configuració genèrica d'un sistema VRV.

Figura 2.40. Exemple gràfic d'inverter VRV per refrigeració i calefacció amb control individual.
Font: Daikin Air Conditioning.



El sistema VRV amb recuperació de calor disposa de tres tubs de refrigerant i pot donar simultàniament refrigeració i calefacció a diferents locals o dependències segons la demanda. La funció de les diferents xarxes de tubs és la següent:

- Xarxa de tubs de refrigerant a alta pressió, que proporciona calor a les unitats interiors que ho demanin.
- Xarxa de tubs de refrigerant a baixa pressió que subministra fred a les unitats interiors que ho demanin.
- Xarxa de tubs de refrigerant de retorn que canalitza tot el refrigerant que retorna a la unitat exterior.

Hi ha alguns d'aquests sistemes que introdueixen un element intermedi anomenat distribuïdor de refrigerant. En aquest cas la connexió entre la unitat exterior i el distribuïdor es fa amb tres tubs i, a partir del distribuïdor fins a les unitats interiors, es fa amb dos tubs.

2.4. Refrigeració en sistemes de climatització

El capítol de refrigeració inclou una descripció bàsica dels cicles frigorífics per compressió mecànica de vapor i per absorció així com dels principals elements que els conformen.

2.4.1. El cicle frigorífic per compressió mecànica de vapor

El capítol del cicle frigorífic per compressió mecànica de vapor descriu els conceptes bàsics i el rendiment del cicle frigorífic i classifica les unitats refredadores segons els diferents criteris:

- tipus dels fluids d'intercanvi tèrmic
- tipus de compressor
- tipus de condensació

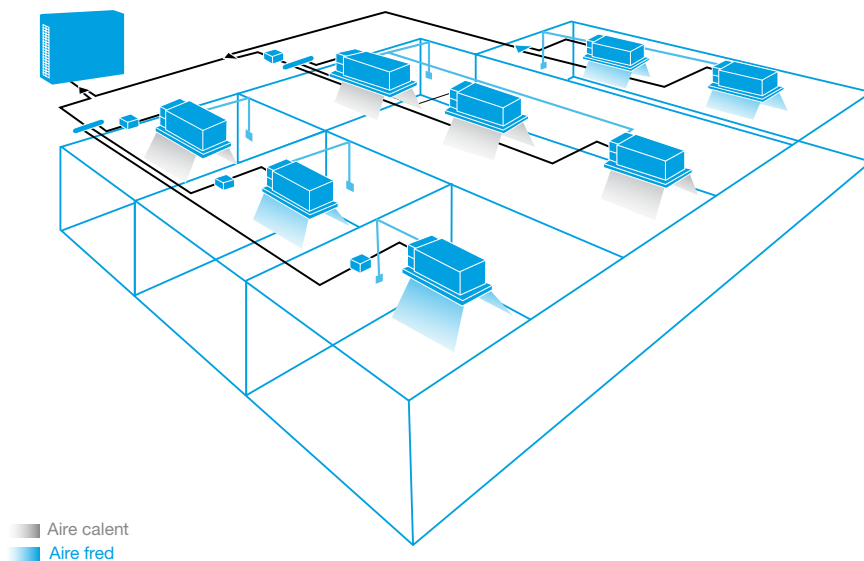


Figura 2.41. Exemple gràfic de VRV amb recuperació de calor per refrigeració i calefacció simultànies. Font: Daikin Air Conditioning.

2.4.1.1. Conceptes bàsics en el cicle frigorífic per compressió

Una de les maneres més difoses i utilitzades per a produir fred amb aplicació al condicionament d'aire es basa en el cicle de compressió de vapor, compostat per un circuit en què hi circula un líquid refrigerant que normalment és un freó. Aquest refrigerant actua com un 'transportador' de calor, de manera que la calor que s'extrau d'un lloc es porta cap un altre per dissipar-lo. Els refrigerants escollits per a refrigerar són líquids molt volàtils que canvien de fase líquida a vapor a baixa temperatura a la pressió atmosfèrica. Els quatre elements mecànics que componen el cicle de fred per compressió són:

Evaporador. Dispositiu en què el refrigerant en estat líquid passa a l'estat vapor i, per tant, hi ha absorció de calor. L'evaporador és doncs un bescanviador de calor en què s'utilitza la calor que hi ha en el local o edifici per a fer evaporar el líquid refrigerant.

Compressor. Dispositiu que comprimeix el gas refrigerant per tal d'augmentar-ne la pressió i temperatura.

Condensador. Dispositiu en què el refrigerant canvia d'estat passant de vapor a líquid i en què es produeix calor que haurà de ser dissipada. Aquesta dissipació es fa normalment amb aire o aigua, però també és possible amb el subsòl. El condensador és, per tant, un bescanviador que ha de dissipar la calor que el cicle ha absorbit a l'evaporador i la calor com a conseqüència del treball produït pel compressor.

Vàlvula d'expansió termostàtica o restrictor. Component que dona una baixada de temperatura i pressió al líquid refrigerant. Tots aquests elements estan normalment integrats en un mateix equip frigorífic, incloent el dissipador de calor del condensador si la condensació es fa amb aire. La representació gràfica d'aquest cicle per tal de poder fer càlculs, es fa normalment en els gràfics de pressió-entalpia del refrigerant utilitzat.

Així queda representada l'evolució energètica (entalpia) a través dels diferents punts del cicle, a més de les condicions de pressió i temperatura.

Figura 2.42. Cicle de refrigeració per compressió. Font: York Air Conditioning.

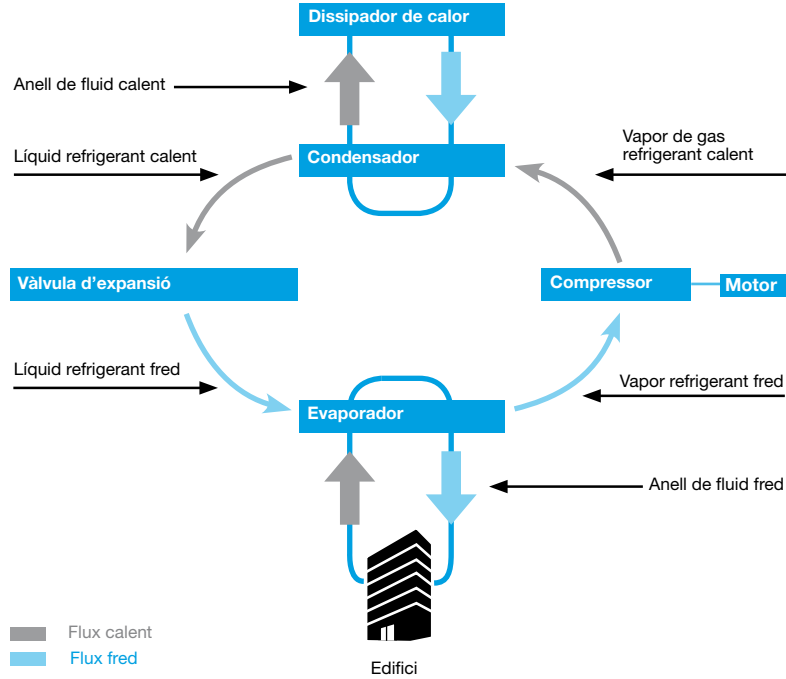
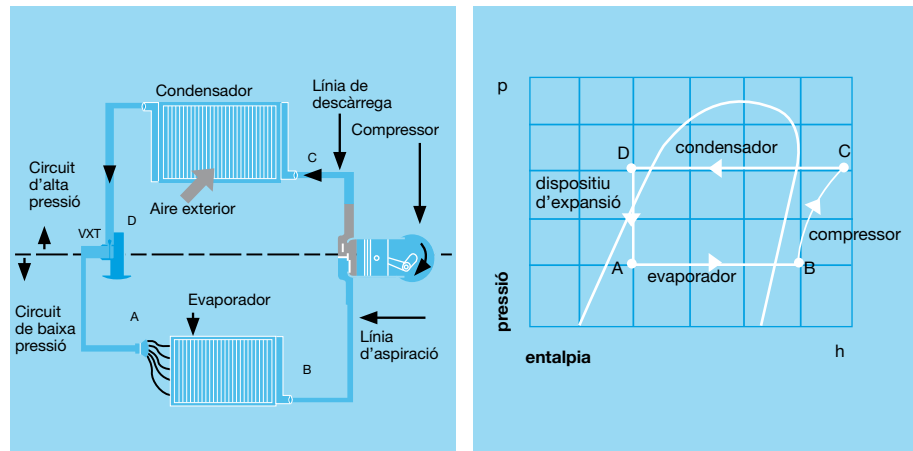


Figura 2.43. Cicle de compressió mecànica de gas refrigerant i la seva representació en el gràfic pressió-entalpia.

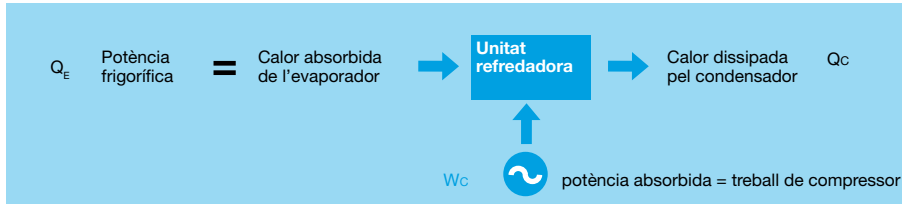


2.4.1.2. Rendiment del cycle frigorífic

En el balanç d'energia d'una màquina de refrigeració hi intervenen els fluxos energètics següents:

El rendiment tèrmic es defineix com la relació entre l'energia útil obtinguda i l'energia subministrada:

$$\eta = \frac{Eu}{Es}$$



Per a les màquines tèrmiques, aquest rendiment s'anomena coeficient de funcionament, i s'aplica per als cicles de refrigeració o bombes de calor:

$$COP = \frac{kW_{frigorífics}}{kW_{elèctrics}}$$

Els kW frigorífics corresponen a la calor que s'absorbeix de l'ambient a refrigerar o a la potència frigorífica de la màquina. Els kW elèctrics corresponen a la potència absorbida pel compressor per a fer funcionar la refredadora.

2.4.1.3. Classificació de les unitats refredadores per fluid d'intercanvi tèrmic

Les unitats refredadores es poden classificar, segons els fluids d'intercanvi en evaporador i condensador, en:

- Les unitats aire-aire utilitzen aire exterior per a la condensació i produeixen aire fred.
- Les unitats aire-aigua utilitzen aire exterior per a la condensació i produeixen aigua freda.
- Les unitats aigua-aire utilitzen aigua per a la condensació i produeixen aire fred. L'aigua per a la condensació pot venir d'una torre de refrigeració, aigua freàtica o superficial (riu, llac o mar).
- Les unitats aigua-aigua utilitzen aigua per a la condensació com en el cas anterior i produeixen aigua freda.
- Les unitats geotèrmiques (terra-aigua o terra-aire) fan la condensació amb el terreny i produeixen aigua o aire fred.

2.4.1.4. Classificació de les unitats refredadores per tipus de compressor

Els cinc tipus de compressors més usats en el cicle de refrigeració de compressió mecànica són:

- Alternatius o de pistó.
- Rotatius.
- *Scroll*.
- Cargol.
- Centrífugs.

El compressor alternatiu consisteix en el típic pistó amb moviment alternatiu (de vaivé) dins un cilindre, que segueix el mateix principi de funcionament que el típic motor de cotxe. Hi ha tres tipus de compressors alternatius segons acabat i potència:

- Els compressors hermètics són compressors encapsulats en una carcassa metàl·lica soldada, hermèticament segellats. Dins aquesta carcassa hi ha el compressor i el motor. Són els més àmpliament usats. Tenen un cost baix, però no es poden reparar. S'utilitzen per a potències compreses entre 30 i 70 kW (30.000 a 60.000 Kcal o F/h).
- Els compressors semihermètics són compressors en què motor i compressor estan junts però la carcassa és desmuntable i, per tant, es poden reparar. Pràcticament totes les refredadores de potències per sobre dels 50 kW i fins als 450 kW (43.000 a 450.000 F/h) solen usar aquest tipus de compressor. Últimament però, la tecnologia dels compressors hermètics i *scroll* s'han desenvolupat molt i estan guanyant terreny davant dels compressors semihermètics.
- En els compressors oberts, el motor i el compressor estan separats. S'utilitzen en instal·lacions industrials per a potències de 100 a 650 kW (85.000 a 600.000 F/h).

Els compressors rotatius funcionen utilitzant un rodet que roda dins una cambra cilíndrica, segons un mecanisme d'excèntrica. Disposen d'una paleta amb una molla que està sempre en contacte amb el rodet i que manté separades les dues zones d'alta i baixa pressió. La compressió i succió passen simultàniament en els costats oposats del rodet, de manera que amb dues revolucions completes es comprimeix tot un volum de vapor.

Els compressors *scroll* consisteixen en dues peces metàl·liques en forma d'espiral encaixades una en l'altra, de manera que una roman fixa i l'altra, accionada per un motor orbita, realitzant un moviment giratori de translació respecte la fixa. Entre les dues peces formen una cambra de compressió, on entra el refrigerant i és comprimit fins a ser expulsat. Aquests compressors no necessiten vàlvules de succió i descàrrega.

En els compressors de cargol, el mecanisme de compressió està format per dos rotors en forma de cargol, que giren l'un contra l'altre. El procés d'admissió, compressió i descàrrega es realitza a la zona d'unió entre els dos rotors. Aquests compressors, igual que els altres rotatius no disposen de vàlvules. En aquests compressors, igual que en els *scroll*, la compressió es realitza de manera pràcticament contínua, pel que són molt fiables i menys sorollosos que els de pistó.

Els compressors centrífugs contràriament a tots els anteriors, realitzen la compressió sense reduir el volum interior de la cambra de compressió. Poden comprimir

grans quantitats de refrigerant. Les refredadores centrífugues s'utilitzen només per a grans capacitats de refrigeració. El principi de funcionament consisteix en comunicar una molt alta velocitat al refrigerant mitjançant un disc circular amb àleps (impulsor de la turbina) que gira a molt alta velocitat. Després es fa passar el refrigerant a través d'un difusor que baixa bruscament la seva velocitat, transformant-la en alta pressió.

Quant a l'eficiència energètica dels compressors, de més a menys eficiència segueixen la relació següent:

- Centrífugs.
- Cargols.
- Alternatius oberts.
- Alternatius semihermètics.
- *Scroll* (hermètic).
- Rotatiu (hermètic).
- Alternatiu hermètic.

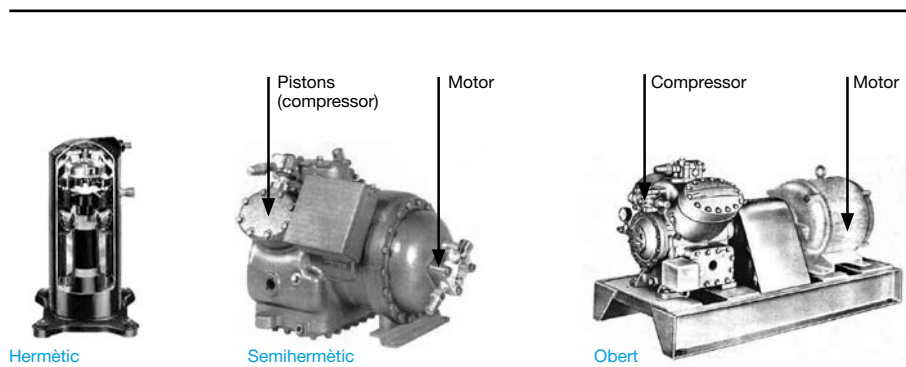


Figura 2.44. Tipus de compressors alternatius. Font: Carrier Air Conditioning.

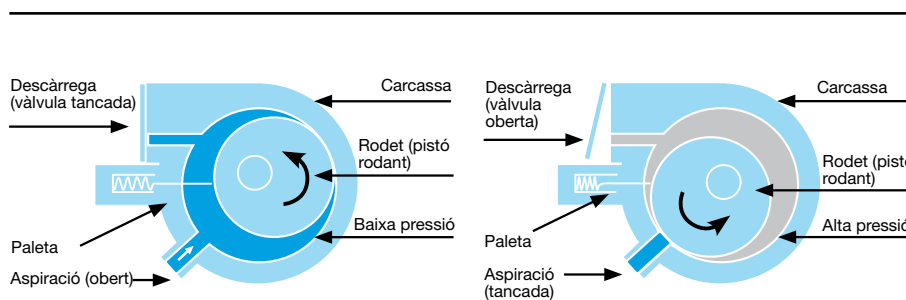


Figura 2.45. Principi de funcionament d'un compressor rotatiu. Font: Carrier Air Conditioning.

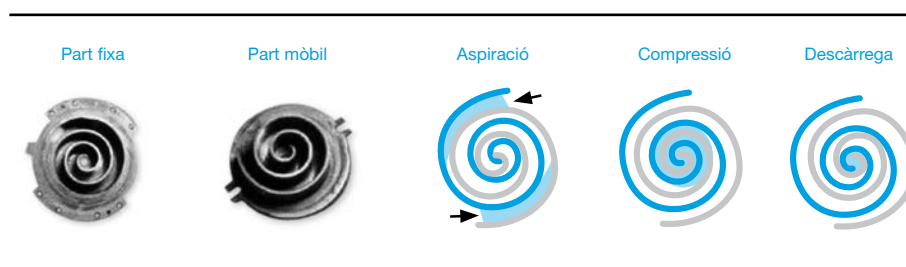


Figura 2.46. Principi de funcionament d'un compressor scroll. Font: Carrier Air Conditioning.

Figura 2.47. Principi de funcionament d'un compressor de cargol. Font: Carrier Air Conditioning.

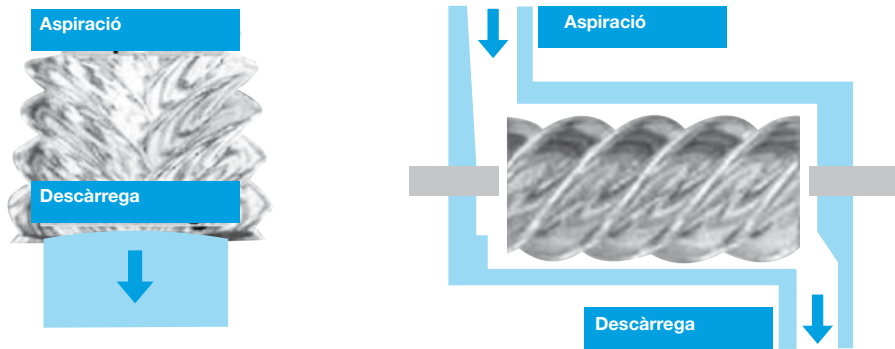


Figura 2.48. Principi de funcionament d'un compressor centrífug. Font: Carrier Air Conditioning.

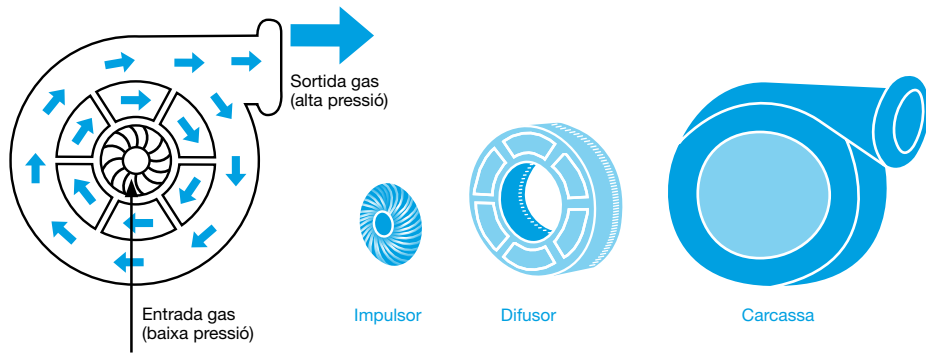
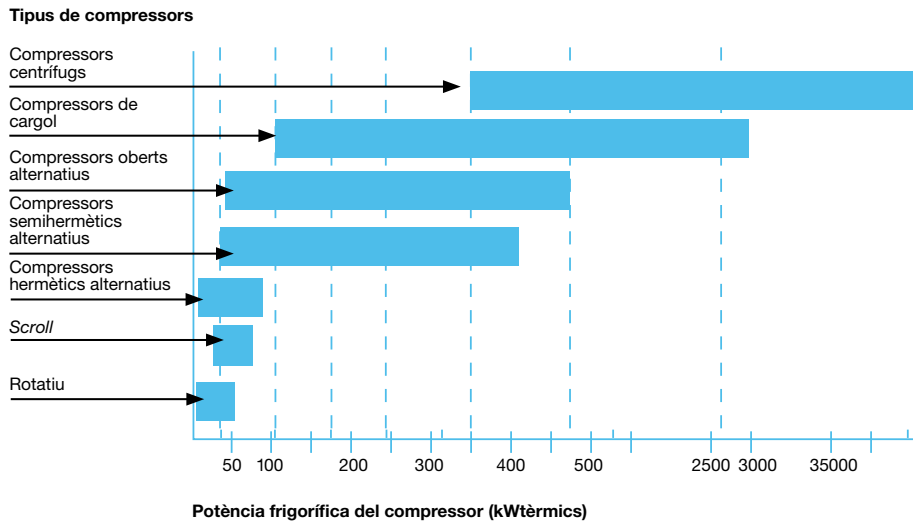


Figura 2.49. Rangs de potència frigorífica segons el tipus de compressor.



2.4.1.5. Classificació de les unitats refredadores per tipus de condensació

Hi ha tres maneres o mitjans de dissipar la calor de condensació:

- a través de l'aire ambient: amb condensadors d'aire,
- a través d'aigua fent-la circular a través de condensadors d'aigua. La font d'aigua externa pot ser: un riu, un pou (d'aigües freàtiques), un llac, el mar o una torre de refredament,
- dissipant la calor de condensació amb la terra.

La condensació per aire és la més utilitzada per raons pràctiques. Actualment, els condensadors d'aire per a les unitats refredadores (*chillers*) formen part de la pròpia màquina. No obstant, els fabricants més importants poden donar l'opció de condensadors remots. En el cas dels sistemes de refrigerant (expansió directa i VRV) les condensadores són sempre remotes per concepció del propi sistema. D'altra banda, la condensació per aire és la de menys eficiència energètica, ja que la capacitat calorífica de l'aire és, per exemple, més de quatre vegades inferior a la de l'aigua.

La condensació per aigua és actualment poc utilitzada per potències entre 500 i 1.200 kW, degut al potencial de risc que tenen aquests sistemes de produir legionel·losi, quan s'utilitzen torres de refredament, que és l'opció més general, i no aigua de riu o de pou. A més de tenir un cost d'explotació energètica molt inferior, el cost de la inversió inicial d'una refredadora amb la torre de refredament i les bombes corresponents és més econòmic que les unitats condensades per aire. Un criteri vàlid i coherent és utilitzar unitats refredadores de condensació per aigua a partir de 580 kWt (500.000 F/h).

La condensació geotèrmica té una eficiència energètica que està entre les altres dues. La seva aplicació òptima és combinar-la amb la climatització per sostre radiant, ja que s'aprofiten les millores de rendiment degut a:

- Impulsió de temperatura d'aigua freda a 15 enlloc de 7°C.
- Condensació a una temperatura intermèdia entre la condensació per aire i la condensació per aigua.

Atès que cada vegada s'aplica més, es dedica un dels apartats d'aquesta guia a aquesta tecnologia.

2.4.2. El cicle frigorífic per absorció

El cicle d'absorció segueix principalment el mateix esquema que el cicle de compressió, però substitueix la compressió del líquid refrigerant per un procés d'absorció, al qual, enlloc d'aportar energia elèctrica per a la compressió, necessita una aportació d'energia tèrmica per a tancar el cicle i regenerar-ne els components. Aquesta aportació d'energia tèrmica permet l'ús directe de combustibles fòssils o vapor de processos industrials, aigua escalfada per energia solar tèrmica, etc. que permeten reduir de manera substancial l'energia primària necessària per a produir fred.

Les unitats de refrigeració pel principi d'absorció s'apliquen normalment per a grans instal·lacions amb elevades necessitats de fred. L'absència d'un compressor mecànic té l'avantatge de menys vibracions, i menys soroll, que en les unitats que funcionen segons el cicle de compressió de vapor.

Aquest tipus de refredadores funciona segons el principi químic que tenen certes substàncies per la gran afinitat que tenen quant a l'absorció d'aigua. De la mateixa manera que la sal (de cuina) absorbeix vapor d'aigua de l'aire, la solució dins la màquina d'absorció absorbeix vapor d'aigua de l'aigua i, per evaporació, refreda l'aigua no evaporada.

La temperatura d'evaporació varia segons la pressió (grau de buit) dins la màquina. La temperatura de l'aigua freda es controla regulant el grau de buit.

L'aigua canvia de fase líquida a vapor a una temperatura de 100°C al nivell del mar, on la pressió és d'1 atm (1,033 Kg/cm² o 760 mm de mercuri). A 3.000 metres d'alçada, la pressió és més baixa i l'aigua canvia de fase a uns 89°C. Contràriament, en un recipient tancat amb una pressió de 22,5 Kg/cm², l'aigua s'evaporarà a una temperatura de 147°C.

La figura 2.50 representa l'efecte de la pressió en la temperatura d'ebullició de l'aigua.

El funcionament del cicle d'absorció es basa en l'afinitat que tenen certes substàncies entre elles i que afavoreix el procés d'absorció química. Si, a més, les dues substàncies tenen punts d'ebullició molt diferents, és més fàcil separar la barreja per escalfament. Una de les substàncies, la més volàtil actua com a refrigerant i, l'altra, com a absorbent. Les substàncies més utilitzades són l'aigua, el bromur de liti i l'amoniac. La variant 1 de la taula 2.14 és la més emprada.

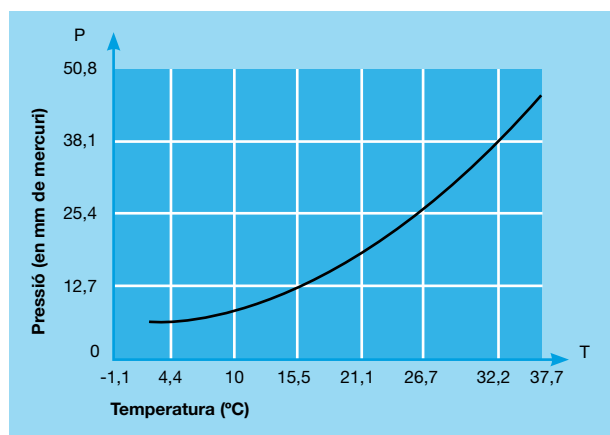
Es diferencia entre cicles d'absorció d'efecte simple i cicles d'absorció d'efecte doble.

2.4.2.1. Cicle d'absorció d'efecte simple o una sola etapa

Els diferents passos que segueix aquest cicle, utilitzant com a refrigerant aigua i BrLi com a absorbent, són els següents:

1. En un recipient tancat (evaporador) es disminueix la pressió fins a uns 866,59 Pa (6,5 mmHg), i s'introdueix aigua pulveritzada sobre els tubs pels quals circula l'aigua que es pretén refredar per a climatitzar l'edifici (bescanviador). Atesa la baixa pressió, l'aigua introduïda evapora a 5°C, absorbint calor de l'aigua que circula pel bescanviador, pel canvi de fase de líquid a vapor. Aquest procés es pararia quan el recipient s'omplís de vapor d'aigua.

Figura 2.50. Corba pressió temperatura per l'aigua.



Taula 2.14. Substàncies més utilitzades com a refrigerant i absorbent.

Cicle d'absorció	Refrigerant	Absorbent
Variant 1	Aigua	Bromur de liti (BrLi)
Variant 2	Amoniàc (NH ₃)	Aigua

2. En una segona fase s'introdueix una solució concentrada de sal de bromur de liti, que absorbeix el vapor d'aigua que s'ha evaporat. En aquest recipient, anomenat absorbidor, hi ha una barreja d'aigua i BrLi, que caldrà regenerar. Vegeu la figura 2.51.
3. La solució de BrLi, diluïda amb aigua, perd la seva capacitat d'absorbir més aigua i, per tant, s'ha d'anar aportant contínuament una solució concentrada de BrLi al recipient absorbidor. La solució diluïda es bomba cap a un altre recipient que s'anomena generador, que l'escalfa per tal de fer-la bullir i separar l'aigua del BrLi i així, obtenir novament solució concentrada de BrLi, que torna a l'absorbidor.
4. El vapor refrigerant, separat de la solució diluïda, es refreda en un compartiment apart (condensador) fins que passa a fase líquida i, després, es torna a introduir en l'evaporador a través dels pulveritzadors, reiniciant així el cicle. Vegeu la figura 2.52.

D'aquesta manera, l'aigua de refrigeració (s'utilitzen sempre torres de refredament) en el condensador, refreda el vapor refrigerant, i el condensa, passant l'aigua a fase líquida, mentre que en l'absorbidor s'agafa la calor cedida pel vapor refrigerant al ser absorbit per la solució de BrLi.

Hi ha un component addicional en aquest cicle: en el recorregut de la solució de BrLi+H₂O des de l'absorbidor al generador, s'hi posa un bescanviador de calor per preescalfar aquesta solució, utilitzant la solució escalfada que ens retorna del generador. Això augmenta l'eficiència del cicle.

D'altra banda, la reacció química que provoca el BrLi produeix una calor addicional que cal dissipar en el procés d'absorció d'aigua amb aigua de la torre de refredament.

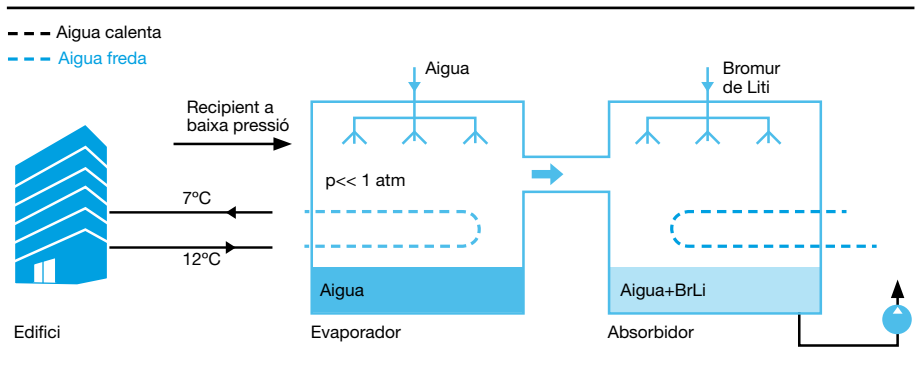


Figura 2.51. Procés d'evaporació i absorció.

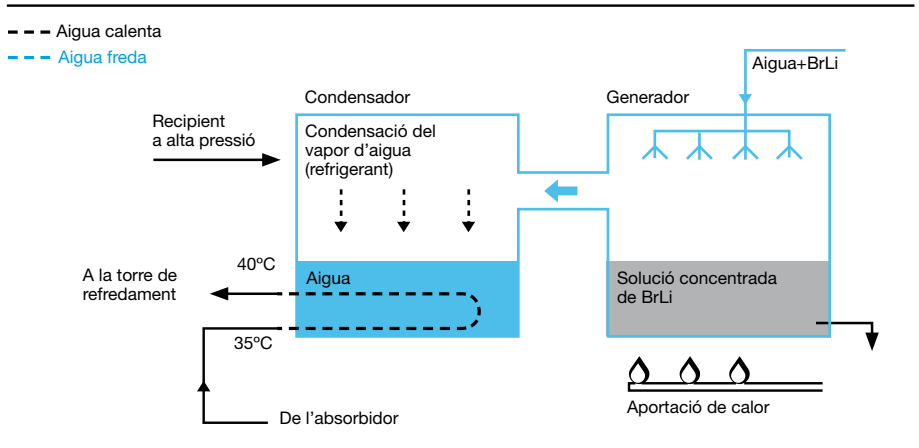
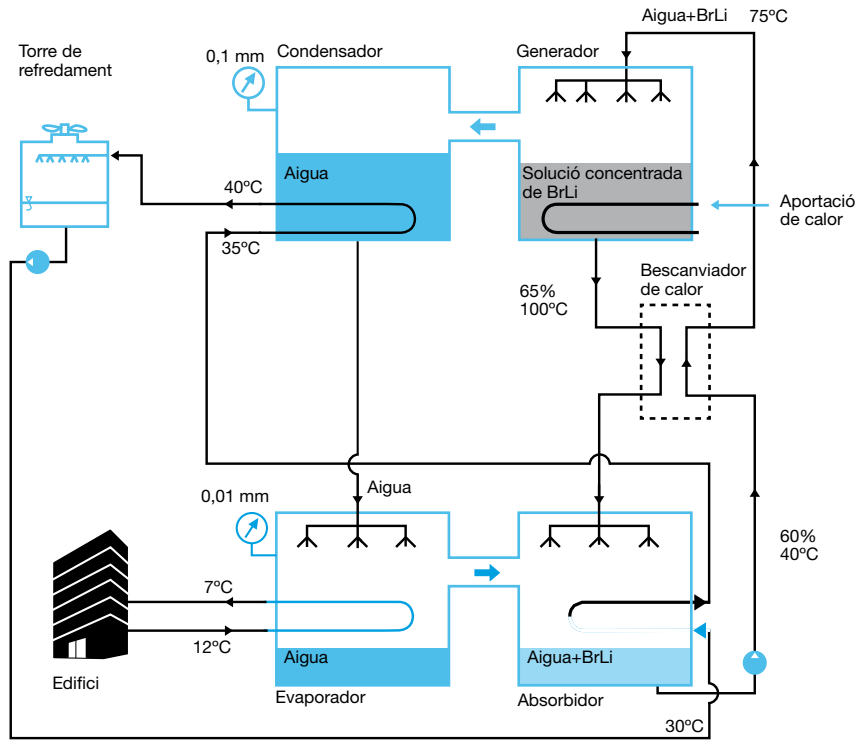


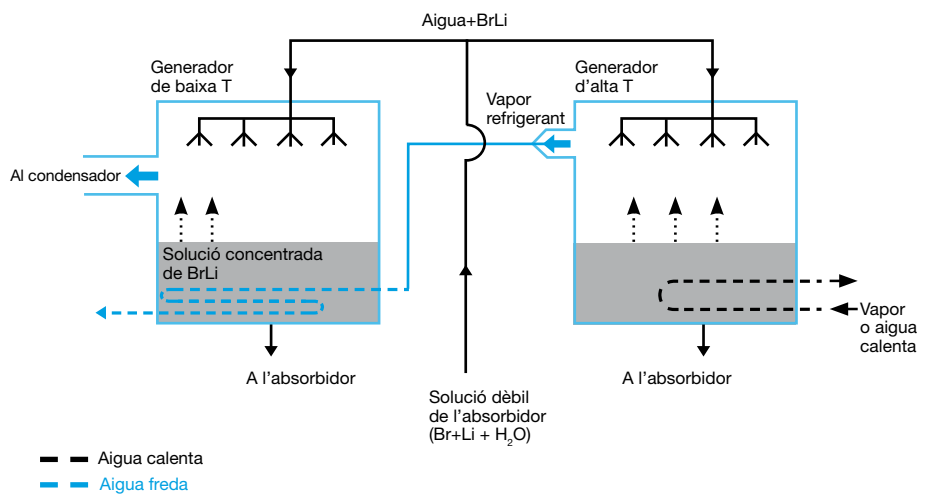
Figura 2.52. Procés de generació i condensació.

Figura 2.53. Cicle complet d'una màquina d'absorció d'efecte simple.



— Aigua calenta
 — Aigua freda

Figura 2.54. Generadors de la màquina d'absorció d'efecte doble.



— Aigua calenta
 — Aigua freda

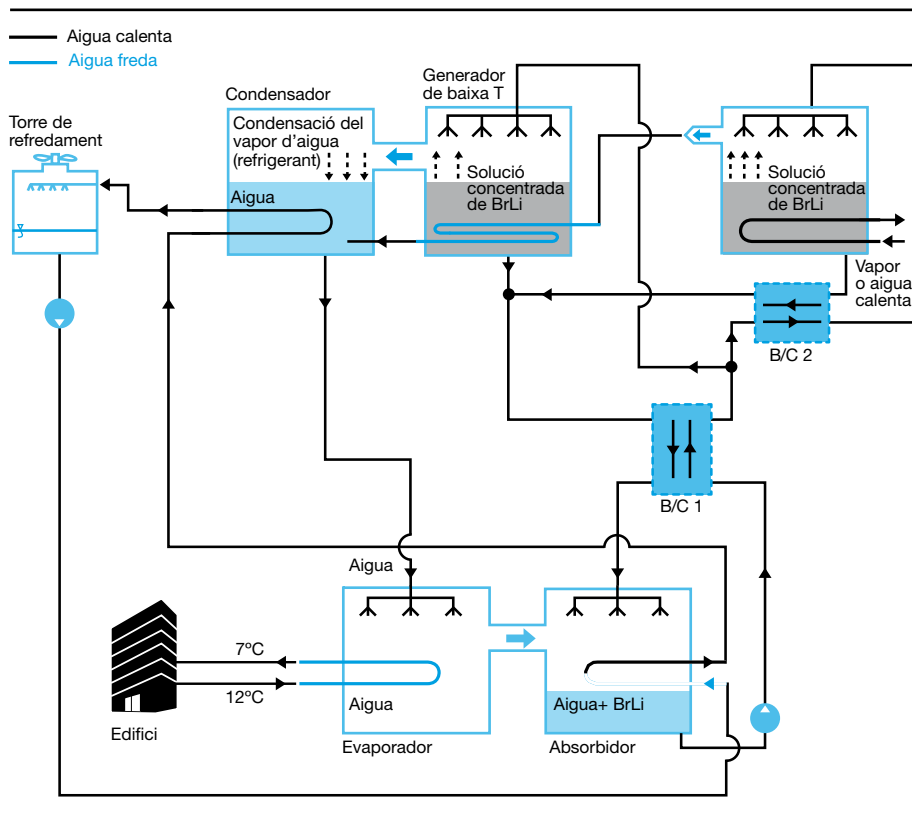


Figura 2.55. Ciclo complet d'una màquina d'absorció d'efecte doble.

Tipus d'unitat	COP	Pressió vapor saturat	Alimentació	Capacitat torre de refrigeració	Cost
Efecte simple	~ 0,7	1 Kg/cm ²	aigua 80 a 135°C	2 x potència frigorífica de la unitat	1
Efecte doble	1 a 1,2	4 a 9 Kg/cm ²	aigua 130-185°C	1,5 x potència frigorífica de la unitat	1,25

Taula 2.15. Comparació d'unitats d'absorció.

2.4.2.2. Ciclo d'absorció d'efecte doble o dues etapes

En un ciclo d'absorció de doble efecte, el generador està dividit en dues parts: una d'alta temperatura i l'altra de baixa. El vapor refrigerant produït pel generador d'alta temperatura s'utilitza per a escalfar la solució de bromur de liti, que es troba a la part de baixa temperatura on la pressió i el punt d'ebullició són menors. Així s'utilitza de manera més eficaç la calor de condensació.

De la mateixa manera com en el ciclo d'efecte simple, el vapor produït a la part de baixa temperatura, s'envia al condensador per passar a estat líquid. El vapor refrigerant produït a la part d'alta temperatura es condensa al cedir calor a la solució de bromur de liti, i es condueix cap al condensador. En els circuits d'impulsió i retorn de la solució de BrLi es disposa de bescanviadors de calor per tal d'augmentar l'eficiència d'aquest ciclo.

Com que aquest cicle aprofita la calor latent del vapor refrigerant en el generador de baixa temperatura, el condensador genera menys calor i es necessiten torres de refredament més petites que en el cicle simple.

Les unitats de refrigeració basades en un cicle de doble efecte tenen el risc de cristal·lització, que es dona quan la concentració de la solució de bromur de liti és propera al màxim i baixa la temperatura. Aquesta cristal·lització de la solució de bromur de liti, que sempre es produeix en un dels bescanviadors, és una avaria crítica, ja que bloqueja les canonades de la màquina i aquesta deixa de treballar.

Hi ha tres factors que poden donar una baixada de la temperatura a la solució de BrLi:

- Fallada en la potència d'alimentació de la unitat.
- Temperatura de condensació de l'aigua massa baixa.
- Entrada d'aire dins el sistema, a través d'alguna fuga.

En cas de tenir cristal·lització, el primer que caldrà fer és escalfar les canonades bloquejades.

En general les unitats d'absorció tenen un nivell baix de soroll i vibració. El seu manteniment també és menor que el d'una màquina de cicle frigorífic per compressió de vapor. El seu ús és ideal quan es disposa d'una font de calor residual.

2.4.3. Refrigeració solar

2.4.3.1. Conceptes bàsics

L'aplicació d'energia solar als sistemes de refrigeració d'edificis és una tecnologia emergent que té diversos avantatges, principalment que aquí – diferent a la majoria d'aplicacions de sistemes solars tèrmics - la càrrega màxima de refrigeració generalment coincideix amb la radiació solar màxima disponible. Altres avantatges són que els equips utilitzen fluids de treball que són totalment inofensius, com ara aigua i solucions salines i que la tecnologia permet explotar les instal·lacions solars d'aigua calenta sanitària i calefacció d'una manera eficient al llarg de l'any.

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

Sistemes oberts: el refrigerant, que sempre és aigua, està en contacte amb l'atmosfera.

Aquests sistemes actuen directament sobre l'aire en una unitat de tractament d'aire (sistema tot aire), i el refreden i deshumecten d'acord amb les condicions de confort. Els sistemes oberts es basen en una combinació de deshumectació sorbent i de refrigeració per evaporació, i generalment se'ls anomena sistemes de refrigeració per dessecació i per evaporació (RDE). L'energia de la calor solar s'utilitza per a regenerar l'equip emprat per deshumectar l'aire.

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

2.4.3.2. Sistemes oberts: refrigeració per dessecació i per evaporació (RDE)

La tecnologia més comuna utilitzada en els processos de refrigeració per dessecació i per evaporació es basa en l'aplicació de rodes dessecants que incorporen gel de sílice o clorur de liti com a material de sorció. L'esquema a continuació presenta un exemple de procés de refrigeració per dessecació basat en aquesta tecnologia.

Els paràgrafs següents descriuen el procés bàsic:

- L'aire d'entrada ve de l'exterior i passa a la roda dessecant que gira lentament. El material sorbent (per exemple, gel de sílice) del rotor absorbeix aigua del corrent d'aire, en redueix la humitat i n'augmenta la temperatura (1-2), en un procés gairebé adiabàtic.
- El subministrament d'aire entrant passa pel canviador de recuperació tèrmica per ser sotmès a refredament previ mitjançant un procés de refrigeració indirecta per evaporació, i fa un intercanvi tèrmic amb el corrent d'aire viciat que surt de l'habitació (2-3).
- Segons les condicions de temperatura i humitat de l'aire d'entrada necessàries per a superar la càrrega de refrigeració (sensible i latent) de l'habitació, es redueix la temperatura del corrent d'aire mitjançant un procés de refrigeració directa per evaporació en l'humectador, amb un increment simultani de la humitat (3-5). Cal tenir present que el convector connectat al subsistema solar només funciona amb subministrament de calor.

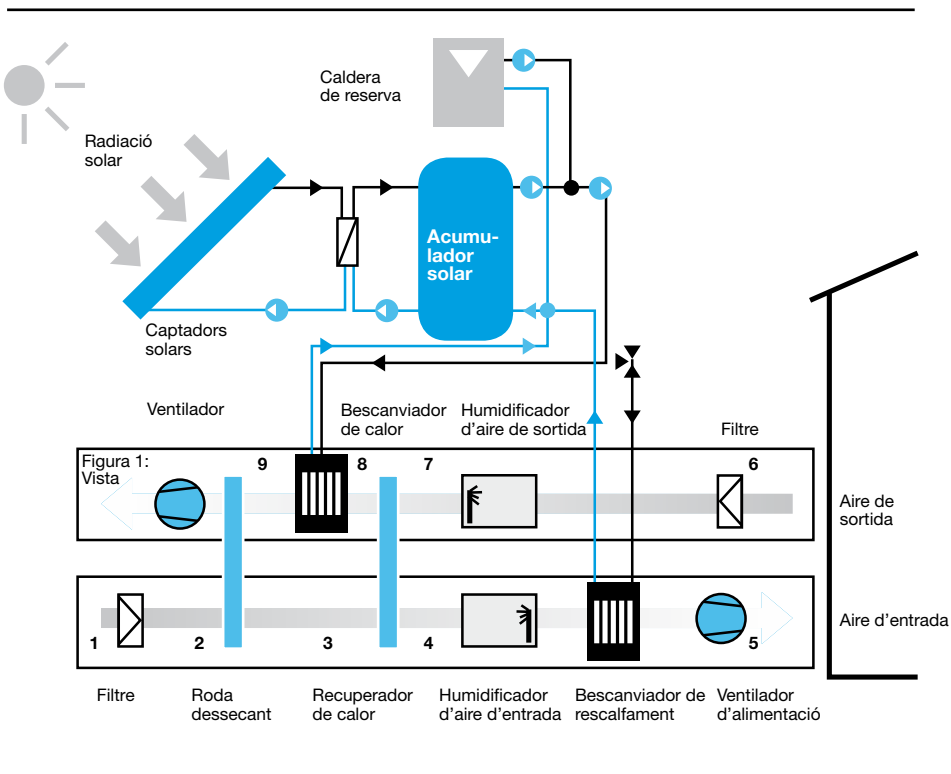


Figura 2.56. Sistema RDE amb captadors i caldera auxiliar.
Font: Sistemes d'aire condicionat solar, projecte SHADA - ICAEN, 2005.

- L'aire viciat de l'habitació s'humecta fins a la saturació, a fi de maximitzar el potencial de refrigeració indirecta del corrent d'aire d'entrada pel canviador de recuperació tèrmica (6-7).
- El vapor d'aire viciat o brut se sotmet a un procés d'escalfament previ en el canviador de recuperació tèrmica amb el corrent d'aire d'entrada (7-8).
- La calor necessària per a regenerar la roda dessecant s'obté mitjançant un convector connectat a la font calorífica; en l'esquema s'utilitza un sistema solar tèrmic amb una caldera com a font auxiliar (8-9).
- Finalment, el corrent d'aire de regeneració passa per la roda dessecant per tal d'evaporar l'aigua que conté i permetre que es produeixi un procés de deshumectació continu (9-10).

En les aplicacions de sistema de RDE amb una humitat atmosfèrica alta, el cicle de refrigeració per dessecació descrit abans no aconsegueix reduir suficientment la càrrega latent. En aquest cas, un serpentí de refrigeració (4-5) connectat a un refrigerador (de compressió o tèrmic) produeix el refredament necessari que no es pot aconseguir pel procés de refrigeració per dessecació i per evaporació.

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

L'esquema de la figura 2.57 mostra una unitat de tractament d'aire que incorpora un sistema de RDE.

2.4.3.3. Sistemes tancats: refrigeradors alimentats tèrmicament

Els refrigeradors alimentats tèrmicament, tant d'absorció com d'adsorció, funcionen sobre la base d'un procés que permet transferències tèrmiques d'una font de baixa temperatura a una font d'alta temperatura. Això es pot fer gràcies a l'ús de calor addicional d'un nivell més alt de temperatura.

Aquest principi és similar al que s'aplica en els refrigeradors per compressió de vapor que funcionen amb electricitat. La diferència rau en el fet que, enlloc de consumir electricitat, es consumeix calor.

La font de baixa temperatura correspon a l'habitació que es vol refredar (o al mitjà que en transfereix l'energia). La majoria de sistemes funcionen a 7°C-12°C (si funcionen amb aerotermos) o menys, a 6°C-9°C (aplicació d'un serpentí de deshumectació en una unitat de tractament d'aire), però en el cas dels sistemes que funcionen amb sostres freds, són més apropiats els 15°C-18°C. La calor absorbida és expulsada a l'atmosfera, generalment per una torre de refrigeració.

La calor addicional necessària per al funcionament del sistema pot procedir de captadors solars o d'altres fonts, com ara plantes de cogeneració, calefacció centralitzada urbana o calor residual. Per a la majoria d'aplicacions solars tèrmiques (captador pla selectiu, tub de buit, captadors CPC fixos), la temperatura màxima que requereixi la màquina no ha de superar els 90°C. Es poden aplicar temperatures més altes amb altres tecnologies, com ara els captadors parabòlics de seguiment. Els captadors d'aire no són apropiats per a subministrar calor als refrigeradors alimentats tèrmicament, perquè el fluid que cal escalfar és aigua. El tipus de captadors solars més adequat per a qualsevol aplicació específica de sistema d'aire condicionat solar depèn molt de la irradiació global disponible i dels altres usos de la calor produïda (calefacció, aigua calenta domèstica, altres processos tèrmics).

Entre els avantatges dels refrigeradors alimentats tèrmicament, en comparació amb els refrigeradors per compressió que funcionen amb electricitat, hi ha els següents:

- Els costos de manteniment són més baixos, perquè hi ha menys components mòbils.
- Els costos d'explotació són menors, perquè el consum d'electricitat és molt baix (pels voltants de l'1% - 5% de la capacitat d'aigua freda).
- El rendiment és més alt en condicions nominals amb càrrega parcial.
- Les substàncies utilitzades són completament inofensives per al medi ambient (aigua, bromur de liti, amoníac, gel de sílice).

L'eficiència d'un sistema d'aire condicionat solar depèn molt dels nivells de temperatura dels circuits del refrigerador alimentat tèrmicament:

- Com més alta sigui la temperatura de la calor d'alimentació, més alt serà el COP del refrigerador, però més baixa serà l'eficiència del camp de captació.
- Com més baixa sigui la temperatura de la calor expulsada, més alt serà el COP del refrigerador, però més grans seran les dimensions de la torre de refrigeració.
- Com més alta sigui la temperatura del fred produït, més alt serà el COP.

D'aquesta última afirmació es desprèn que la refrigeració dels sistemes d'aeroterms que necessiten una producció d'aigua freda de 7°C és menys eficient que la dels sistemes de sostres de refrigeració que funcionen a 15°C.

Els principals tipus d'equips en la categoria dels refrigeradors alimentats tèrmicament són les màquines d'absorció i d'adsorció. La taula 2.16 resumeix les principals característiques del mercat.

El diagrama esquemàtic de la figura 2.58 il·lustra una instal·lació que utilitza un refrigerador alimentat tèrmicament connectat a captadors solars.

Els refrigeradors d'absorció són els refrigeradors alimentats tèrmicament més comuns en les aplicacions tant d'aire condicionat com industrials amb un mercat consolidat. La compressió del refrigerant s'aconsegueix mitjançant una solució de líquid refrigerant/sorbent i una font calorífica que substitueix el consum elèctric d'un refrigerador per compressió de vapor. Com mostra la taula 2.16, els refrigeradors d'absorció es classifiquen segons les fases: efecte únic o efecte doble i segons l'absor-

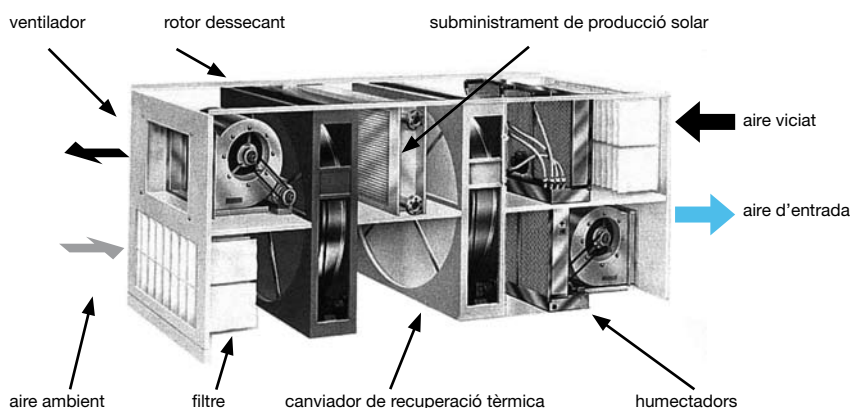


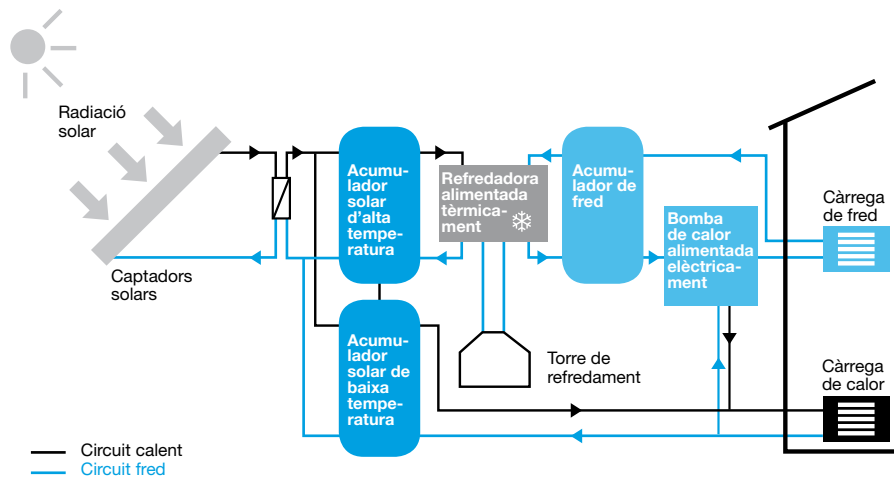
Figura 2.57. Unitat de tractament d'aire amb elements de RDE. Font: MUNTERS segons Sistemes d'aire condicionat solar, projecte SHADA - ICAEN, 2005.

Taula 2.16. Principals característiques dels refrigeradors alimentats tèrmicament actualment en el mercat.

procés	absorció		adsorció
fases	efecte únic	efecte doble	efecte únic
ab/adsorbent	bromur de liti / aigua ⁽¹⁾		gel de sílice
refrigerant	aigua / amoníac ⁽¹⁾		aigua
generador T	80°C – 110°C	140°C - 160°C	60°C – 95°C
flux	aigua calenta o aigua reescalfada	aigua reescalfada o vapor	aigua calenta
COP	0,6-0,08	0,8 - 0,8	0,4-0,7
capacitat del mercat	mercat incipient < 35 kW pocs fabricants de 35 kW a 100 kW mercat ampli >100 kW	pocs fabricants <100 kW mercat ampli >100 kW	50 – 350 kW (May.) 70 – 1.220 kW (Nis.)
fabricants	Yazaki, Broad, EAW, Carrier, Trane, York, LG Machinery, Sanyo-McQuay, Entropie, Thermax, Rotartica		Mayekawa, Nishiodo
captador solar apropiat	placa plana selectiva tub de buit CPC fix	parabòlica de seguiment	placa plana selectiva tub de buit CPC fix

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

Figura 2.58. Sistema basat en un refrigerador alimentat tèrmicament, amb captadors solars i bomba de calor auxiliar. Font: Sistemes d'aire condicionat solar, projecte SHADA - ICAEN, 2005.



bent-combinació de refrigerants: bromur de liti-aigua o aigua-amoníac. Els sistemes de bromur de liti-aigua són els més usuals per a sistemes d'aire condicionat i, en el cas de la tecnologia usual de captador solar, els refrigeradors d'absorció més comuns són els d'efecte únic, que funcionen amb aigua calenta.

El sistema més apte per a fraccions solars inferiors al 35%, aproximadament, consisteix en un refrigerador alimentat tèrmicament que no tingui caldera auxiliar, sinó que la capacitat de refrigeració estigui dividida entre el refrigerador alimentat tèrmicament que funciona només amb energia solar i un refrigerador per compressió de vapor alimentat amb electricitat. Les fraccions solars altes també permeten prescindir d'un refrigerador per compressió, alimentant la màquina d'ab-/adsorció amb energia tèrmica convencional com a font d'energia auxiliar quan la instal·lació solar no produeix tota la calor requerida.



Refrigeració solar Laboratoris de l'Agència de Salut Pública, Barcelona. Vista de la màquina d'absorció, acumulació de fred, torre de refrigeració i la primera fila de captadors solars. Font: www.aiguasol.com.

Cost. Els sistemes d'aire condicionat solars es troben en un mercat emergent i en l'actual situació de preus de combustibles fòssils i electricitat, que no tenen en compte els costos ambientals ni socials associats, encara no són econòmicament competitius respecte de sistemes que utilitzen fonts energètiques convencionals. Això és degut a que, malgrat la maduresa tècnica dels sistemes i el creixent mercat, el cost d'inversió dels diferents components de les unitats de refrigeració solar (captadors solars, rodes dessecants, refrigeradors d'adsorció, etc.) és molt més elevat que el dels components d'un sistema convencional.

2.4.3.4. Manteniment

El manteniment necessari en una instal·lació de refrigeració solar amb màquina d'absorció és molt inferior que en un sistema convencional de climatització degut a la inferior quantitat d'elements mòbils. Les actuacions necessàries es limiten a la verificació del correcte funcionament de la instal·lació i detecció de disminucions de producció, per exemple a causa d'avaries, la neteja periòdica dels captadors així com un manteniment preventiu semestral.

2.4.3.5. Bones pràctiques en refrigeració solar

Laboratoris de l'Agència de Salut Pública, Barcelona

La instal·lació de fred solar per subministrar serveis de refrigeració, calefacció i aigua calenta sanitària, promoguda per l'Agència d'Energia de Barcelona de l'Ajuntament de Barcelona, es basa en una màquina d'absorció de bromur de liti de 35 kW per a produir fred a partir de l'energia tèrmica produïda per un camp de 81 m² de captadors solars tèrmics plans selectius sobre coberta. El sistema té dos dipòsits d'emmagatzematge de calor de 3m³ cadascun, així com un dipòsit d'emmagatzematge de fred d'1m³. Com a sistemes auxiliars s'aprofita la caldera actual de 508 kW i s'hi ha instal·lat una refredadora per compressió de vapor de 323 kW.

L'estratègia de control permet optimitzar l'eficiència del sistema, seleccionant l'ús de l'energia solar per abastir el tipus de demanda tèrmica més adequat depenent de l'estació de l'any i les condicions meteorològiques, ja que la demanda de refrigeració requereix aigua calenta a temperatures superiors als 80°C, mentre els altres serveis es poden subministrar a 50°C.

La demanda de fred i calor de l'edifici és de 231 MWh/a i 85 MWh/a respectivament, la d'aigua calenta sanitària de 24 MWh/a. La contribució solar prevista a aquestes demandes és del 4% per a la refrigeració, 20% de calefacció i 68% per a la producció d'aigua calenta sanitària. L'estalvi en energia primària és de 72 MWh anuals.

2.4.4. Torres de refredament d'aigua

El funcionament de les torres de refredament d'aigua (TR), també anomenades torres evaporatives, es basa en el refredament evaporatiu, o sigui per l'absorció de calor en evaporar-se l'aigua. Una torre de refredament és un bescanviador de calor, en el qual no hi ha paret entre els dos fluids (aigua i aire) que es bescanvien calor.

A diferència de qualsevol bescanviador en què la transferència de calor es produeix segons els fenòmens de conducció i convecció, en una torre de refredament d'aigua, el paràmetre fonamental que intervé és la pressió de vapor. Els fluids que estan en contacte són l'aigua i l'aire (que també conté aigua en estat vapor). La diferència entre les pressions de vapor d'aquests dos fluids, promou el pas de líquid a vapor.

La temperatura límit a què es pot refredar l'aigua amb una torre de refredament és la del termòmetre humit de l'aire que entra a la torre.

2.4.4.1. Components d'una torre de refredament d'aigua

Una torre de refredament està composta pels següents components:

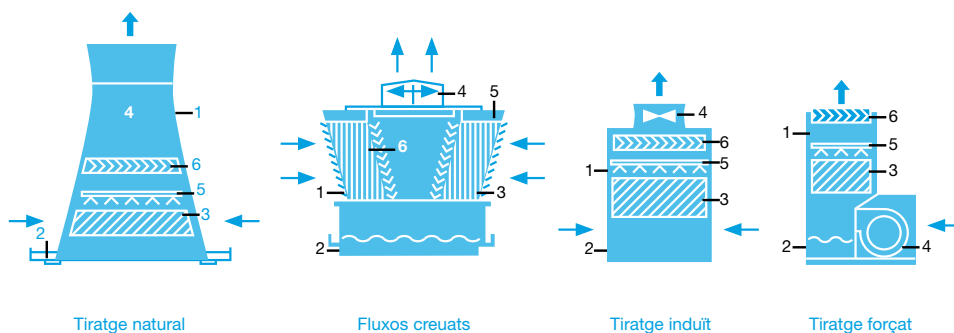
1. Envoltant.
2. Piscina.
3. Replè d'intercanvi tèrmic.
4. Sistema de circulació d'aire.
5. Sistema de distribució d'aigua.
6. Separador de gotes.

L'**envoltant** forma el cos exterior de la torre i la piscina de recollida d'aigua. Es pot construir de diferents materials:

- D'obra civil. Només per a torres de gran potència i de tiratge natural. Normalment s'utilitza formigó.
- Metall·liques. Construïdes amb planxes d'acer normalment galvanitzat. Necessiten molt manteniment periòdic. Són torres de vida relativament curta.
- Plàstiques. Solen ser de resines de polièster reforçades amb fibra de vidre. Adequades per a treballar en atmosferes corrosives. Tenen una vida llarga.

Replè d'intercanvi tèrmic. Medi que afavoreix i millora el contacte íntim de l'aigua i l'aire. Hi ha dues maneres de millorar aquest contacte:

Figura 2.59. Torres de refredament de diferent funcionament
Font: Tècniques Evaporatives, S.L.



- Mantenir les gotes d'aigua el màxim de temps possible en contacte amb l'aire. Es coneix amb el nom de replè de 'degoteig' (*splash*).
- Distribució del líquid en grans superfícies per a fer augmentar el contacte. Conegut com a replè 'laminar' (*film*).

Sistema de circulació d'aire. La circulació de l'aire s'aconsegueix de dues maneres:

- Tiratge natural. Produït per la variació de la densitat de l'aire. Només per a torres de grans dimensions.
- Tiratge mecànic. El corrent d'aire està forçat mitjançant un ventilador, que pot ser axial o centrífug.

Sistema de distribució d'aigua. L'aigua a refrigerar s'ha de repartir de manera uniforme sobre el replè. S'utilitzen els sistemes de distribució següents:

- Canals o safates per gravetat. Basats en canals oberts amb ranures laterals per on sobreix l'aigua. És un sistema de molt baixa eficàcia. S'utilitza bàsicament en torres de tiratge natural.
- Brocals. És el sistema més usat, per la seva elevada eficàcia. Normalment estan formats per un col·lector central amb braços laterals en els quals hi ha inserits broquets de tipus centrífug de diversos materials: metall, plàstic, ceràmica...

Separador de gotes. S'utilitzen per a evitar l'arrossegament de l'aigua en el corrent d'aire. Són dispositius formats per làmines paral·leles amb diversos plecs. Es col·loquen de manera que obliguen l'aire a xocar contra les seves cares. Hi ha diversos tipus de separadors de gotes, metàl·lics o en plàstic, amb més o menys eficàcia segons la velocitat de l'aire. L'eficàcia d'un bon separador de gotes és d'un 99,90 a 99,95%, fet que equival a que només deixaria passar del 0,05 al 0,1% del cabal d'aigua en circulació.

Al mercat hi ha replens i separadors de gotes de material de polipropilè amb tractament especial que eviten el creixement de la legionel·losi i altres bacteries.

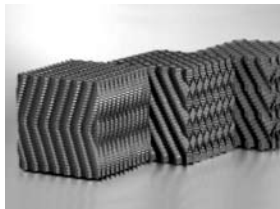
2.4.4.2. Consum d'aigua d'una torre de refredament

La torre de refredament basa el seu funcionament en l'evaporació parcial de l'aigua, aprofitant la calor latent d'evaporació per a refrigerar. La transferència per calor sensible es pràcticament menyspreable.

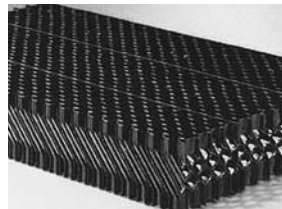
La despesa d'aigua es deu a tres causes:

1. Consum per evaporació. Donat per l'expressió:

$$\text{Cabal d'aigua: } \dot{V}_{\text{evap}} (l/h) = \frac{\text{Calor a dissipar}}{\text{Calor latent de vaporització}} = \frac{\text{Kcal/h}}{592,7 \text{ Kcal/l}} = \frac{\text{kW}}{0,6892 \text{ kWh/l}}$$



Replè



Separador de gotes

Figura 2.60. Diferents tipus de separadors de gotes.

2. Consum per arrossegament. El corrent d'aire que circula per l'interior de la TR arrossega una quantitat de petites gotes que estan en suspensió. Amb un separador de gotes de qualitat hauria de ser com a màxim d'un 0,1%:

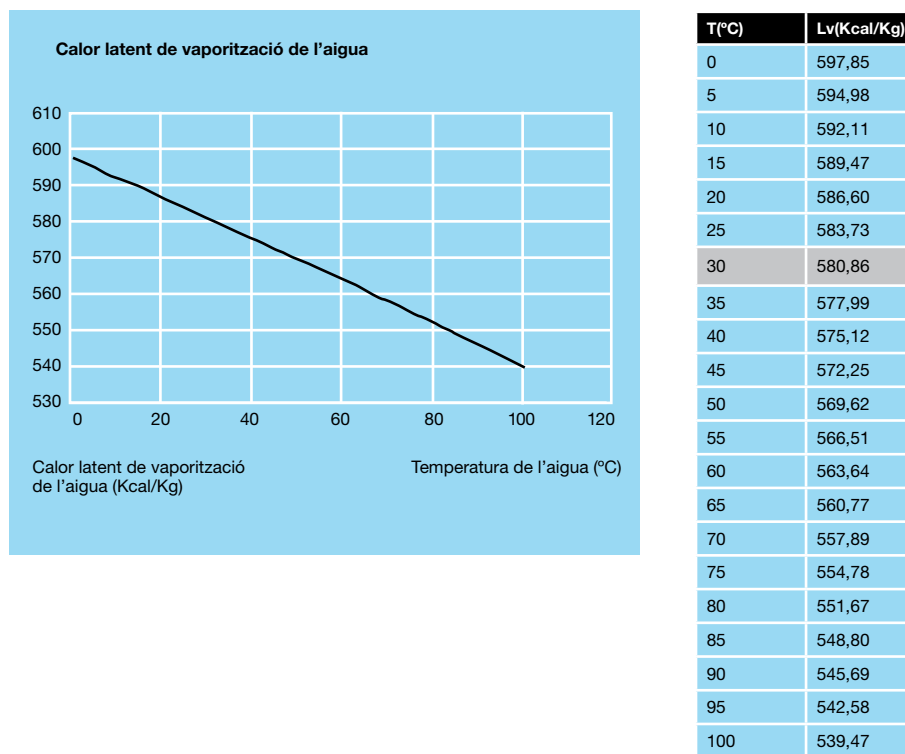
Cabal d'aigua perdut per arrossegament $\approx 0,1\%$ del cabal en recirculació.

3. Hi ha una despesa d'aigua que varia en funció de la qualitat de l'aigua. És necessari realitzar purgues per tal d'eliminar part de l'aigua saturada de sals, renovant-la així amb nova aigua.

La despesa d'aigua per purga de desconcentració, ve fixada pel tècnic de tractament de l'aigua. En els casos en què no hi hagi un tractament específic de l'aigua, es recomana efectuar una purga equivalent a la suma de les dues quantitats anteriors. La purga, per llei, ha de ser automàtica i abans que la concentració de sals a l'aigua la faci incrustant. Una sonda que mesura la conductivitat fa que s'obri la vàlvula de purga. En casos molt extrems, l'aigua de purga podria ser la mateixa que l'aigua d'evaporació.

La pressió de vapor de l'aigua varia amb la temperatura. Per saber les pèrdues d'aigua per evaporació s'aconsella calcular-les amb el valor de la temperatura exterior segons l'època de l'any.

Figura 2.61. Calor latent de vaporització de l'aigua.



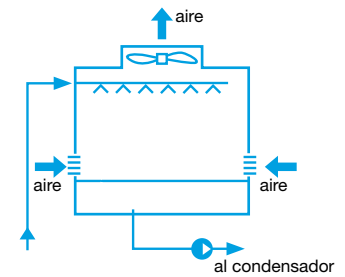
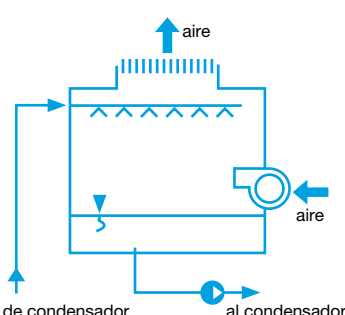
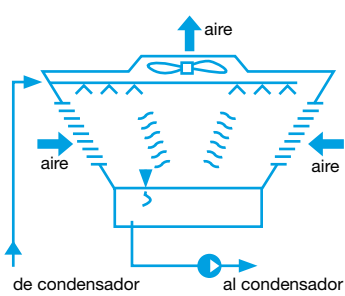
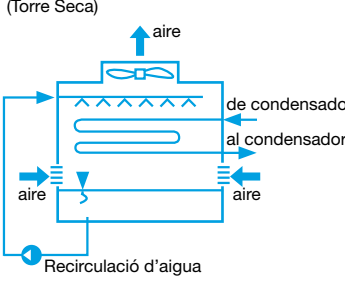
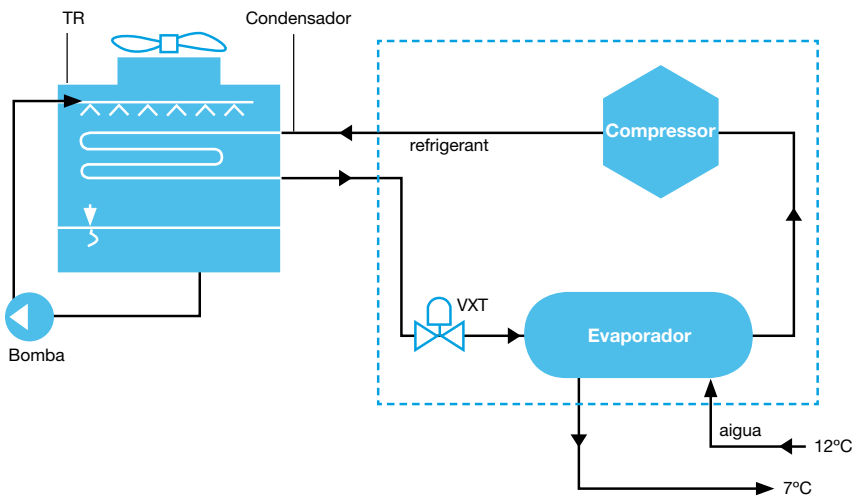
Tipus de torre de refredament	Avantatges	Inconvenients
<p>Torres de tiratge induït</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Menys superfície ocupada. • Baixa possibilitat que hi hagi recirculació d'aire. • Baixa potència instal·lada degut a l'ús dels ventiladors axials. • Construcció simple, que implica baixos costos de manteniment. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exigeix més protecció dels equips mecànics, motors o reductors, en estar dins el corrent d'aire humit. • Més facilitat que s'hi formin algues. • Nivell de soroll més elevat, a causa del tipus de ventilador (axial).
<p>Torres de tiratge forçat</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Menys vibracions, en estar els ventiladors prop de la base de la TR. • Els motors dels ventiladors estan en el corrent d'aire sec, i això redueix el risc de condensacions al seu interior. • Facilitat d'inspecció i manteniment (bona accessibilitat als components). • Menys inconvenient en l'ús de transmissió per corretges. • Possibilitat d'instal·lació a l'interior, amb aspiració i descàrrega conduïdes. • Menys nivell soroll. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perill de recirculació de l'aire, degut a la baixa velocitat de sortida. • Més potència necessària als ventiladors per obtenir mateix cabal i pressió d'aire. • Baixa possibilitat d'utilització de ventiladors axials. • Elevat manteniment dels coixinets en ventiladors centrífugs. • Possibilitat de formació de gel al rodet del ventilador.
<p>Torres de flux creuat</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pressió de bombeig d'aigua més petita (caiguda lliure). • Pressió estàtica i dinàmica de l'aire menor i, per tant, menor cost de funcionament i menor nivell sonor. • Menys alçada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran influència del vent en les TR de tiratge forçat. • Tendència a la formació d'algues en el material de replè. • Més dificultat per aconseguir petites diferències entre la temperatura de l'aigua freda i la del termòmetre humit.
<p>Torres de circuit tancat (Torre Seca)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • El fluid de procés pot ser aigua o qualsevol líquid diferent. • Representa millora econòmica i tèrmica respecte al conjunt torre i bescanviador de calor. • Quan les temperatures exteriors són molt fredes, o fins i tot moderades, pot subministrar aigua suficientment freda, evitant el funcionament de la planta de fred, amb el consegüent estalvi energètic. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendència a la formació d'incrustacions. És necessari un bon tractament de l'aigua. • La neteja de la bateria és molt problemàtica. • Cost econòmic molt elevat. • El rendiment tèrmic és inferior respecte les torres obertes per a baixes temperatures ambientals.

Figura 2.62.
Condensador evaporatiu.



2.4.4.3. Condensadors evaporatius

Un condensador evaporatiu és una combinació de condensador i torre de refredament d'aigua. El condensador està situat a l'interior de la torre de refredament, de manera que les files de serpentins per les quals hi circula el refrigerant estan situades perpendicularment als corrents d'aire i aigua propis de la torre de refredament (vegeu la figura 2.62).

L'aigua atomitzada que s'evapora i es refreda sobre els serpentins del condensador fa condensar el gas refrigerant. Aquest tipus de condensadors s'utilitzen quan és difícil obtenir aigua. L'aigua s'utilitza dins un circuit tancat, i una petita part s'evapora.

El consum d'aigua és aproximadament del 5% de la d'un condensador refredat per aigua.

Comparats amb els condensadors refredats per aire, tenen l'avantatge de treballar amb temperatures de condensació més baixes, fet que es tradueix amb una millor eficiència energètica i, per tant, més estalvi en energia consumida.

La temperatura de condensació d'un condensador evaporatiu estan entre 8 i 10°C per sobre la temperatura de bulb humit.

Un compressor que condensi mitjançant un condensador evaporatiu (a una temperatura de condensació de 32°C), rendeix un 35% més que si condensa per aire.

2.4.4.4. Refredament evaporatiu

Procés de refredament i humidificació en què se subministra aigua dins un corrent d'aire.

Normalment s'utilitza una fibra en un marc o estructura i l'aigua baixa a través d'aquesta. Al passar l'aire a través d'aquesta fibra xopa, es refreda per evaporació fins a una temperatura propera a la del bulb humit de l'aire. Una part de l'aigua s'evapora i incrementa el contingut de vapor d'aigua de l'aire que es subministra al local. L'aigua que no s'evapora es recicla de manera contínua.

Aquest sistema funciona amb un rendiment força acceptable, només en climes molt secs. A més, cal tenir en compte que aquest sistema humidifica molt l'aire de

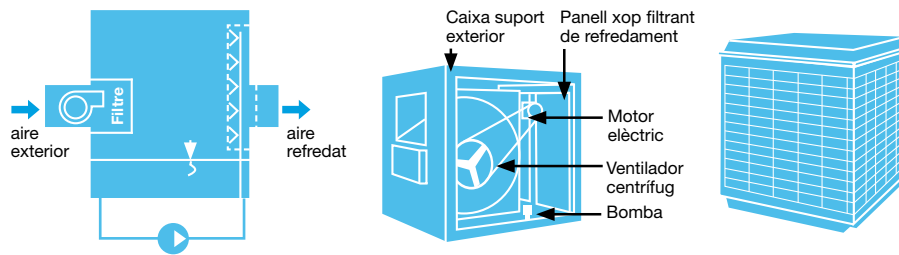


Figura 2.63. Refredament evaporatiu.

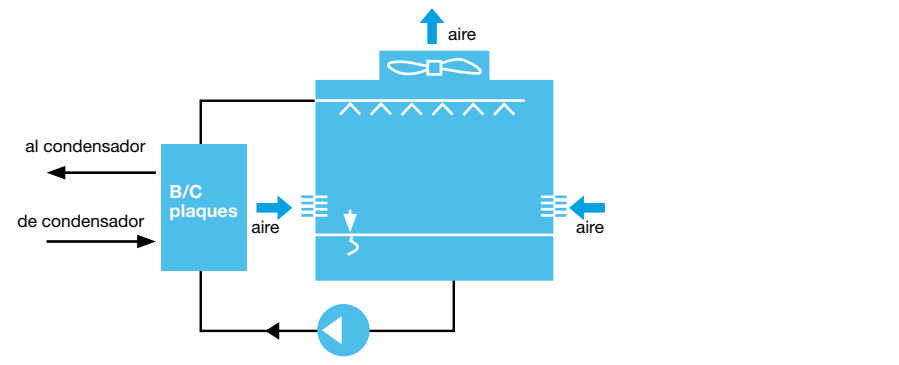


Figura 2.64. Muntatge d'un bescanviador de plaques en un circuit tancat de torre de refrigeració.

l'espai que es condiciona; per tant, s'haurà de considerar el possible efecte sobre màquines o productes que hi pugui haver.

Per tal d'augmentar la transferència de calor, enlloc de la utilització del condensador evaporatiu o torres tancades, és aconsellable el muntatge d'un bescanviador de plaques en un circuit tancat de torre (vegeu figura 2.64).

El fet de tenir seccions rectangulars enlloc de circulars, fa que el coeficient de transmissió de calor augmenti aproximadament 5 vegades, ja que s'aconsegueix un règim més turbulent.

2.4.4.5. Dry coolers, amb polvorització adiabàtica d'aigua

Es basa en la circulació d'un fluid caloportador a través del serpentí de la bateria d'un bescanviador de calor d'una unitat refrigerada per aire.

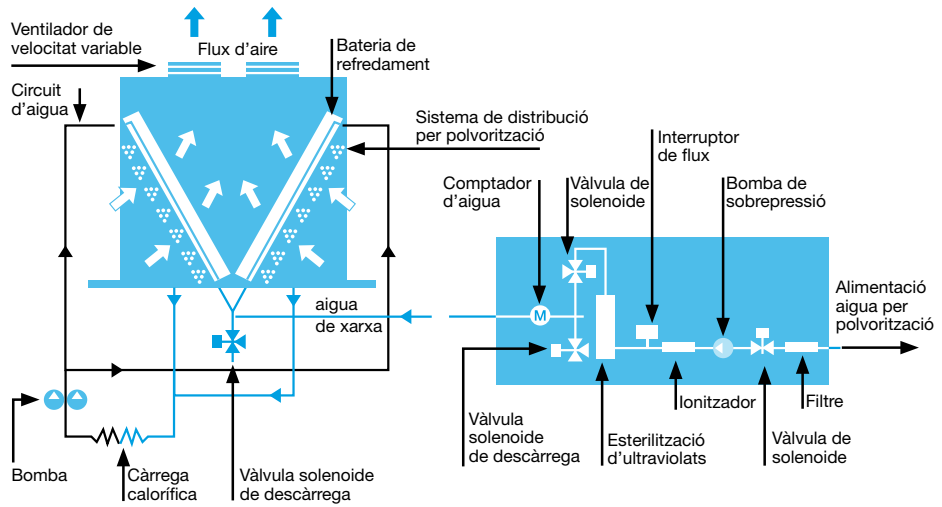
Aquest sistema funciona "en sec" a temperatures ambientals baixes: 20-21°C. Si la temperatura de l'aigua refredada augmenta, llavors la velocitat dels ventiladors s'incrementa automàticament en funció de la càrrega de fred que s'ha de donar. Si la càrrega continua augmentant i es necessita encara més refredament, llavors s'activa el sistema de polvorització adiabàtic.

Aquest sistema (Van Spall), a diferència d'altres sistemes adiabàtics, projecta aigua atomitzada contracorrent en el flux d'aire entrant i no sobre la bateria. Aquest mètode permet evitar el transport d'humitat i la formació de calç o altres dipòsits en la superfície dels bescanviadors.

Aquest sistema no requereix fer cap tractament de l'aigua abans de la polvorització, i tampoc és necessari la utilització de recobriments de materials especials de les aletes de les bateries.

La polvorització només s'activa si és realment necessària, fet que redueix molt el consum d'aigua comparat amb altres sistemes de bateries humides.

Figura 2.65. Dry cooler, amb polvorització adiabàtica d'aigua.



2.4.4.6. Definicions

Pressió de vapor. És la pressió parcial del vapor d'aigua contingut en l'aire. L'aire és una mescla de gasos: N_2 , O_2 , $Ar...$ i vapor d'aigua, segons la llei de Dalton.

Temperatura de rosada (DP, de l'anglès dew point). És la temperatura en què l'aire ateny el 100% d'humitat relativa, per refredament a pressió i humitat absoluta constants.

Temperatura seca o de bulb sec. Temperatura de l'aire que indica un termòmetre. Els termes temperatura i temperatura de bulb sec o temperatura seca, s'utilitzen amb el mateix significat relatiu a l'aire.

Temperatura de bulb humit. Temperatura de l'aire que indica un termòmetre de bulb humit, o sigui en què el bulb està embolicat amb una metxa xopa d'aigua, i que l'aire es mou segons un fort corrent.

És un paràmetre indicatiu del contingut d'humitat de l'aire. Si l'aire del qual mesurem la temperatura és al 100% d'humitat, llavors les temperatures de bulb sec i humit són la mateixa.

2.5. Calefacció en sistemes de climatització

Per tal de donar les condicions de confort necessàries dins un local o edifici durant l'hivern, s'utilitzen diferents generadors de calor i sistemes d'escalfament.

La generació de calor, es pot fer per qualsevol dels equips següents:

Caldera, la qual funcionarà habitualment utilitzant com a combustible gas natural o gas propà. Al mercat encara hi ha calderes que funcionen amb combustibles fòssils tradicionals com el carbó, gasoil o fueloil, si bé cal tenir en compte que pel que fa al fueloil està prohibit fer-lo servir dins el casc urbà. Actualment augmenta l'ús de biomassa com a combustible, sigui en forma tradicional de restes de producció agrària (closca d'ametlla, pinyols d'oliva, etc.) o en forma industrialitzada com, per exemple, els pellets.

Bomba de calor, la qual a més de donar calor a l'hivern, també dona fred a l'estiu, gràcies a la vàlvula de quatre vies que permet invertir el cicle tèrmic. Aquests dispositius obtenen temperatures inferiors a les que obtenen les calderes, però el seu rendiment pot ser molt superior a les calderes alimentades per combustibles fòssils tradicionals.

Instal·lació solar, que s'utilitza poc, però que, seleccionant el sistema de calefacció adequat, és perfectament vàlid i d'immillorable rendiment i cost de funcionament.

Cadascun d'aquests elements generadors transmet la calor a un fluid caloportador o fluid tèrmic, el qual es transporta a les diferents unitats terminals dins l'edifici, on aquestes transmeten la calor del fluid al local. En calefacció, les unitats terminals s'acostumen a anomenar emissors de calor:

Radiadors. N'hi ha de diferents tipus i materials: de fosa, d'acer i d'alumini.

Sistemes de terra, paret o sostre radiant: s'escalfa el terra, paret o sostre dels diferents locals de l'edifici, que transmeten la calor al local.

Aerotermos. Són pràcticament idèntics als utilitzats en el cas de la refrigeració. Consisteixen en una bateria de calor i un ventilador.

També hi ha instal·lacions de calefacció en què el fluid caloportador és l'aire. En aquest cas es tracta l'aire en una UTA, donant-li la corresponent temperatura per tal de distribuir-lo per tot l'edifici. És important tenir en compte que els sistemes convectius (sistema tot aire, amb unitats terminals d'aerotermos), no donen el confort que s'obté amb els sistemes per radiació. A més, aquests darrers sistemes són més eficients en llocs de clima fred en què la calefacció és molt necessària.

La majoria d'usuaris prefereix un sistema de calefacció per radiació, sigui amb radiadors o per sostre, paret o terra radiant, ja que la velocitat de l'aire es pràcticament nul·la, mentre que en els sistemes convectius sempre hi ha un moviment d'aire considerable, que pot ser molest.

2.5.1. Calderes

Una caldera és un equip destinat a transmetre calor a un fluid, que normalment és aigua. La calor s'obté com a conseqüència de la combustió d'un combustible que podrà ser sòlid, líquid o gas. Els combustibles més usats actualment a Catalunya són el gas natural i el gasoil. Com a combustible gasós també s'utilitza el propà (normalment en llocs on no hi ha xarxa de gas natural) i, com a combustible sòlid, augmenta l'ús de la llenya i els seus derivats.

Una caldera està formada pels elements següents:

Cremador: conjunt de mecanismes que permeten barrejar el combustible i el comburent per a produir una reacció de combustió amb determinades característiques.

Cambra de combustió o llar: espai on es realitza la combustió i, per tant, on es genera la calor que s'ha de transmetre al fluid a escalfar.

Pas de fums: conductes per on passen els fums de la combustió i que actuen com a bescanviador per a transmetre la calor a l'aigua.

Xemeneia: conducte, per on s'evacuen els fums de la combustió a l'exterior.

Tipus de calderes. Les calderes es poden dividir segons diferents criteris:

1. Segons el tipus de combustió:

- De llar a sobrepressió (amb cremador amb bufador).
- De llar en depressió en què l'aire s'aporta pel tiratge de la xemeneia. És el cas de calderes de combustió de sòlids i calderes de gas atmosfèriques.

2. Segons la posició relativa dels tubs:

- Aquatubulars. L'aigua va per l'interior dels tubs i els gasos de combustió estan a l'exterior d'aquests.
- Piro-tubulars. Els gasos de combustió van per l'interior dels tubs i l'aigua per l'exterior d'aquests.

Tipus principals de calderes actuals en el camp de la climatització.

Fins a mitjan anys setanta, el disseny d'una caldera responia a uns criteris estàndard en què el rendiment de les mateixes era molt secundari. Com a conseqüència de les crisis energètiques i l'actual conscienciació per la sostenibilitat i preservació del medi ambient, s'han desenvolupat nous tipus de calderes que redueixen les pèrdues i, en conseqüència, augmenten el rendiment.

Els quatre tipus de calderes actualment més usats al mercat són:

- Calderes estàndard o convencionals.
- Calderes de baixa temperatura.
- Calderes de condensació.
- Calderes de biomassa.

2.5.1.1. La caldera estàndard o convencional

La directiva de rendiment de combustió (92/42/CEE) defineix aquestes calderes com aquelles en què la temperatura de servei pot estar limitada pel seu disseny amb condicions de funcionament de temperatura mínima de retorn de 55°C i temperatures d'impulsió de 70-90°C. Aquestes calderes només compleixen els requisits mínims d'aprofitament energètic.

L'any 1979, amb l'objectiu fonamental de racionalitzar l'energia, a Espanya es redacten les Instruccions Tècniques complementàries per a Instal·lacions de Calefacció (ITIC) i, a partir de llavors, se n'exigeix el compliment en les instal·lacions de regulació. Normalment aquestes actuaven sobre elements mecànics de control, tipus de vàlvules motoritzades de 3 o 4 vies que reduïen la temperatura d'impulsió als elements calefactores terminals, adequant així les necessitats reals de l'edifici a les consignes de temperatura ambient entorn dels 20°C.

Aquesta mesura redueix la temperatura d'impulsió en el circuit secundari i, consegüentment també el consum energètic, però aquest tipus de caldera, tot i així, treballa a una temperatura més elevada que la necessària per evitar la condensació àcida que es produeix si el vapor d'aigua produït durant la combustió es condensa i humiteja la superfície d'intercanvi tèrmic del cos de la caldera. La condensació del vapor d'aigua dins la caldera es combina, a més, amb altres productes de combustió com el sofre present en el gasoil, i això dóna anhídric sulfurós i àcid sulfúric, que són molt agressius i corrosius. En el cas del gas natural, la condensació produeix àcid carbònic, que també és molt corrosiu.

Per tal d'evitar aquesta condensació, la temperatura mínima de retorn que ha de tenir una caldera és:

- per a calderes a gasoil: 48°C,
- per a calderes a gas natural: 57°C.

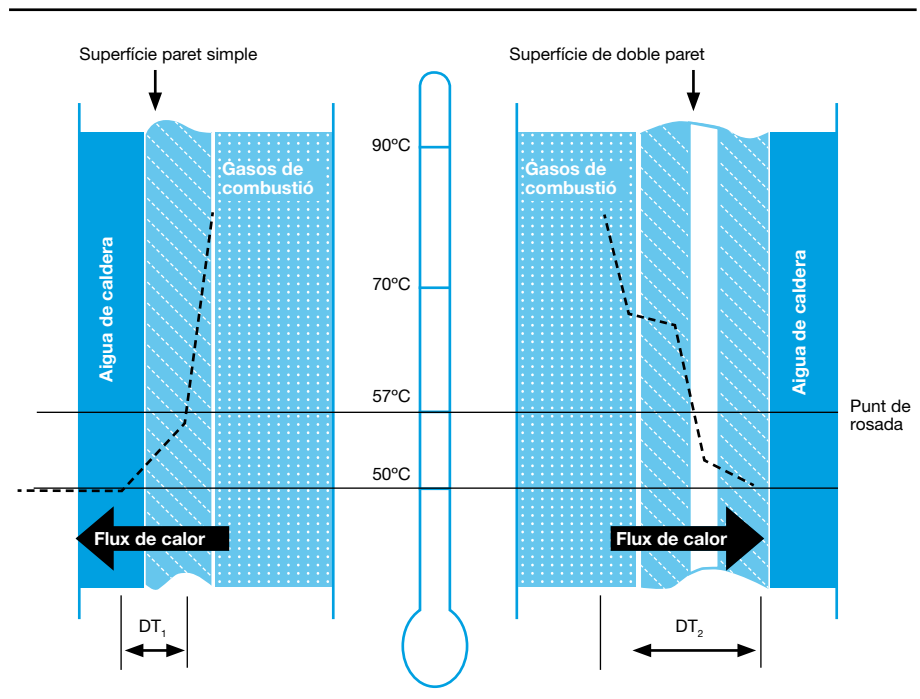
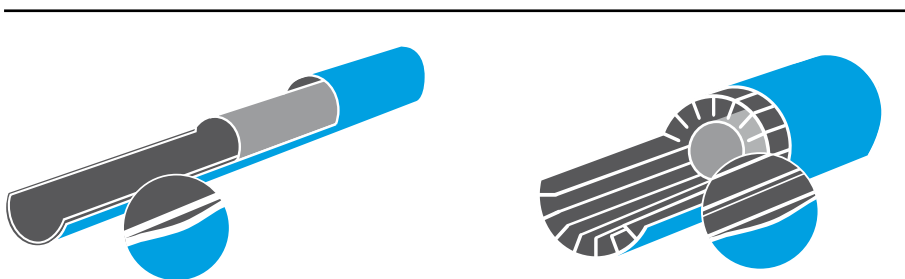
Per adaptar la temperatura de funcionament a les necessitats reals de la instal·lació es va desenvolupar una tecnologia que permetés treballar amb baixes temperatures de retorn i que evités el risc de condensacions àcides: la caldera de baixa temperatura.

A més, cal tenir en compte que en el procés de canvi d'estat del vapor d'aigua produït durant la combustió es desprèn una part important de calor latent, i el fet d'aprofitar-lo representa un estalvi addicional d'energia. Aquest principi va desenvolupar les calderes de gas de condensació.

2.5.1.2. Calderes de baixa temperatura

Segons la directiva europea de rendiments 92/42/CEE, la definició d'una caldera de baixa temperatura és la d'una caldera que pot funcionar contínuament amb una temperatura de l'aigua d'alimentació entre 35 i 40°C i que, en determinades condicions, pot produir condensació del vapor d'aigua que contenen els gasos de combustió sense deteriorar-se.

Aquestes calderes disposen d'elements constructius per evitar que es produeixin condensacions àcides a l'interior. Una de les solucions per aconseguir-ho, és utilitzar superfícies d'intercanvi de paret múltiple amb cambres d'aire per tal de dosificar la transmissió de calor a l'aigua de calefacció.



La transmissió de calor dels gasos de combustió a la paret de calefacció i d'aquesta a l'aigua de la caldera ve donada segons el tipus de paret que es dissenyi i, per tant, limitada per la resistència tèrmica (R_T) que en resulti.

La temperatura de la superfície al costat de l'admissió dels gasos de combustió està determinada per la temperatura de l'aigua de caldera, i no per les elevades temperatures dels gasos.

En el cas de superfícies de calefacció de paret simple (calderes convencionals), atès que la DT_1 és petita, si la temperatura de l'aigua baixa per sota del punt de rosada, el vapor d'aigua dels gasos de combustió es condensarà.

En el segon cas, en què tenim doble paret i a més cambra d'aire, la DT_2 és gran (la R_T ha augmentat), de manera que amb baixes temperatures de l'aigua de caldera la temperatura de la superfície al cantó dels gasos de combustió estarà per sobre del punt de rosada del vapor d'aigua i difícilment hi podrà haver condensacions.

Així, una caldera de baixa temperatura dóna la possibilitat d'adaptar la temperatura de funcionament segons la demanda calorífica o necessitats reals. Són, per tant, calderes que poden adaptar-se a la corba característica de calefacció d'un edifici.

L'ús de calderes de baixa temperatura aporta un estalvi energètic respecte a l'ús de les calderes convencionals d'un 15% aproximadament. Aquestes calderes, però, malgasten encara una important quantitat de calor a través del vapor d'aigua que produeix la combustió i que surt a l'exterior a través de la xemeneia sense aprofitar el seu calor latent.

2.5.1.3. Calderes de condensació

Segons la Directiva Europea de Rendiments 92/42/CEE, una caldera de condensació es defineix com una caldera dissenyada per condensar permanentment una part important del vapor d'aigua contingut en els gasos procedents de la combustió.

Amb aquesta finalitat, a les calderes de condensació, un bescanviador entre el retorn del circuit dels emissors de calor (radiadors) i els gasos procedents de la combustió, redueix la temperatura dels gasos per sota el punt de rosada. D'aquesta manera, s'aprofita la calor latent del canvi de fase del vapor d'aigua contingut als gasos procedents de la combustió i es transfereix al líquid caloportador del circuit secundari, abans que aquest sigui escalfat per la combustió.

D'aquestes calderes en caldrà destacar la importància de les superfícies d'intercanvi, les quals hauran de ser especialment resistents. Així s'utilitzen normalment acers inoxidable amb tractaments i aliatges especials com, per exemple, estabilitzats al titani.

Per tal d'aprofitar de manera eficaç la condensació, la combustió en aquestes calderes s'ha de realitzar amb un elevat contingut de CO_2 , reduint l'excés d'aire i així disminuir el punt de rosada. S'utilitzen, per tant, cremadors pressuritzats.

El rendiment estacional d'una caldera de condensació supera en un 15% una caldera de baixa temperatura. En aquest sentit són les calderes que actualment poden oferir el rendiment tèrmic més elevat.

El rendiment estacional d'aquestes calderes supera el valor del 100%, ja que el rendiment pren per referència el Poder Calorífic Inferior-PCI⁴, que no inclou la calor latent. La quantitat de calor de condensació màxima aprofitable és la relació entre el

⁴ PCI (Poder Calorífic Inferior). És la quantitat de calor alliberada en una combustió completa quan l'aigua que contenen els gasos de combustió està en fase vapor.

⁵ PCS (Poder Calorífic Superior). És la quantitat de calor alliberada en una combustió completa, incloent la calor de condensació continguda en el vapor d'aigua dels gasos de combustió en el seu pas a la fase líquida.

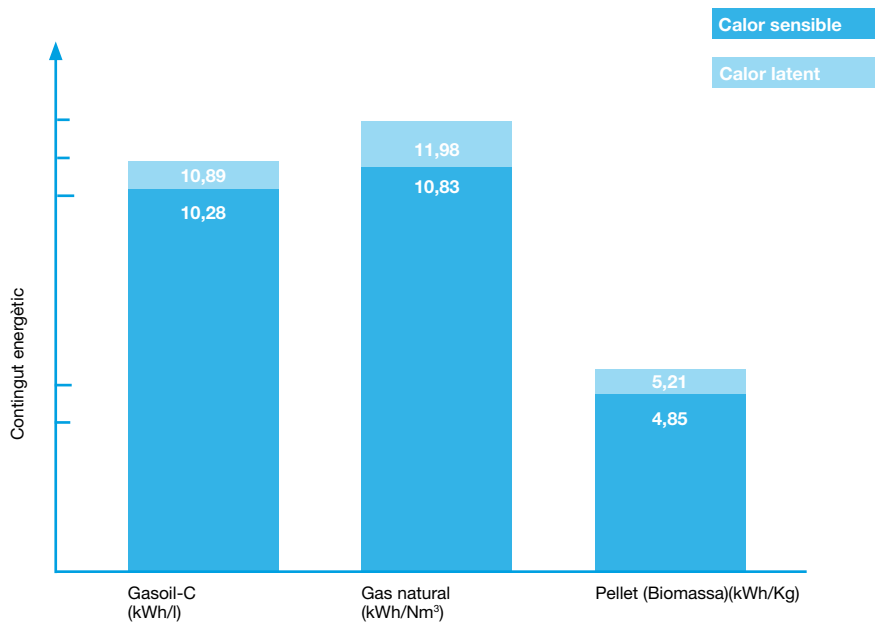


Figura 2.68. Contingut energètic de gasoil (kWh/l), gas natural (kWh/m³) i pellets (kWh/kg).

PCS⁵ i el PCI. Així, per al gas natural, aquesta relació és d'1,11, podent obtenir fins un 11% de quantitat de calor per condensació. En cas d'utilitzar gasoil, aquest valor se situa al 6%.

El rendiment d'una caldera de vapor serà més gran quan hi hagi més condensació de vapor d'aigua continguda en els gasos de combustió. Només així la calor latent dels gasos de la combustió es pot convertir en calor útil per a calefacció.

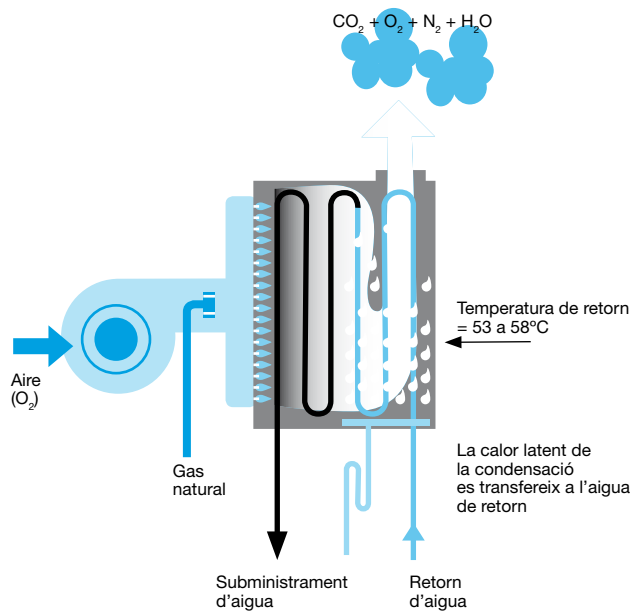
A les calderes de condensació, els gasos de combustió es condueixen a la part inferior i en sentit contracorrent a la circulació de l'aigua de la caldera per tal de refredar-los al màxim i obtenir la màxima condensació. Per aconseguir això, es fa amb superfícies que assegurin un contacte intensiu dels gasos de combustió amb la superfície d'intercanvi.

Hi ha dues possibilitats:

- Superfícies amb punt de desviament i variacions de secció transversal, de manera que els gasos creïn remolins evitant un flux de corrent que tindria més temperatura.
- A través de superfícies ondulades i enfrontades per donar canvis de secció continus i evitar la formació d'un flux de corrent principal.

En aquestes calderes cal impedir que l'aigua condensada vagi a la cambra de combustió. Per tant, la sortida dels gasos cremats es disposa a la part inferior del bes-canviador de calor de manera que la gravetat ajuda a que es formi un flux de gotes de condensació.

Figura 2.69. Sistema de funcionament d'una caldera de condensació.



2.5.1.4. Calderes de biomassa

El terme de biomassa engloba la llenya, la fusta residual, els residus forestals o agrícoles i múltiples formes que en deriven com les estelles, els encenalls, les serradures, les pinyes picades, les briquetes, els granulats o els pellets, que són el resultat de comprimir serradures o restes forestals triturades finament en forma de petits cilindres de 6 a 8 mm de diàmetre i entre 10 i 30 mm de llargada; en comprimir-los a alta pressió, la resina que porten les serradures permet que es mantinguin units. El conjunt de granulats es pot emmagatzemar, transportar i pot alimentar el cremador de la caldera talment com si es tractés d'un combustible líquid. El producte té una gran homogeneïtat quant a la granulometria, el poder calorífic i la humitat, ofereix una densitat energètica alta comparada amb els residus dels quals procedeix i redueix el cost unitari de transport.

Actualment la biomassa com a combustible té un paper estratègic, tant per la seva contribució a la bona gestió dels boscos, la valorització dels residus llenyosos, l'estalvi de combustibles fòssils com per a contenir les emissions de CO_2 .

La biomassa és energia solar acumulada en forma de molècules orgàniques producte de la fotosíntesi. La seva combustió allibera aquesta energia acumulada i, combinat amb l'oxigen de l'aire de combustió, es produeixen bàsicament diòxid de carboni (CO_2) i aigua (H_2O), així com les cendres que són els elements minerals no combustibles que contenen els vegetals. El baixíssim contingut de sofre a la biomassa fa que les emissions de diòxid de sofre (abundants quan es crema carbó mineral, per exemple) siguin pràcticament nul·les. El CO_2 emès no participa en el còmput d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle ja que és producte d'un cicle relativa-

ment curt del creixement d'un arbre, i la quantitat de diòxid de carboni alliberat en la combustió no és superior a la que s'hauria alliberat en la descomposició natural de la biomassa.

Per tal d'aconseguir una bona combustió de tots els gasos que genera la gasificació de la biomassa és necessària una quantitat d'oxigen suficient. Com més intensa (completa) és la combustió, menys quantitat d'incrementats o de monòxid de carboni (CO) s'emeten a l'atmosfera. Per tal que hi hagi disponibilitat d'oxigen en tot el recorregut dels gasos, cal introduir aire en el lloc adient. Aquesta entrada d'aire es pot fer en tres nivells:

- aire primari: és una alimentació d'aire per sota de les graelles de la caldera, propi dels equips de combustió de sòlids,
- aire secundari: és una entrada d'aire en un punt més alt, que aporta oxigen directament allí on es produeixen les flames,
- aire terciari: aire de postcombustió, normalment preescalfat que s'introdueix a la part alta de les flames i que permet aportar l'oxigen necessari per a la combustió dels incrementats.

Quan per defectes de tiratge o perquè es restringeix el pas d'aire al fogar, s'inicia una mala combustió i una disminució de la temperatura, s'acumula sutge a les parets de la caldera i, sobretot, a la xemeneia. També el vapor d'aigua es condensarà més fàcilment.

Els models de caldera dissenyats per a la combustió de la biomassa, tenen prestacions similars a les de les calderes de gas o gasoil, com la regulació en funció de la demanda de calor, l'encesa automàtica o l'alimentació automàtica de combustible, en aquest cas mitjançant un vis sens fi. Un dispositiu electrònic analitza la concentració d'oxigen als fums i regula l'entrada d'aire per tal que la seva concentració sigui sempre suficient per a una completa combustió de la biomassa. El dispositiu controla la velocitat del ventilador que alimenta d'oxigen la cambra de combustió, l'extracció de cendres, la temperatura del fum, la reencesa del combustible després d'una apagada per absència de demanda, etc. També hi ha calderes de biomassa de condensació.

L'inconvenient de la biomassa sòlida com a combustible és la necessitat d'un espai de dimensions considerables per a emmagatzemar el combustible (aproximadament 3 vegades superior al d'una caldera de gasoil).

2.5.1.5. Comparativa dels diferents tipus de calderes

Les calderes estàndard que funcionen amb temperatura constant d'aigua, obtenen el màxim rendiment estacional funcionant a plena càrrega. Quan funcionen a baixa càrrega, el rendiment baixa de manera considerable.

Contràriament, les calderes de baixa temperatura i especialment les de condensació, mostren un comportament del rendiment que augmenta amb un descens progressiu de la temperatura de l'aigua, adaptant-se així a la demanda real de la calor de l'edifici.

Ja que el rendiment estacional és directament proporcional al consum, les diferències de rendiment entre calderes seran les diferències entre consums de combustible. Així, l'estalvi energètic que podem obtenir entre la utilització d'una caldera convencional i una de condensació pot superar el 30%.

Figura 2.70. Configuració típica de la instal·lació d'una caldera de biomassa.

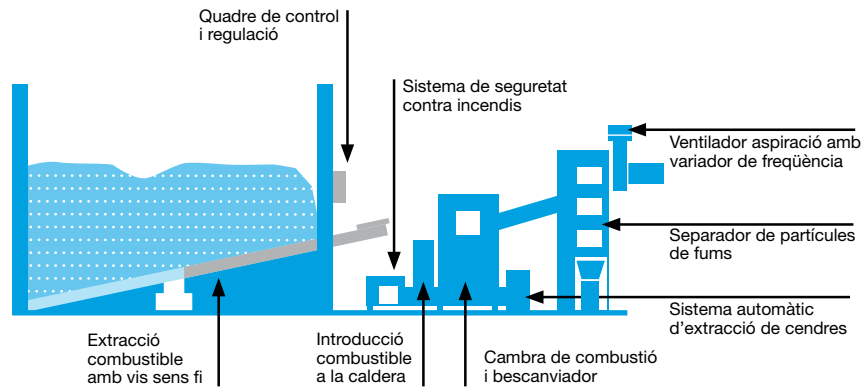


Figura 2.71. Secció d'una caldera de biomassa.

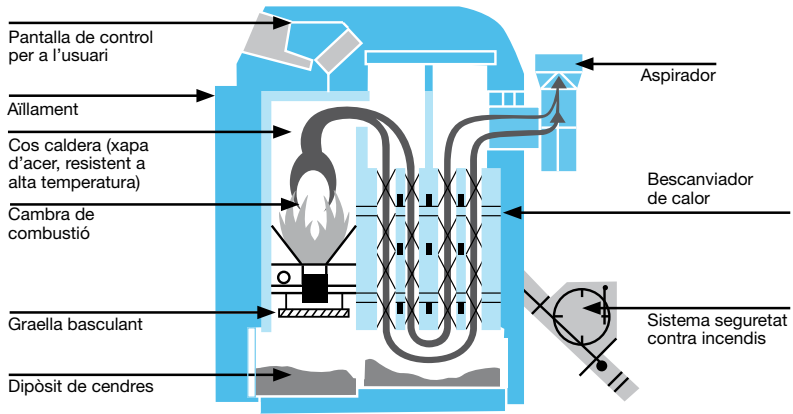
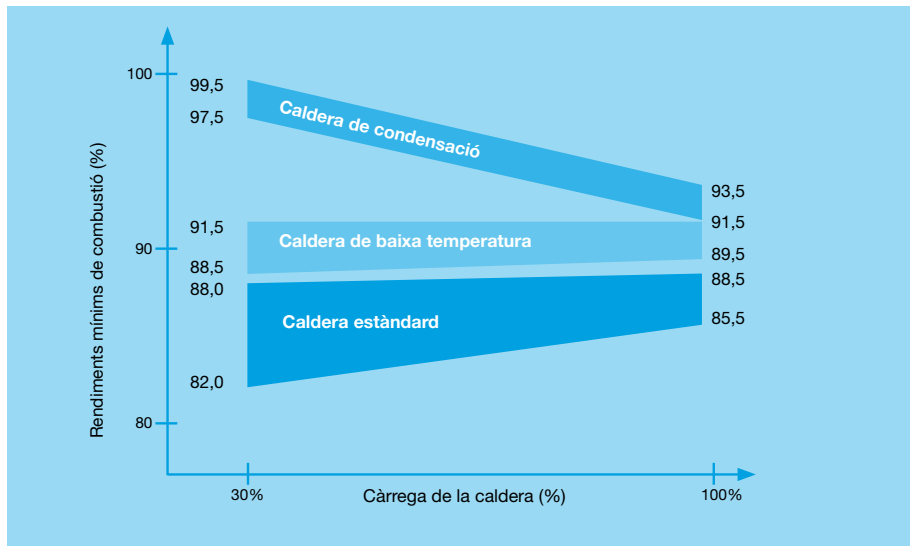


Figura 2.72. Rendiments mínims de combustió dels diferents tipus de calderes en funció de la càrrega.



Tipus de caldera	Rendiment estacional *	Combustible	Inversió	Retorn
Convencional	75-80%	Qualsevol	1	-
Baixa temperatura	91-96%	Gas / Gasoil	+ 43%	3 anys
Condensació	105-109%	Gas	+ 350%	6 anys
Biomassa	90-95%	Fusta triturada estelles o pellets	+ 220%	5 a 10 anys (segons combustible i base de comparació)

Taula 2.17. Rendiment estacional, tipus de combustible, inversió i retorn per als quatre tipus de calderes.

*El rendiment estacional està referit al PCI.

Avantatges de les calderes de baixa temperatura

- Poden treballar amb temperatures baixes de retorn d'aigua: 35°C sense produir condensació i sense que es deteriori la caldera.
- Permeten l'ús de cremadors modulants.
- Poden regular la temperatura de l'aigua d'impulsió en funció de les condicions climàtiques i de les exigències tèrmiques, el que dona una reducció del consum.
- Tenen menys manteniment. No necessiten bomba d'anticondensació. Els materials utilitzats tenen una vida més llarga.
- Estalvis de combustible superiors al 5% respecte a una caldera estàndard.

Avantatges de les calderes de condensació

- Poden treballar amb temperatures baixes d'impulsió i de retorn d'aigua: entre 40 i 30°C sense que es deteriori la caldera.
- El rendiment millora quan baixa la càrrega, contràriament al que passa amb les calderes convencionals.
- Baix consum de combustible.

Avantatges de les calderes de biomassa

- Utilitzen un combustible renovable i són un complement idoni dels sistemes d'energia solar tèrmica per a instal·lacions 100% renovables amb subministrament de calor.
- Hi ha diferents models al mercat, tant de baixa temperatura com de condensació.

2.5.2. Energia solar tèrmica

2.5.2.1. Conceptes bàsics en energia solar tèrmica

L'aprofitament de l'energia solar fa possible, de manera molt simple, produir calor a baixes temperatures (per sota de 100°C) per cobrir necessitats energètiques com l'aigua calenta o la calefacció. En aquest rang de temperatures, l'energia solar és més adequada que els combustibles o l'electricitat amb el seu elevat factor d'energia primària ja que, per exemple, la crema de combustibles produeix flames a temperatures de centenars de graus, quan per a la majoria d'usos, l'aigua calenta es necessita a temperatures inferiors a 40°C.

La tecnologia que s'empra són els captadors solars, els quals absorbeixen eficaçment la llum solar i transfereixen la seva energia a l'aigua que circula per l'absorbidor. L'aigua d'aquest circuit tancat circula entre el captador i l'acumulador on, mitjançant un intercanviador, cedeix la calor a l'aigua de distribució o directament de consum que s'hi emmagatzema. El sistema de suport com la caldera, la bomba de

calor o calor residual d'altres processos, per exemple de les refredadores, permet un subministrament d'aigua calenta assegurat tot l'any, també en períodes sense radiació solar suficient.

2.5.2.2. Components d'una instal·lació d'energia solar tèrmica

Captadors. Les tipologies principals són dues: captadors plans o tubs de buit.

- **Captadors plans.** Els principals components d'un captador pla són una carcassa tèrmicament aïllada amb un tancament de vidre frontal per a produir un efecte d'hivernacle dins el captador, així com un absorbidor solar interior, que acostuma a ser d'un material metàl·lic com el coure, l'acer o l'alumini. Hi ha una varietat important de tractaments de la superfície de l'absorbidor, sempre amb l'objectiu d'optimitzar les seves característiques absorbents i minimitzar-ne l'emissivitat per captar el màxim d'energia solar. Per exemple, els absorbidors de tità amb una capa de protecció de vidre arriben a valors d'absorció del 95%, amb una emissivitat inferior al 4%. La carcassa pot ser de plàstic, metall o fusta, i el tancament de vidre cal que sigui segellat per a minimitzar el bescanvi tèrmic entre l'absorbidor i l'aire exterior, així com per a assegurar que ni brutícia, ni insectes ni humitat puguin entrar al captador. La superfície dels captadors pot variar entre 1 i 10 m² segons el fabricant i el model. Alguns fabricants ofereixen, a més a més, captadors fets a mida. L'avantatge principal dels captadors plans és que tenen un cost baix.

- **Tubs de buit.** Conjunt de tubs cilíndrics de vidre pirex, on s'encapsula l'absorbidor solar i s'hi fa el buit per a minimitzar les transferències de calor per convecció entre l'absorbidor i el vidre; el conjunt de tubs s'uneixen a un distribuïdor per formar el captador. L'avantatge principal són les altes temperatures de fluid caloportador que generen, també en climatologies més fredes, que es tradueixen en una generació energètica entorn d'un 40% superior als captadors plans. Són indicats per a climatologies fredes i per a aplicacions on és convenient obtenir temperatures altes.

L'orientació vers l'equador i inclinació dels captadors condiciona la quantitat d'energia que poden absorbir del Sol. Habitualment, cal inclinar els captadors solars tèrmics de manera que s'afavoreixi la captació en èpoques de fred (que coincideixen amb les èpoques en què el Sol es troba més baix), per allargar la fracció solar en la producció d'aigua calenta el màxim possible. Una referència útil és emprar una inclinació lleugerament superior a la latitud de l'emplaçament. Tot i així, com mostra la figura 5.4 del capítol d'energia fotovoltaica, les variacions d'aquesta disposició són perfectament tolerables dins d'uns límits. De la mateixa manera que en la tecnologia fotovoltaica -tot i que amb menys influència-, en la mesura del possible, cal evitar la projecció d'ombres sobre els captadors.

Circuit primari. Conté un fluid de treball (barreja d'aigua amb anticongelant) que circula entre els captadors i el bescanviador. Aquest anticongelant, sol ser glicol amb diverses formes i noms comercials.

Acumulador d'aigua calenta. Dipòsit de forma cilíndrica aïllat tèrmicament, on s'escalfa i es manté calenta l'aigua de distribució o de consum, segons configuració. Pot tenir incorporat un o dos serpentins interns que actuen com a bescanviadors, però en acumuladors superiors a 500 l és més freqüent l'ús de bescanviadors externs de plaques.

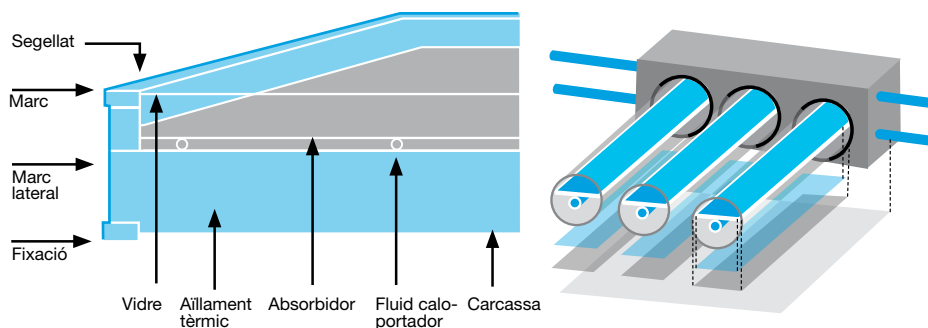
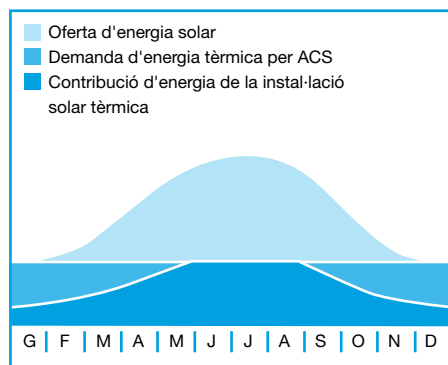


Figura 2.73. Captador solar tèrmic pla i tub de buit. Font: www.alanod-sunselect.de.



Ús	Litres ACS a 60°C/ persona x dia
Hospitals i clíniques	55
Ambulatoris i centres de salut	40
Residències (gent gran, estudiants, etc.)	40
Vestuaris i dutxes col·lectives	15
Centres escolars amb dutxes	20
Centres escolars sense dutxes	4
Centres de l'Administració	2
Vestuaris, dutxes col·lectives	20

Taula 2.18. Corba típica d'aportació solar a la demanda d'aigua calenta sanitària. Font: *Sistemas solares térmicos de baja temperatura. Curso para Instaladores*. Solarpraxis AG.

Demanda d'aigua calenta sanitària per a usos típics d'edificis públics segons Decret d'Ecoeficiència en Edificis.

Vas d'expansió. Petit dipòsit a pressió que compensa les dilatacions tèrmiques del fluid en el circuit primari.

Sistemes de control. Seguretat i informació a l'usuari: regulen la temperatura de l'aigua calenta segons les necessitats o voluntats de l'usuari, en funció de la qual s'activa o es desactiva el funcionament de la instal·lació. Han d'incloure vàlvules de seguretat i purgadors d'aire a fi d'evitar sobrepressions que puguin rebentar algun punt del circuit hidràulic.

Sistema auxiliar. Suport per a cobrir les necessitats de calor en períodes de poc assolament. Adaptat a les fonts d'energia disponibles (gas natural, biomassa, gas butà, propà, gasoil o electricitat) i amb sistema de control per assegurar la prioritat de l'energia solar.

Circuit de distribució. Depenent de la configuració del sistema, hi ha diferents tipologies de distribució.

2.5.2.3. Sistemes d'instal·lació d'energia solar tèrmica

A diferència de les cases aïllades o multifamiliars, el sistema d'instal·lació d'energia solar tèrmica en edificis públics sempre serà un sistema centralitzat, amb una circulació forçada del líquid caloportador per als captadors solars. En regions amb temperatures exteriors sota zero i, en tot cas per a grans instal·lacions, s'aplica un sistema de doble circuit, fent circular una barreja d'aigua i anticongelant pel circuit primari, i transferint-ne la calor al circuit secundari o d'aigua sanitària mitjançant un bescanviador de calor. Els sistemes de circulació forçada es fan servir tant per a l'escalfament d'aigua sanitària com de recolzament a la calefacció o escalfament de piscines.

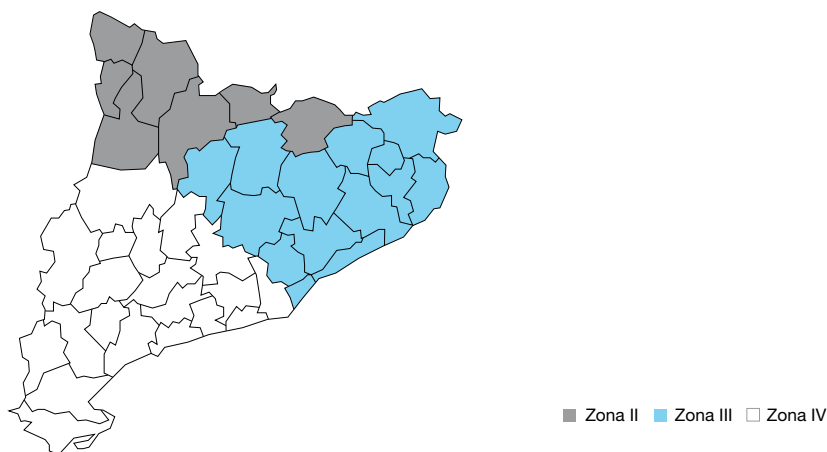
El Codi Tècnic de l'Edificació, així com el Decret d'Ecoeficiència en l'Edificació i, a molts municipis catalans, una ordenança solar estableixen l'obligatorietat d'instal·lar sistemes d'energia solar tèrmica per a qualsevol nova edificació, així com per a rehabilitacions importants o canvis d'ús. Tenint en compte les oscil·lacions d'oferta d'energia solar entre hivern i estiu, encara que el perfil de consum d'aigua calenta sanitària acostuma a ser molt constant durant les estacions de l'any, la legislació només obliga a satisfer parcialment la demanda d'ACS i aigua calenta per a piscines. Aquest grau d'aportació solar a la demanda total, també anomenat fracció solar, ve determinat en els diferents documents legals per la zona climàtica i la demanda d'aigua calenta sanitària en funció de l'ús de l'edifici i, en tot cas, se situa entre el 40 i el 70% (vegeu figura 2.75). Atesa la superposició de les diferents legislacions, sempre és la més exigent la que marca el criteri final de disseny mínim, si no s'opta per una aportació solar superior a l'obligatòria.

És important tenir en compte que les classificacions de les zones climàtiques no coincideixen en els dos documents principals, Codi Tècnic de l'Edificació-CTE i Decret d'Ecoeficiència en l'Edificació-DEE.

Com a exemple extrem, un edifici amb un consum previst d'aigua calenta sanitària de 7.500 litres per dia a la comarca del Maresme (Zona climàtica II segons el CTE i III segons el DEE), hauria de satisfer el 45% del consum d'ACS amb energia solar segons el CTE però, un mínim del 65%, segons el DEE.

Figura 2.74. Zones climàtiques de Catalunya segons Decret d'Ecoeficiència en Edificis.

Mapa de zones climàtiques segons irradiació glogal diària (mitjana anual)



Cost. El preu de generació d'aigua calenta sanitària per a una instal·lació solar tèrmica a Catalunya sense tenir en compte el finançament de la inversió es troba entorn de 0,10-0,12 €/kWh (davant dels 0,06 €/kWh aproximats actuals de cost amb gas natural, depenent molt del rendiment de la caldera; i més si l'equip de recolzament energètic és elèctric). En aquest sentit, actualment una instal·lació solar tèrmica no resulta econòmicament viable si es compara amb el marc actual de preus dels combustibles fòssils, ni es consideren les ajudes puntuals que ofereixen les administracions públiques. Tanmateix, l'obligatorietat d'instal·lar-les (ja s'ha de fer la inversió) fa d'allò més aconsellable l'aposta per gestors energètics que assegurin l'estalvi de consums de fonts no renovables perquè fan funcionar correctament la instal·lació solar.

Superfície. Amb una inclinació de 45° i una orientació sud, amb uns captadors plans de bona qualitat, es necessita aproximadament 1,4 m²/kW tèrmic instal·lat. Si es tracta d'una instal·lació sobre marcs inclinats en una coberta plana, tenint en compte la distància entre mòduls per evitar la projecció d'ombres d'un captador a l'altre, la superfície horitzontal ocupada per un kW instal·lat és aproximadament de 3 m², tal com mostra el gràfic següent. Exemple: Si amb una inclinació del captador de 40° (β) es vol assegurar la captació de la totalitat de la radiació solar al migdia en època hivernal ($\gamma=30^\circ$), la relació x/h ha de ser aproximadament de 2. Per a una mida estàndard de captador d'1,40 m d'altura, la distància total entre les files de captadors és de 2,80 m.

Energia. 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 tèrmics anuals per kW instal·lat (equivalent a 580 kWh/m² de superfície de captador). En el cas de tubs de buit, aquesta energia generada se situa entorn de 1.050 kWh/kW·a equivalents a 750 kWh/m²·a.

Emissions estalviades. La producció d'aquesta energia anual generada per un m² de captador solar pla evita l'emissió d'entre 116 kg CO₂ (si se substitueix una caldera convencional a gas) i 133 kg CO₂ (si se substitueix una producció per energia elèctrica a partir del mix elèctric català-0,23 kg CO₂/kWh⁷) i 270 kg CO₂ (a partir del mix elèctric espanyol-0,464 kg CO₂/kWh⁸), així com quantitats importants d'altres emissions com diòxid de sofre o de nitrogen.

2.5.2.4. Recomanacions

Sistema

Comprovar la superfície disponible a l'edifici apta per a col·locar captadors solars tèrmics, sigui sobre la coberta, en façana o en forma de pèrgola, per exemple, sobre aparcaments. En tot cas, lliure d'ombres i amb una orientació i inclinació adequades dins d'uns marges establerts.

En cas de decidir-se per una instal·lació solar tèrmica, és important minimitzar les fonts de pèrdues de l'energia, com canonades de distribució al circuit primari o de distribució, que han de ser degudament aïllades tèrmicament, preferiblement més enllà de les exigències de les normatives.

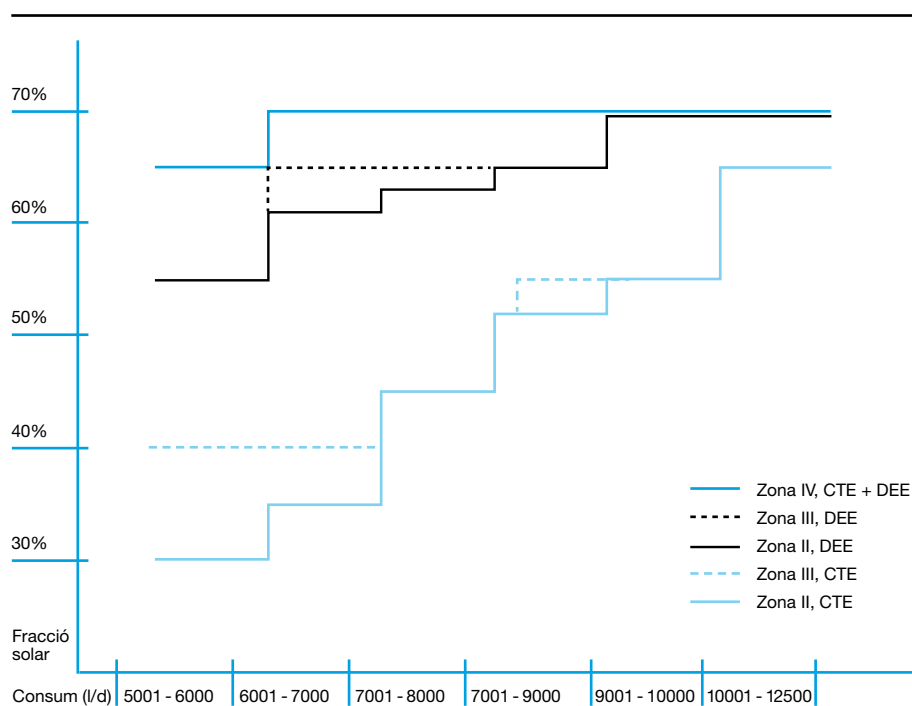
⁷ Institut Català d'Energia, 2007.

⁸ Índex 1999, *Tejados fotovoltaicos – Energía solar conectada a la red eléctrica*, SEBA. Jaume Serrasolses, Sevilla 2004.

Taula 2.19. Classificació de les comarques catalanes per zones climàtiques segons el CTE i el DEE.

Província	Comarca	Zona climàtica segons el CTE	Zona climàtica segons el DEE
Girona	Cerdanya, Ripollès	III	II
	Altres comarques	III	III
Lleida	Vall d'Aran, Pallars Sobirà, Alta Ribagorça, Pallars Jussà	III	II
	Solsonès	III	III
	Altres comarques	III	IV
Barcelona	Bages, Berguedà, Osona, Vallès Occidental, Vallès Oriental	III	III
	Barcelonès, Maresme	II	III
	Baix Llobregat, Alt Penedès, Garraf	II	IV
	Anoia	III	IV
Tarragona	Baix Penedès, Tarragonès	III	IV
	Altres comarques	IV	IV

Figura 2.75. Fracció solar mínima en funció del consum d'ACS i les zones climàtiques segons el CTE⁶ i el DEE.



⁶ Per al cas que la font energètica auxiliar és electricitat mitjançant efecte Joule, la fracció solar mínima és considerablement més alta i sempre supera el 50%.

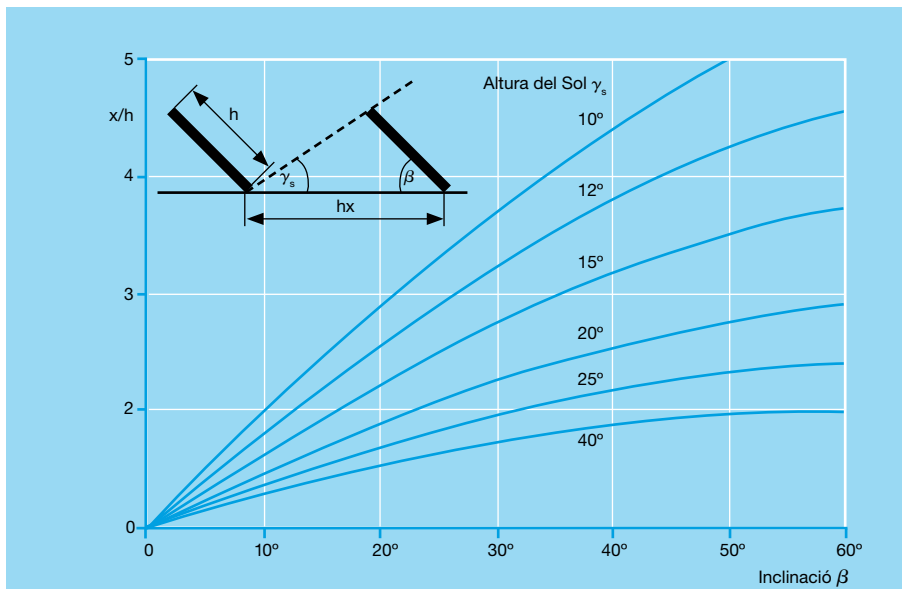


Figura 2.76. Distància entre captadors en funció de la seva altura, inclinació i l'altura del Sol.

Manteniment

Establir un pla de vigilància per garantir el bon funcionament de la instal·lació que inclogui un programa de neteja periòdica del camp solar tèrmic amb aigua i fregall, si s'escau, sobretot en èpoques de sequera, així com la inspecció visual de diferents paràmetres.

Establir un programa de manteniment preventiu efectuat per personal competent i seguiment de les operacions destacades en un llibre de manteniment de la instal·lació.

Ús

Conscienciar el personal de l'edifici així com els usuaris i visitants de l'existència de la instal·lació solar tèrmica i del seu impacte positiu sobre el medi ambient.

- Instal·lar un sistema de visualització de la producció energètica i de les emissions evitades en temps real en una zona freqüentada de l'edifici.
- Oferir visites guiades a la instal·lació solar tèrmica.

2.5.2.5. Bones pràctiques en energia solar tèrmica

Club Natació Terrassa

El Club Natació Terrassa disposa de la instal·lació solar tèrmica més gran de Catalunya per a escalfar l'aigua sanitària i la de les diferents piscines del complex esportiu: piscina olímpica de 50 m, dues piscines de 25 m (una d'exterior i una altra d'interior) i dues piscines lúdiques.

El camp de 432 captadors solars selectius amb una superfície de 1.110 m² se situa sobre les cobertes lleugeres de les pistes esportives. Un dipòsit d'acumulació de 20 m³ millora el rendiment del sistema, que té una caldera de suport a gas natural.

La producció tèrmica anual de la instal·lació solar és de 773.000 kWh, que substitueix un consum anual de 93.000 Nm³ de gas natural, evitant l'emissió de 260.000 kg CO₂ a l'atmosfera.

La instal·lació la va realitzar una companyia de serveis energètics que va efectuar la inversió i que ven l'energia tèrmica generada al Club de Natació. D'aquesta manera, la propietària de la instal·lació és la companyia de serveis energètics, que l'amortitza mitjançant l'energia generada i en garanteix un bon funcionament i manteniment (vegeu capítol 8.1. per a més informació sobre el concepte de funcionament i els avantatges de companyies de serveis energètics).

2.6. Combinacions de refrigeració i calefacció en sistemes de climatització

2.6.1. La bomba de calor

La bomba de calor funciona segons el cicle frigorífic descrit amb l'única diferència que és reversible, de manera que la bateria o intercanviador que funciona durant l'estiu com a evaporador, passa a funcionar com a condensador a l'hivern i, llavors, enlloc de refrigerar el local, l'escalfa.

Aquestes unitats molt semblants a les unitats de fred inclouen un component més, que és la vàlvula de 4 vies, o vàlvula reversible, que permet la inversió del cicle. També ha de tenir una altra vàlvula d'expansió i l'evaporador i el condensador han d'estar dimensionats per ajustar-se a la càrrega tèrmica més desfavorable, d'estiu o d'hivern.

La vàlvula de quatre vies controla la direcció del cabal de refrigerant. Dues connexions són fixes: la de descàrrega del compressor i la que va a l'aspiració del compressor. Els altres dos ports van als corresponents bescanviadors (evaporador o condensador). La posició de la vàlvula de quatre vies es controla mitjançant una vàlvula solenoide.

Les bombes de calor es classifiquen segons la font de calor i el medi al qual transfereixen la calor quan treballen en cicle d'hivern. Així, una bomba de calor aigua-aire, absorbeix calor d'un medi aigua (unitat exterior treballant com a evaporador i absorbint calor d'un medi fred) i el transfereix (unitat interior) a l'aire de l'espai que està condicionant. La bomba de calor més usada és la que correspon a la configuració aire-aire.

2.6.2. Geotèrmia

Els recursos d'energia geotèrmica a poca profunditat són aquells que es troben a menys de 400 m de profunditat. 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, però a partir d'aquesta profunditat, la temperatura és constant al llarg de l'any, més calenta que l'aire durant l'hivern i més freda a l'estiu, i augmenta uns 3°C per cada cent metres de profunditat a causa del flux continu d'energia de la Terra cap a l'espai. La figura 2.81 mostra un perfil típic de temperatura al llarg de l'any en un país centreeuropeu (Alemanya), on la mitjana de la temperatura terrestre en els primers 100 m és entre 9 i 12°C.

Els diferents tipus de tecnologies i sistemes es poden classificar pel recurs de calor amb cicle obert o tancat, intercanvi tèrmic entre el recurs de calor de l'edifici i l'ús directe o indirecte del recurs. La figura 2.82 mostra els diferents mètodes d'aprofitament de l'energia emmagatzemada a la terra.

Recursos geotèrmics de calor

La tria del recurs de calor – terra, aigües subterrànies o estanys / llacs – i la tecnologia adequada per al seu ús depenen del sòl local i de les condicions hidrogeològiques, així com també de la superfície disponible i de les necessitats específiques de l'aplicació.

Circulació. Hi ha dos tipus d'intercanvi geotèrmic: els de bucle obert i els de bucle tancat. Els sistemes tancats fan circular un fluid que mai no surt del sistema de la bomba de calor. Els sistemes oberts, bombegen un fluid d'un lloc a un altre, treuen o afegeixen calor i, després, retornen aquest fluid.

Cicles oberts. Depenent del lloc de què es tracti, l'aigua subterrània es pot treure directament dels pous i ser portada directament a les bombes d'aigua. Però aquesta aigua ha de tornar a la terra, la qual cosa vol dir que aquestes configuracions necessiten un pou de producció i un pou de recàrrega. Es tracta de sistemes que requereixen certa atenció. Sovint han d'anar equipats amb sistemes de filtres que recarreguen els pous i eviten que s'obstrueixin amb material estrany a l'aigua. Tot i que les bombes de calor d'aigües subterrànies requereixen, doncs, certa grandària mínima per a ser efectives, en general són molt rendibles, ja que proporcionen una sortida tèrmica relativament alta per pou. Les bombes de calor d'aigües subterrànies són, doncs, una opció econòmicament atractiva per a edificis grans.

Cicles tancats. Fent servir la terra com a font o contenidor de calor, una sèrie de tubs, que normalment s'anomenen "bucles", s'enterren al terra a prop de l'edifici que s'ha de condicionar, verticalment o horitzontalment. Una altra possibilitat és integrar sistemes d'absorció en fonaments i soleres, columnes de ciment reforçat amb acer i parets diafragma. El tipus escollit depèn del terreny disponible i del tipus de sòl i de roques que hi hagi al lloc de la instal·lació. Aquests factors ajudaran a determinar l'opció més econòmica per a instal·lar els bucles o canonades. Pels bucles hi circula un fluid (aigua o una barreja d'aigua i anticongelant com propilè glicol, etanol desnaturalitzat o metanol) que absorbeix la calor del sòl del voltant, o l'hi deixa, depenent de si l'aire ambiental és més fred o més calent que el sòl.

Els col·lectors geotèrmics s'acostumen a col·locar horitzontalment a una profunditat d'entre 80 i 160 cm. Quan hi ha prou espai disponible, aquests col·lectors estalvien de fer perforacions. Tanmateix, els col·lectors geotèrmics tenen el desavantatge que la terra, en aquestes profunditats, encara és molt sensible a les condicions de l'aire exterior i a l'increment solar, la qual cosa significa que es refreda quan la temperatura ambient baixa i s'escalfa quan puja. Com a resultat, una bomba de calor connectada al col·lector geotèrmic rep les mínimes quantitats d'energia geotèrmica quan la casa necessita la màxima energia. Una forma especial de col·lectors horitzontals són els bucles ubicats al fons d'estanys o rius, on les condicions són les adequades, que subministren aigua a una temperatura gairebé constant durant tot l'any. Des del punt de vista econòmic, aquestes solucions solen ser atractives, i no s'ha demostrat que tingui impactes sobre els sistemes aquàtics.

Figura 2.77. Bomba de calor en règim d'estiu i d'hivern. Font: Carrier Air Conditioning.

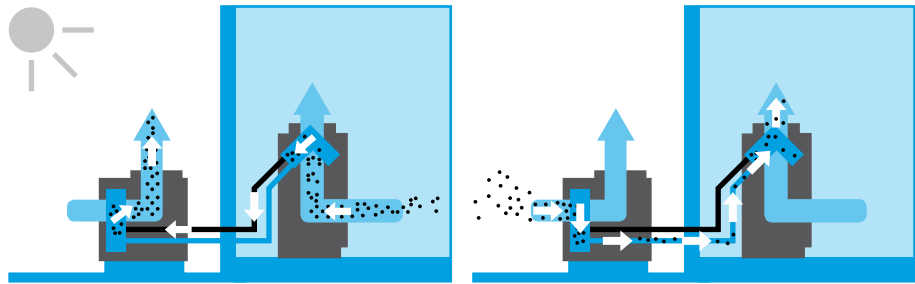
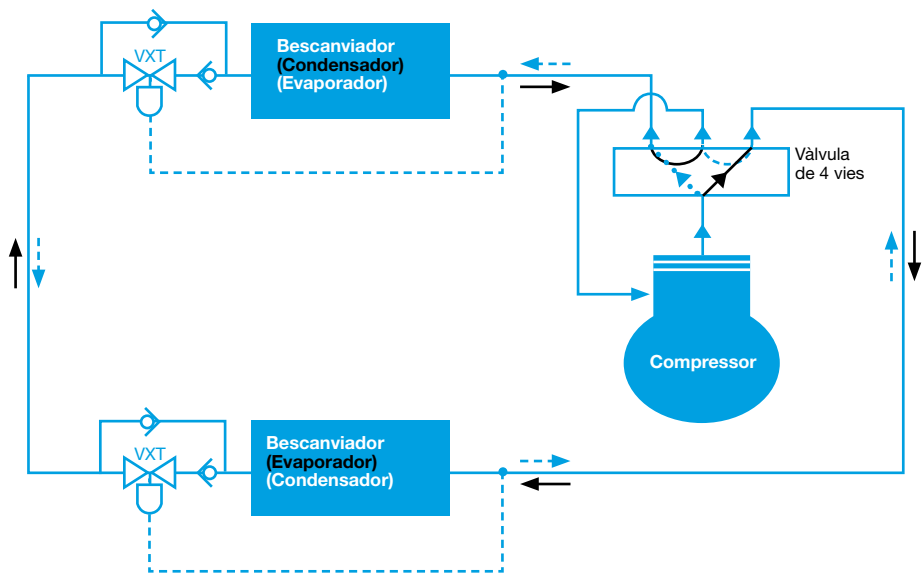
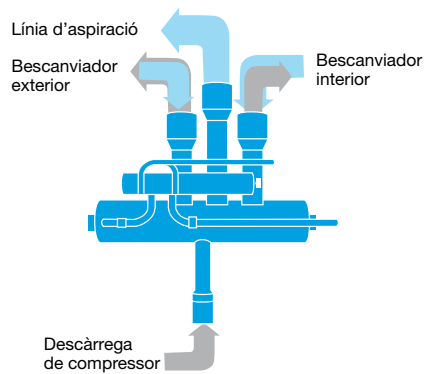


Figura 2.78. Funcionament de la bomba de calor en els cicles de fred i calor.



Energia solar tèrmica. Club de Natació Terrassa. Escalfament d'aigua sanitària i d'aigua d'un conjunt de piscines.

Figura 2.79. Vàlvula de quatre vies. Font: Carrier Air Conditioning.



Les sondes geotèrmiques s'han convertit en els sistemes més comuns a l'Europa central i del nord. Necessiten poc espai i fan servir nivells de temperatura constants, però impliquen considerables costos addicionals per a fer les perforacions, que normalment són d'entre 50 i 150 m. Les sondes geotèrmiques consisteixen generalment en pous verticals en els quals s'instal·len tubs. Aquests tubs solen ser una doble U i estan fets de plàstic, generalment polietilè. Aquest tipus de sistemes s'utilitzen en diferents serveis de diferents mides, des de petits edificis residencials (escalfats amb una o dues sondes) fins a oficines i locals comercials i complexos residencials.

Els components de formigó de contacte amb el terra ja fa uns quants anys que s'utilitzen en diferents projectes no només com a suport de càrregues o amb finalitats arquitectòniques, sinó com a sistemes de calefacció i refrigeració rendibles per mitjà de la inserció d'un bescanviador de calor en el formigó quan aquest s'aboca. En els casos en què els fonaments necessiten pilons o parets diafragma, aquests elements també proveeixen les estructures necessàries per a fer un ús eficaç de l'energia geotèrmica ja que normalment arriben al nivell de les aigües freàtiques i ofereixen una gran superfície de contacte amb el sòl per a l'intercanvi de calor. Hi ha altres opcions com l'ús d'apuntaments, soleres i altres elements de formigó de contacte amb el sòl. En el cas de pilars energètics o altres estructures de fonaments, s'incorporen en el formigó tubs de polietilè formant circuits tancats. Aquests s'utilitzen per a fer circular el mitjà de transferència de la calor i transportar l'energia tèrmica al sistema de control dels serveis centrals de l'edifici. Si les condicions són les correctes, el fluid utilitzat pot ser aigua o una barreja d'aigua i anticongelant. El sistema de tubs se subjecta a les gàbies de reforçament a la fàbrica o bé in situ. Les gàbies més adients s'ubiquen després en els llocs que determini l'enginyer estructural i s'encasten al formigó. L'espaiat dels tubs es dedueix del càlcul d'ús energètic; la dimensió i la llargada dels sistemes de tubs es dedueixen a partir dels càlculs hidràulics. Com a norma general, un circuit de canonades (un circuit d'aigua) tindrà una llargada entre 150 i 300 m des del col·lector fins a la capçalera. Els circuits es mantenen a una pressió de 6 bar durant tota la fase de construcció de manera que es poden revisar constantment per possibles fuites. Les pressions s'examinen i es registren en informes abans i després d'abocar el formigó.

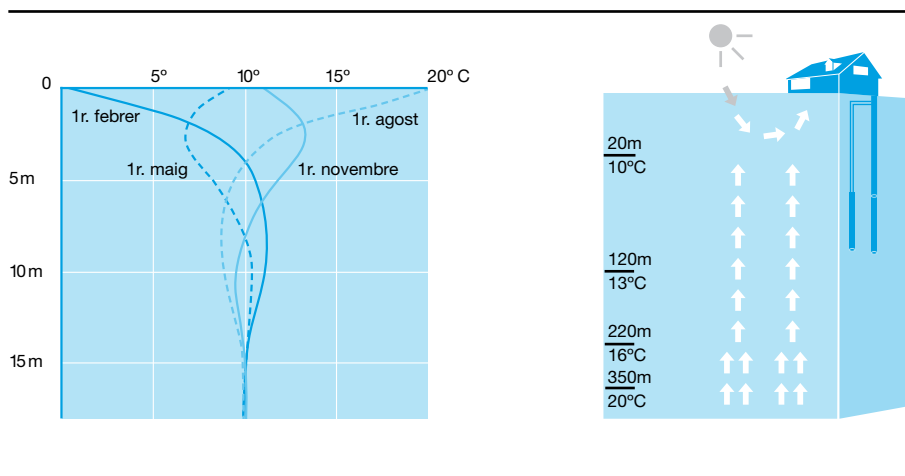


Figura 2.80. Zones d'influència dels fluxos d'energia solar i terrestre. Font: Erdwärmee-nutzung in Hessen - Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, 2005.

Figura 2.81. Perfil de temperatura estacional prop de la superfície, entre 0 i 15 m de profunditat, a l'Europa Central.

2.7. Benchmarking del consum tèrmic en sistemes de climatització

Fins ara, era poc habitual realitzar un seguiment del consum energètic als edificis, per tal d'analitzar-lo i comparar-lo amb el d'altres edificis. En conseqüència, hi ha una manca d'informació quant a consums reals que puguin contrastar els mètodes de càlcul i de dimensionament previ, i puguin servir de valors de referència per a dissenyar noves instal·lacions.

En el cas específic de l'empresa EISSA (Energètica d'Instal·lacions Sanitàries SA) que, entre altres, realitza la gestió energètica de centres sanitaris de Catalunya, s'ha fet des de l'any 2000 un seguiment energètic de la climatització en diferents centres d'assistència primària. Els valors que es mesuren corresponen al consum tèrmic degut a la climatització (calefacció i refrigeració) de cadascun dels centres durant tot un any, i amb un seguiment mensual. Les lectures s'obtenen en un 35% dels casos de manera directa mitjançant comptadors tèrmics, tot i que en molts casos la fiabilitat dels comptadors és molt relativa, com s'ha pogut comprovar al llarg dels 8 anys de seguiment, ja que aquests comptadors necessiten ser reajustats com a mínim una vegada a l'any, tant els sensors de temperatura com el propi cabalímetre. En la resta de casos, les lectures s'obtenen de manera indirecta, a partir dels consums elèctrics de les unitats productores de fred, aplicant un COP teòric que s'ha calculat a partir de les dades del fabricant. Per tal de poder comparar les dades s'han considerat les ràtios de consum tèrmic per m² i any, a més de considerar la ubicació dels diferents centres sanitaris segons les zones climàtiques de Catalunya, que s'ha determinat en funció dels graus dia de calefacció o refrigeració.

Els graus dia de calefacció (GDC) per a un dia donat, és la mitjana de la diferència entre una temperatura base (T_b) fixada i la temperatura exterior (T_{ext}) registrada al llarg del dia. Aquesta diferència es calcula només si la $T_{ext} < T_b$.

L'expressió analítica per a aquest càlcul és:

$$GDC = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_b - T_{ext})}{24} \quad \text{si, i només si: } T_b < T_{ext}. \text{ Se sol prendre } T_b = 15^\circ\text{C}.$$

De manera anàloga es defineixen els graus dia de refrigeració (GDR), només si:

$$GDR = \frac{\sum_{h=1}^{24} (T_{ext} - T_b)}{24} \quad T_{ext} > T_b. \text{ Se sol prendre } T_b = 21^\circ\text{C}.$$

Aquestes expressions corresponen als graus dia per a un dia determinat. El total de graus dia anuals s'obté sumant els graus dia de cadascun dels dies de tot l'any. En els mapes següents s'hi representen els graus dia anuals de calefacció ($T_b=15^\circ\text{C}$) i refrigeració ($T_b=21^\circ\text{C}$) a Catalunya.

$$GD = \sum_{d=1}^{365} \left\{ \frac{(T_{ext} - T_b)}{24} \right\}_d$$

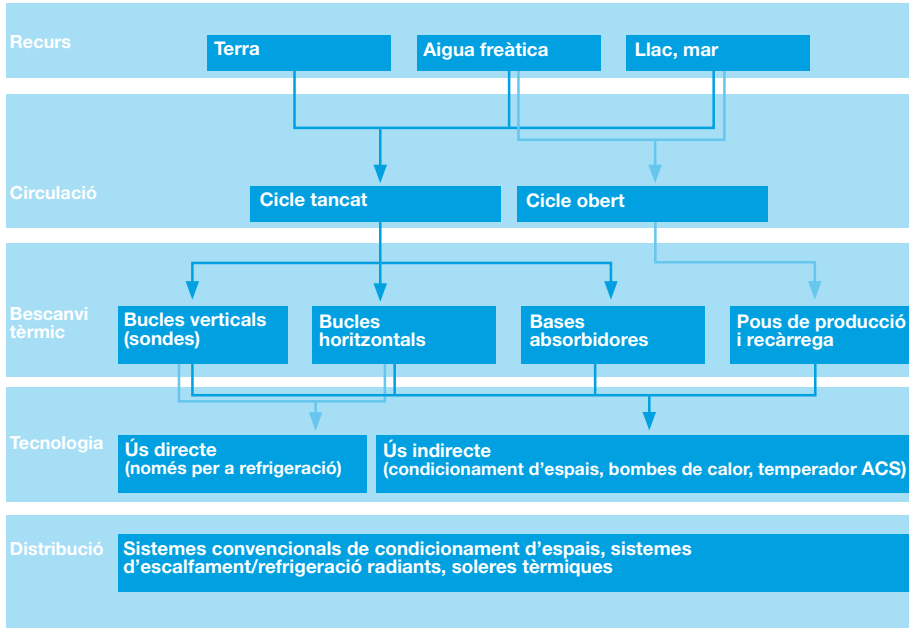


Figura 2.82. Recursos geotèrmics a poca profunditat i configuracions de sistemes.

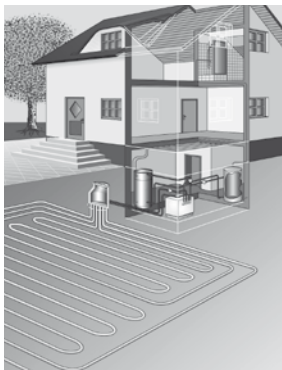


Figura 2.84

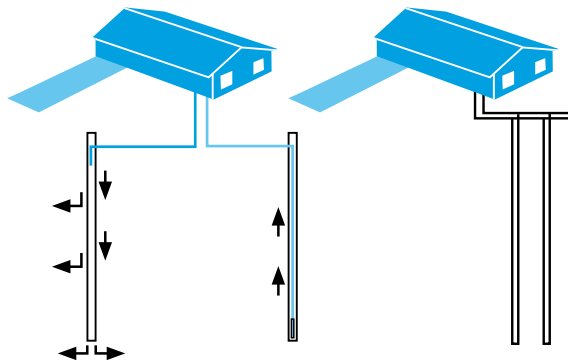


Figura 2.83

Figura 2.83. Intercanvi de calor geotèrmica.

Figura 2.84. Col·lector geotèrmic.
Font: Bundesverband WärmePumpe e.V.

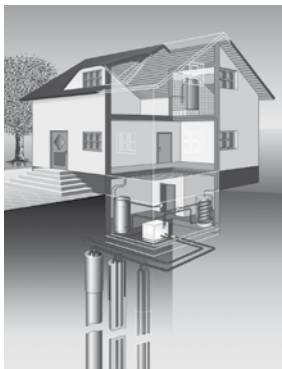


Figura 2.85



Figura 2.86



Figura 2.87

Figura 2.85. Sonda geotèrmica.
Font: Bundesverband WärmePumpe e.V.

Figures 2.86 i 2.87. Fonament absorbent i pilars energètics
Font: enercret, nägele energie und haustechnik gmbh.

Figura 2.88. Representació gràfica dels graus dia de calefacció i refrigeració per un dia.

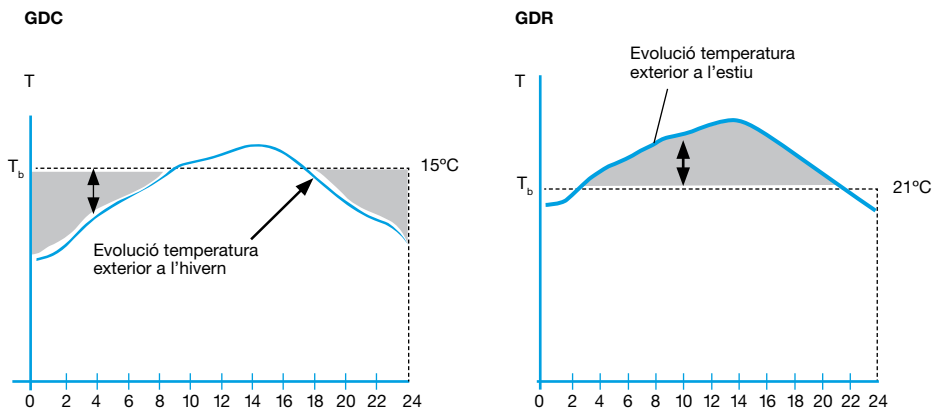


Figura 2.89. Mapa de graus dia de calefacció i refrigeració. Font: Atlas de graus dia de Catalunya, ICAEN.

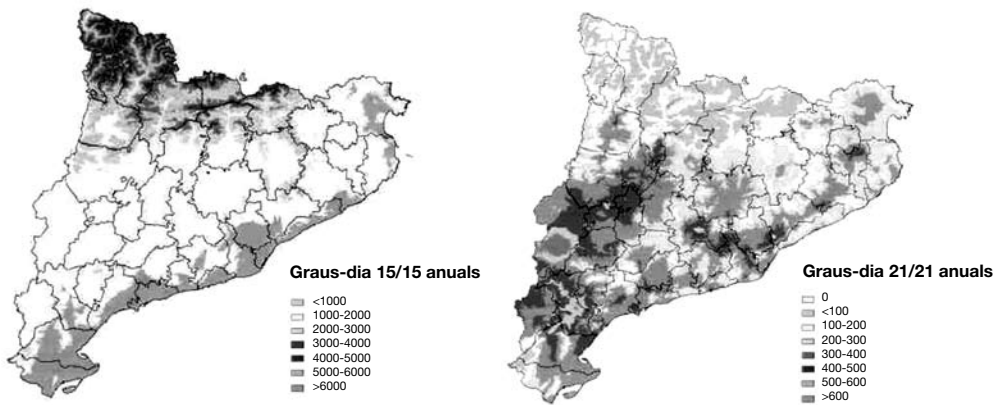


Figura 2.90. Zones climàtiques bàsiques de Catalunya. Font: Atlas de graus dia de Catalunya, ICAEN.



Partint d'aquestes dades es poden diferenciar tres zones climàtiques: Litoral, Central i Pirineu i Prepirineu. Vegeu la figura 2.90.

A continuació es recullen les dades de consum tèrmic i elèctric per a 36 centres d'assistència primària, corresponents als dos darrers anys: 2006 i 2007.

Ràtio de consum tèrmic: kWh/m²

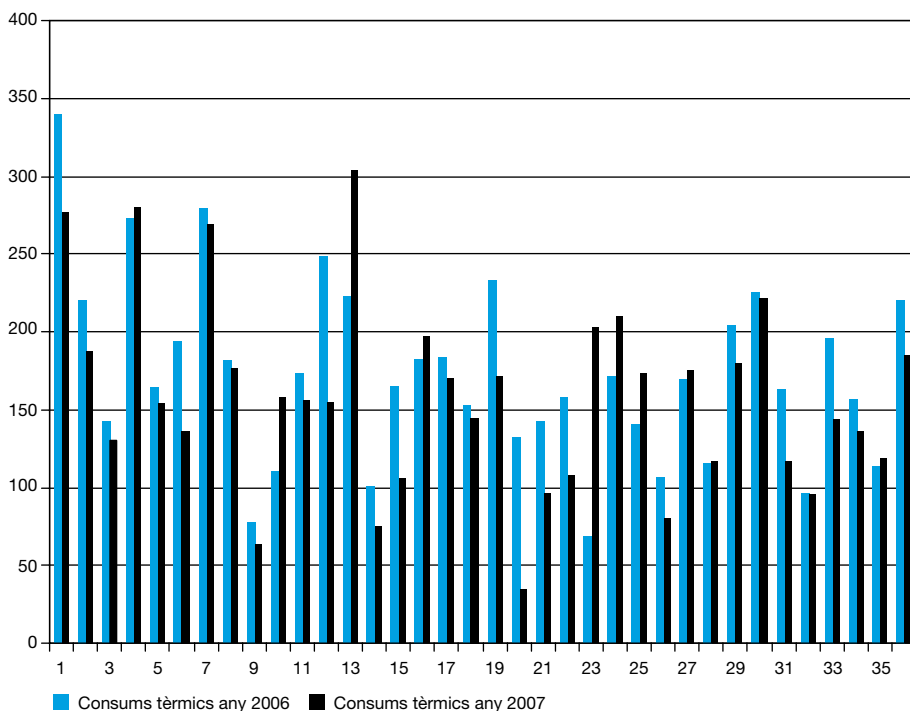


Figura 2.91. Ràtios de consums tèrmics degut a la climatització a 36 CAP en els anys 2006 i 2007.

Ràtio de consum elèctric: kWh/m²

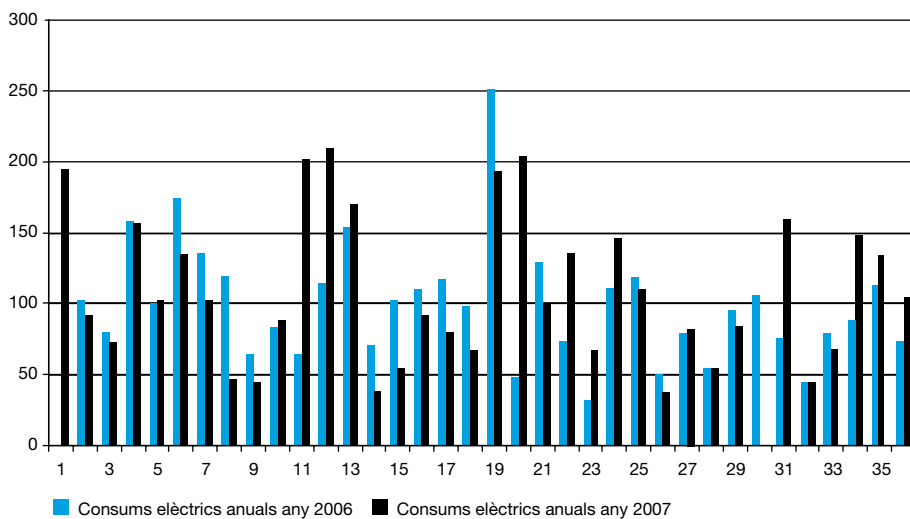


Figura 2.92. Ràtios de consums elèctrics totals a 36 CAP en els anys 2006 i 2007.

Taula 2.20. Consums tèrmics de climatització en centres d'atenció primària (en kWh/m²·a).

Zona	Bomba de calor (Convencional-DX)			Bomba de calor (VRV)			Refredadora + caldera (gas)		
	Màxim	Mínim	Recomanat	Màxim	Mínim	Recomanat	Màxim	Mínim	Recomanat
Litoral	221	143	160	168	106	140	193	142	155
Central	No es disposa de dades			278	184	170	300	115	150
Pirineu	No és funcional ni aconsellable			Rendiment baix a temperatures negatives			200	120	150

Taula 2.21. Proporció d'ús de refrigeració i calefacció segons zones.

Zona	Percentatge d'ús de refrigeració / calefacció (%)		
	Màxim	Mínim	Típic
Litoral	68/32	52/48	60/40
Central	30/70	45/55	50/50
Pirineu i Prepirineu	7/93	30/70	20/80

L'anàlisi de les dades de mesurament tèrmic d'aquest grup de 36 CAP permet fer la tabulació de la taula 2.20, per instal·lacions de clima convencionals:

Observacions. Les unitats de bomba de calor no funcionen de manera eficient durant l'hivern quan les temperatures baixen per sota dels 6 o 5°C. Això explica l'elevat consum dels sistemes basats en aquestes unitats a la zona climàtica Central. A la zona Pirineu i Prepirineu aquests sistemes són encara més inviables. Quant als sistemes de VRV, la tecnologia actual permet que treballin a temperatures negatives, però el rendiment baixa i les unitats perden capacitat de donar confort.

Quant als percentatges d'ús de refrigeració i calefacció, segons les dades de què es disposa, són els de la taula 2.21.

Els valors màxims es refereixen:

- A la refrigeració, per a edificis de la zona Litoral, ja que el clima més suau d'aquesta àrea geogràfica fa que el consum de refrigeració sigui pràcticament sempre superior al de calefacció.
- A la calefacció per a edificis ubicats a les zones Central i Pirineu i Prepirineu de clima més rigorós que fa que els períodes de fred siguin més llargs i extrems que els de calor. En zones de muntanya (Pirineu) el percentatge d'ús de la refrigeració respecte al total del clima és molt petit, fins i tot pràcticament menyspreable en alguns casos.

La figura 2.93 pot servir d'orientació per tal de seleccionar un sistema de climatització basant-se en la ubicació de l'edifici o la instal·lació. Cal dir que aquesta aproximació és indicativa i no treu la necessitat d'elaborar un estudi específic i detallat abans de prendre qualsevol decisió.

És altament recomanable fer un seguiment energètic de l'edifici o instal·lació des d'un punt de vista de consums i al mateix temps mirar d'aconseguir dades d'altres edificis tot partint d'unes ràtios que siguin comparables i per això es fa el suggeriment de la taula següent:

Les ràtios de consums d'electricitat i tèrmic de clima per metre quadrat s'anomenen respectivament: RSe i RSt, ràtio superficial de consum elèctric i ràtio superficial de consum tèrmic.

En dividir aquestes ràtios pel nombre total d'hores de funcionament dels diferents centres, es disposarà de xifres més coherents per poder ser comparades i a

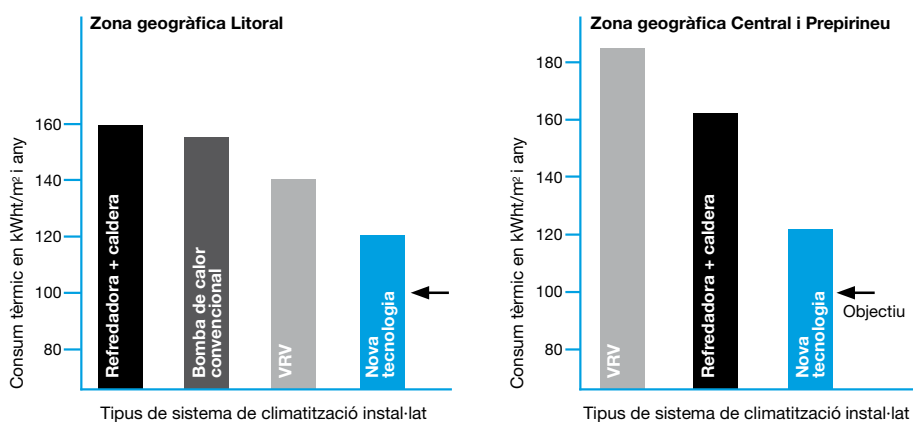


Figura 2.93. Consums tèrmics actuals i objectiu segons zona climàtica i sistema de climatització instal·lat a Catalunya.

Edifici	Zona climàtica	S(m²)	H./dia (funcionament centre)	Hores-any	KWhe TOT	kWhe/m² (RSe)	kWht TOT	kWht/m² (RSt)	RSe/hores	RSt/hores
1										
2										
3										
4										

partir d'aquí analitzar les raons dels consums. Entre els múltiples factors d'influència al consum hi ha, sobretot, la qualitat de l'embolcall de l'edifici (aïllament tèrmic, proteccions solars, estanquitat de les fusteries, etc.), paràmetres de consignes i paràmetres d'horari de funcionament dels equips. D'altra banda és primordial la consciència en estalvi energètic i el resultant comportament dels usuaris dels edificis.

2.8. Recomanacions en sistemes de climatització

2.8.1. Sistema

Per escollir el sistema de climatització idoni per a un determinat edifici es necessari avaluar una sèrie de factors entre els quals destaquen els següents:

1. Cost instal·lació o valor de la inversió inicial (€).
2. Cost energètic de funcionament de la instal·lació (€/consum d'electricitat, gas...).
3. Cost del manteniment mínim (preventiu) que requereix la instal·lació (€/any).
4. Cost per reparacions degut a incidències imprevistes fora de garantia.
5. Capacitat del sistema per donar confort per temperatura localment per zona o local.
6. Necessitat de control de la humitat.
7. Ventilació i tractament de l'aire (IAQ).
8. Nivell sonor generat pel sistema de clima i exigències acústiques a la instal·lació.
9. Espais disponibles per passar-hi instal·lacions.

Els quatre primers factors representen el cost total de la instal·lació o cost d'inversió i explotació. Un sistema eficient que estalvi energia tindrà costos energètics molts més baixos que d'altres més convencionals, de manera que encara que inicialment una instal·lació sembli cara, caldrà avaluar el que es paga d'energia, de manera que al cap dels anys, pot resultar més econòmica.

A títol d'exemple, la figura 2.94 representa els costos totals d'explotació de dues instal·lacions. La instal·lació 1, més econòmica d'implantar que la 2, té uns costos operatius i energètics superiors. Al cap d'un temps, la instal·lació 2 resulta més econòmica que la instal·lació 1, inicialment més econòmica (vegeu la figura 2.94).

Cal també considerar la qualitat del sistema i dels equips. Sovint, un cost inicial més elevat representa una qualitat superior i, per tant, més fiabilitat dels equips i menys cost de reparació.

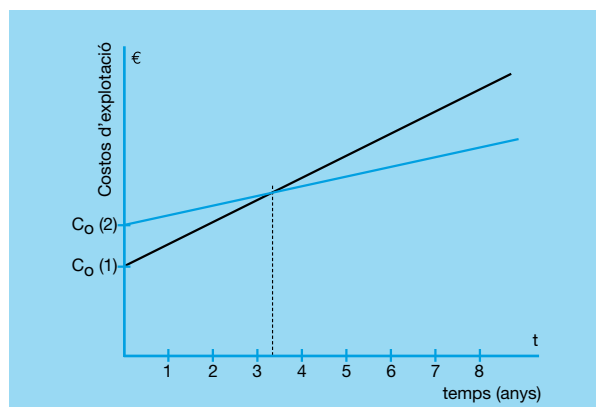
Cal tenir en compte els factors que donen un estalvi directe en la facturació energètica:

- Escollir sistemes i equips amb COP el més elevat possible.
- Implantar i utilitzar sistemes de *free cooling*. Si el sistema no és tot aire, el sistema de ventilació ha de permetre el *free cooling*.
- Utilitzar equips de recuperació de calor: recuperació en extracció d'aire, recuperació de calor de condensació.
- Millorar l'eficiència dels sistemes de transport dels fluids tèrmics: ventiladors pel cas d'aire, bombes pel cas d'aigua i tipus de compressor pel transport de refrigerant.

És difícil preveure els costos de reparar una instal·lació i cal fer estimacions. Es pot establir una relació directament proporcional entre el cost d'adquisició dels equips i el possible cost de reparació dels equips. Una tecnologia elevada que impliqui una mà d'obra altament qualificada, donarà costos elevats quan hi hagi reparacions. En aquest sentit caldrà seleccionar tecnologies que donin fiabilitat: per exemple, està demostrat que els compressors de cargol pràcticament no donen avaries (tecnologia robusta). El cost d'un contracte de manteniment depèn de les condicions que es pactin entre el responsable del manteniment i la propietat. Hi ha diverses modalitats de contractes de manteniment en funció del nivell de cobertura:

- Revisions de tipus normatiu. Consisteix en visites d'inspecció. Normalment es comproven els paràmetres principals de funcionament seguint una llista de control. Es fan reposicions fonamentals com l'oli, el refrigerant i el canvi de filtres. Qualsevol incidència es paga apart.

Figura 2.94. Comparació de costos d'inversió i explotació de dues instal·lacions diferents.



Tipus de manteniment	Revisions	PPM	FPP
Descripció	3 revisions / any	3 revisions / any + garantia de M & O	3 revisions / any + garantia total
Cost aproximat en funció de la inversió inicial	0,3 a 0,7%	3 a 5%	8 a 11%

Taula 2.22. Cost aproximat segons tipus de manteniment en funció de la inversió inicial.

Fluid	Calor transportat	Quantitat de calor
Aigua	Sensible	5 Kcal/Kg ($\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$)
Aire	Sensible	2,4 Kcal/Kg ($\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$)
Refrigerant	Latent	49 Kcal/Kg (calor evaporatiu a 0°C)

Taula 2.23. Capacitats de transport de calor segons el fluid calorportador emprat.

- Programa de manteniment parcial (PPM, Partial Protection Maintenance). A més d'unes revisions periòdiques pactades seguint uns protocols determinats, en qualsevol incidència que hi pugui haver, es cobreix la mà d'obra de les reparacions.

- Manteniment en garantia total (FPP, Full Protection Plan). Aquesta modalitat, a més de les revisions preventives en cas d'averies, cobreix tant la mà d'obra com qualsevol peça o component.

Grau de zonificació. Amb relació a la capacitat del sistema escollit per donar el confort tèrmic adequat als locals, s'ha de tenir en compte que la funció bàsica d'un sistema de climatització és obtenir el control de la temperatura en cadascun dels locals de l'edifici. Això significa que el sistema escollit ha de tenir el grau suficient de zonificació com perquè en cada local o dependència se'n pugui regular la temperatura de manera independent. Els sistemes unizona a volum constant amb unitats autònomes mai poden complir aquesta condició i, per tant, no és correcte, apart que representen sempre un consum d'energia superior i font de conflictes entre els usuaris de les zones alimentades per la unitat de climatització en qüestió.

No és habitual implantar el control d'humitat si no és estrictament necessari, atès l'elevat cost que representa. S'instal·la només en certs tipus de processos que ho requereixen o en el cas dels sistemes de superfícies radiants en règim de refrigeració.

La renovació de l'aire interior dels locals és una exigència de salubritat que s'aconsegueix introduint una quantitat d'aire 'fresc' de l'exterior i expulsant la mateixa quantitat d'aire 'viciat'. La normativa proporciona taules dels cabals mínims de renovació d'aire que cal proporcionar en funció del tipus d'activitat que tingui cada local. És important considerar en aquest punt el tipus de conductes que s'utilitzen. Els conductes de fibra de vidre, encara que estiguin recoberts amb tela d'alumini, són totalment desaconsellables, doncs en el seu procés de muntatge sempre hi queden partícules de fibra de vidre que després són transportades a través de la xarxa de conducte i nocives per als usuaris del sistema. S'aconsella que els conductes siguin de xapa metàl·lica i en cas d'haver-los d'aïllar, que es faci per la part exterior.

El soroll produït pel sistema de climatització és un factor important que pertorba el confort dels usuaris i, per tant, una font important de queixes. En les instal·lacions de clima, el soroll prové bàsicament de compressors, ventiladors, bombes d'aigua i fluids en moviment (aire i aigua refrigerant). Els compressors i bombes s'ubicaran en llocs exteriors a l'edifici (sala de màquines) per tal que no afectin els usuaris. En cas que afectin altres edificis veïns (unitats en terrasses exteriors), caldrà posar barreres

acústiques per baixar la intensitat del soroll. Els sorolls produïts pels fluids són deguts a un dimensionament equivocat dels conductes i canonades.

També hi ha una influència del tipus de tecnologia de compressors i ventiladors en el nivell de soroll. Els compressors de tipus rotatiu (*scroll*, cargol) són més silenciosos que els alternatius (de pistons). Quant als ventiladors, cal especificar que siguin d'àleps múltiples (tenen molt bona atenuació acústica atesa la supressió de tons de pic de baixa freqüència), i la velocitat de gir no hauria de ser superior a 715 rpm. Els àleps han de tenir un disseny tal que la seva inclinació doni una distribució uniforme de càrrega. Convé demanar que siguin de principi d'evolvent giratòria, la qual s'utilitza ja en automoció per disminuir el soroll del ventilador del radiador.

Les d'unitats de conducte (tipus aerotermos o compacte-DX), que s'ubiquen en els fals sostres, són una font de soroll propera als usuaris. En aquests casos convé dimensionar molt bé els conductes i la màquina i, sobretot, mirar d'ubicar aquestes unitats en passadissos propers a la sala a climatitzar o aïllar acústicament el fals sostre.

L'espai disponible en un edifici és un altre factor determinant per la selecció d'un sistema de climatització.

Els sistemes tot aigua i tot refrigerant són els que necessiten menys espai, ja que les canonades d'aigua o refrigerant ocupen un espai molt menor que els conductes d'aire. A més, les unitats terminals d'aquests sistemes (aerotermos, unitats interiors) poden situar-se en el propi espai interior.

Els sistemes tot aire necessiten un espai important en el fals sostre, en funció de la dimensió de l'edifici que s'estigui climatitzant. En aquests sistemes es pot distingir entre els sistemes d'alta pressió i velocitat en què els conductes són de menys secció que els de baixa velocitat i baixa pressió, però el nivell de soroll serà considerablement superior.

Els sistemes aire-aigua utilitzen conductes de secció considerablement menor que els sistemes tot aire, ja que el volum d'aire de ventilació és més reduït que el volum total d'impulsió d'aire d'un sistema tot aire. En un sistema amb inductors, el cabal d'aire és encara menor i, per tant, també la secció de conductes.

Taules comparatives entre sistemes

Un fluid refrigerant té una capacitat de transport d'energia tèrmica deu vegades superior a la de l'aigua i 20 vegades a la de l'aire. Vegeu les taules 2.24 i 2.25.

2.8.2. Manteniment d'instal·lacions de calderes

- Les calderes i els cremadors els ha de netejar i revisar periòdicament un tècnic qualificat.
- Les calderes s'han de fer inspeccionar periòdicament, revisant els punts següents:
 - Llums d'alarma.
 - Senyals de fuites a les canonades, vàlvules, acoblaments i caldera.
 - Danys o marques a la xemeneia o a la pròpia caldera.
 - Sorolls anormals a les bombes o al cremador.
- Inspeccionar el tanc d'expansió i l'alimentació periòdicament. Si s'escolta l'entrada d'aigua a través de la vàlvula d'omplir, llavors el sistema té fuites.
- En casos de sospita que hi hagi fuites, cal trucar immediatament el servei tècnic per a fer una reparació.

- La revisió ha d'incloure una comprovació de l'eficàcia de combustió i l'ajust de la proporció aire/combustible del cremador per a obtenir l'eficiència òptima.
- Demanar al tècnic corresponent que es maximitzi l'eficiència de la caldera i que es presenti un full d'assaigs amb els resultats. Això té un cost entre 100 i 200€ per caldera.
- Estudiar la possible instal·lació d'un termòmetre a la xemeneia, doncs la caldera necessita una neteja quan la temperatura màxima dels gasos a la xemeneia augmenta més de 40°C sobre el registre de l'últim servei.

Fluid	Calor transportat	Quantitat de calor
Aigua	Bombes i ventiladors	4,7
Aire	Ventiladors	7,4
Refrigerant	Refrigerant Compressor (transport) i ventiladors	3,5 - 4

Taula 2.24. Comparativa dels costos energètics per a transportar els fluids caloportadors a un edifici amb una demanda de 120.000 kW.

Sistema		Cost inversió	Cost energètic	Cost reparacions	Confort per temperatura	IAQ	Nivell acústic	Espai requerit
Tot aire	Volum constant Unizona	Baix	Alt	Baix	Molt Baix	Alt	Baix	Alt
	Volum constant Multizona	Mitjà	Molt Alt	Mitjà	Baix	Alt	Baix	Alt
	Volum constant amb autònoms DX	Molt Baix	Alt	Molt Baix	Molt Baix	Mitjà	Baix	Alt
	VAV	Alt	Baix	Alt	Alt	Alt	Baix	Alt
Tot aigua	F-C a 2 tubs + V3v	Baix	Mitjà	Mitjà	Alt	Baix	Mitjà	Baix
	F-C a 4 tubs	Mitjà	Mitjà	Mitjà	Molt Alt	Baix	Mitjà	Baix
	Sostre radiant	Alt	Molt Baix	Molt Baix	Alt	Mitjà	Molt Baix	Baix
Aigua-aire	Inductors a 2 tubs	Mitjà	Baix	Mitjà	Alt	Mitjà	Mitjà	Mitjà
	Inductors a 4 tubs	Molt Alt	Mitjà	Alt	Molt Alt	Mitjà	Mitjà	Mitjà
	F-C amb aire de ventilació	Alt	Mitjà	Mitjà	Mitjà-Alt	Mitjà	Alt	Mitjà
Tot refrigerant	Aparells individuals de DX	Baix	Baix	Mitjà	Alt	Baix	Alt	Baix
	Multi split	Mitjà	Baix	Alt	Mitjà-Alt	Baix	Alt	Baix
	VRV	Molt Alt	Baix	Molt Alt	Alt	Baix	Mitjà	Baix

Taula 2.25. Resum comparatiu dels diferents sistemes de climatització d'edificis.

- Aïllar les canonades de distribució que no contribueixen a escalfar zones de treball.

Una bona pràctica aconsellable en calderes convencionals és instal·lar un recuperador de condensació a la xemeneia de sortida de fums, aprofitant que aquests surten a temperatures relativament elevades per a escalfar aigua.

2.8.3. Ús d'instal·lacions de calderes

- Realitzar campanyes de sensibilització per tal de transmetre a tots els usuaris la conscienciació pel medi ambient, per tal de millorar la imatge i reduir les factures del subministrament energètic.
- Dissenyar i col·locar "adhesius" de sensibilització i ús correcte dels equips.
- Formar i instruir, redactant ordres de treball, clares i específiques, per tal que usuaris i operaris sàpiguen com actuar en diferents situacions que es puguin donar.
- Sol·licitar la col·laboració dels usuaris amb notes de suggeriment i de millora per resoldre els problemes i/o avaries que puguin sorgir o ser detectades.

2.9. Bones pràctiques en sistemes de climatització

Centre d'Atenció Primària Roger de Flor a Barcelona

Aquest Centre d'Atenció Primària recentment construït a Barcelona, dins del projecte europeu de construcció sostenible SARA-Sustainable Architecture Applied to Replicable Public Access Buildings, s'ha dissenyat per a obtenir un estalvi energètic considerable quant a refrigeració i calefacció.

La climatització d'aquest centre s'ha fet mitjançant un sistema de sostre radiant tant per calefacció com per refrigeració, a 2 tubs. L'aportació d'aire de renovació i ventilació s'ha fet de manera independent amb unitats de tractament d'aire i deshumectació de l'aire durant l'època d'estiu en què el sistema treballa en règim de fred.

Els paràmetres de disseny d'aquest tipus d'instal·lacions han permès escollir una unitat refredadora d'aigua de condensació per aire amb un COP superior a 4. Les temperatures d'impulsió i retorn d'aigua són de 15° i 18°C respectivament, amb un ΔT de 3°C. Una unitat refredadora convencional treballa impulsant aigua freda a 7°C. La diferència de refredar aigua fins a 15° enlloc de fins a 7°C ($\Delta T = 7^\circ C$) representa un estalvi important de kWe de compressor, d'un 20% com a mínim.

Quant a la calefacció també té el mateix efecte de reducció de consum per temperatures menors: enlloc d'impulsar l'aigua a 55° o 65°C, s'impulsa a una temperatura de 40°C. En aquest cas s'ha escollit una caldera de baixa temperatura, que són les que tenen millor rendiment tèrmic.

A més, el sistema de ventilació té capacitat per refrigerar tot l'edifici treballant en mode de *free cooling*, durant èpoques intermèdies de primavera i tardor en què les càrregues internes fan necessària la climatització i la temperatura de l'aire exterior encara és prou baixa per aprofitar-la per a refrigerar. La UTA realitza, durant l'estiu, l'extracció d'humitat de l'aire per evitar possibles condensacions. La deshumectació es fa tant per un procés químic mitjançant el clorur de liti com amb compressors tradicionals. El procés químic representa un important estalvi energètic ja que evita l'ús de compressor.



Climatització eficient.
Centre d'Atenció
Primària Roger
de Flor, Barcelona.

Sistema de calefacció
de biomassa Escola
El Sitjar d'Educació
Primària a Linyola
(Lleida).

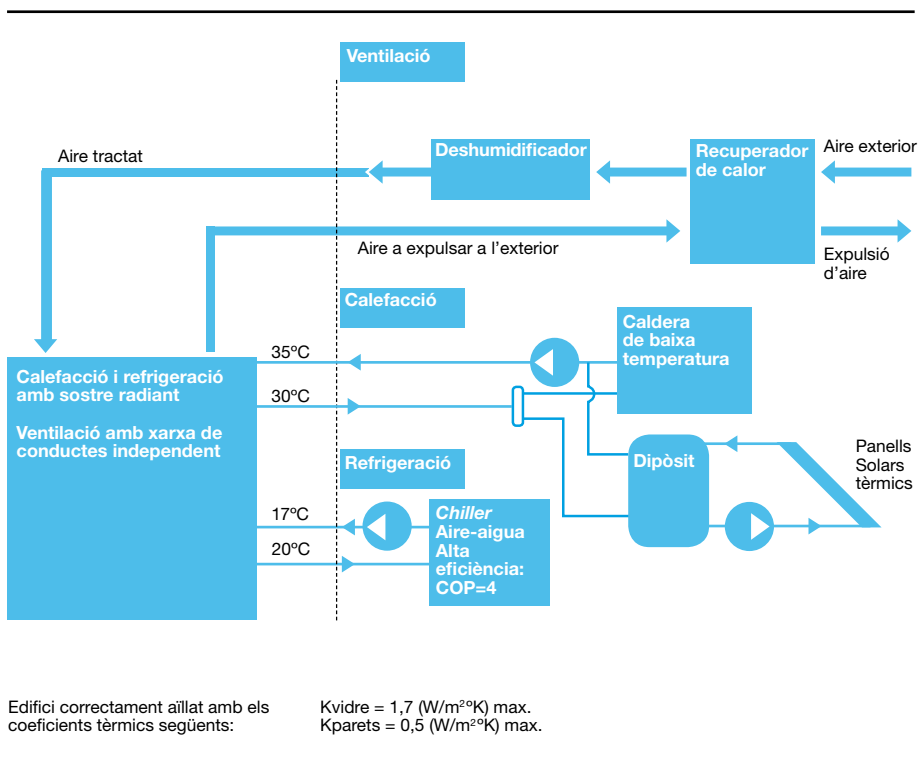


Figura 2.95. Principi de climatització i ventilació al CAP Roger de Flor.

A més, en la construcció d'aquest edifici s'ha tingut molt en compte la utilització de materials que donin una elevada resistència tèrmica a tots els tancaments, per tal de baixar les pèrdues tèrmiques.

L'expectativa de l'estalvi que s'espera obtenir en consum d'energia d'aquest sistema implantat respecte d'un sistema convencional és, com a mínim, d'un 30%.

Escola d'ensenyament primari El Sitjar a la localitat de Linyola (Lleida)

El centre d'ensenyament primari de Linyola es va remodelar i ampliar l'any 2006, augmentant la superfície en un 75%: de 1.142 m² als actuals 1.998 m². Tenia instal·lada una caldera convencional de gasoil per a calefacció que es va substituir per una de biomassa (pellets). Amb aquest canvi, el centre ha reduït considerablement el consum d'energia per unitat de superfície ja que, tenint en compte la diferència de poder calorífic dels dos combustibles (PCS gasoil: 10,89 kWh/l, pellets: 5,21 kWh/kg) actualment utilitza fins i tot menys energia, malgrat l'augment important de superfície.

En l'aspecte econòmic, l'augment important del preu del gasoil i la baixada del preu del pellet, que degut a un recent inici de producció local a Catalunya es troba al voltant de 0,20 €/Kg, afavoreixen la inversió i escurcen de manera dràstica el període de retorn. Per a la superfície actual, la diferència de cost entre un sistema i l'altre és superior a 7.000 €/any.

Pel que fa a l'impacte ambiental, l'ús de la biomassa en substitució del gasoil representa una millora important, ja que el CO₂ emès és neutre atès que, en la combustió de la fusta, el CO₂ alliberat correspon al que els arbres van absorbir en el procés de fotosíntesi, mentre que el de la combustió del gasoil és un increment que prové d'energies fòssils.

Taula 2.26. Estalvi energètic i econòmic al centre d'ensenyament primari de Linyola.

Tipus de combustible	Unitat	Gasoil abans de la reforma, 2005	Pellets després de la reforma
Superfície	m ²	1.142	1.998
Consum anual total	l/any	9.000	30.780
Consum anual específic	l/m ² ·any	7,88	15,41
Preu del combustible*	€/l	0,86	0,20
Cost anual específic	€/m ² ·any	6,77	3,08

* Març 2008.



3. Ventilació

3.1. Conceptes bàsics en sistemes de ventilació

L'objectiu de la ventilació dels edificis és la garantia de la qualitat de l'aire interior per a la respiració i per evitar possibles olors, concentracions elevades de gasos emesos per mobiliari, etc. L'ordre de renovació de l'aire, que es mesura en cabal absolut (litres o m^3/h) o relatiu respecte al volum del local (renovacions/hora = $\text{m}^3/\text{m}^3\text{h}$), es fixa en funció de l'ocupació i el tipus d'activitat. Junt amb l'aire exterior fresc, però, també entra fred a l'hivern i calor a l'estiu, que, en ambdós casos, requereix un condicionament artificial a les temperatures de confort, amb la qual cosa convé minimitzar el bescanvi d'aire al mínim necessari en aquestes èpoques de l'any. La quantitat d'aire necessària que cal aportar es fixa en $6,4 \text{ l/s}$ ($23\text{m}^3/\text{h}$) per persona amb activitat lleugera, com en zones residencials i oficines, així com en $8,0 \text{ l/s}$ ($28,8\text{m}^3/\text{h}$) per persona com a marc de referència per a tots els sistemes de ventilació⁹.

En molts dels edificis existents, part de la renovació o la totalitat la proporcionen les infiltracions per la pell de l'edifici, principalment les fusteries, però de manera incontrolada, amb efectes secundaris importants com fluxos d'aire molestos i pèrdues o guanys d'energia indesitjades en cas de més ventilació de la higiènicament necessària.

A mida que es redueixen les infiltracions a través de la pell de l'edifici, principalment per la millora de l'estanquitat de les fusteries, aquesta millora a nivell de comportament energètic de l'edifici entra en conflicte amb la salubritat de l'aire interior. L'aportació d'aire exterior higiènicament necessària per a mantenir la qualitat de l'aire interior, pot ser aportada per diferents mecanismes:

La ventilació manual consisteix en una obertura suficient de les finestres de l'edifici de manera periòdica amb l'objectiu de renovar l'aire interior del local. L'experiència mostra, però, que a la pràctica aquest hàbit és molt difícil de complir.

La ventilació mecànica d'extracció produeix una depressió constant en l'edifici mitjançant un extractor a les zones de l'edifici amb més necessitat d'extreure aire carregat, com les cuines, els lavabos i les dutxes. L'aire exterior fresc entra per obertures controlades, amb mecanismes per tancar-se en casos de molt vent, situats a les façanes o finestres de les zones de més ocupació com oficines, sales d'escoles, etc. a una altura mínima d'1,80m per evitar fluxos d'aire molestos. El dimensionament correcte del cabal d'aire i la selecció d'un extractor de baix consum energètic garanteixen la qualitat de l'aire amb el mínim consum energètic, tant pel seu funcionament com per l'escalfament / refredament de l'espai.

La ventilació mecànica d'extracció i impulsió permet l'intercanvi de la calor d'extracció amb la d'impulsió per a preescalfar-la, o viceversa en règim d'estiu, així com el tractament d'aire respecte altres paràmetres com la humitat, la concentració de microorganismes, etc.

⁹ *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, F. Javier Neila – Madrid 2004.

El Codi Tècnic de l'Edificació fa obligatòria la ventilació mecànica a qualsevol edifici de nova construcció o de reforma important.

3.2. Estratègies perquè augmenti l'eficiència energètica en la ventilació

3.2.1. Minimització d'infiltracions

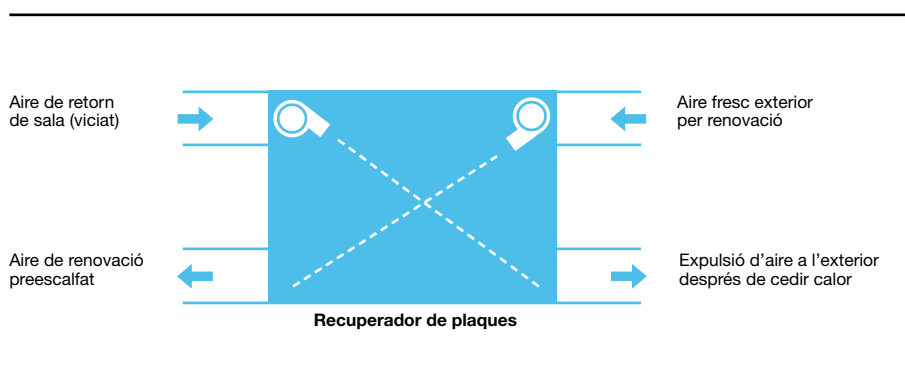
La primera mesura per augmentar l'eficiència energètica en la ventilació és la limitació de les renovacions d'aire no controlades, les infiltracions. El Codi Tècnic limita la permeabilitat a l'aire de les fusteries per a les zones climàtiques de Catalunya a $27\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, mesurat a una sobrepressió de l'interior de 100 Pa.

3.2.2. Recuperació de calor

La pràctica per excel·lència que permet més estalvi en ventilació és aprofitar la calor de l'aire de retorn de l'edifici que s'ha d'expulsar a l'exterior. Mitjançant un bescanviador de plaques, es transfereix la calor d'aquest flux d'aire a l'aire fresc que es pren per a renovació. Aquest preescalfament o prerefredament representa un estalvi important d'energia tèrmica.

La recuperació de calor/fred hauria de garantir com a mínim un aprofitament del 50% de l'energia disponible.

Figura 3.1. Esquema de la recuperació de calor per al preescalfament de l'aire de renovació.



3.2.3. Modulació dels volums d'aire

La modulació dels volums d'aire consisteix en regular el cabal d'impulsió d'aire, variant la velocitat dels ventiladors que distribueixen l'aire de ventilació per l'edifici, i així adaptar-se a uns requisits de ventilació en funció de les condicions interiors (ocupació, activitat...), i també de les condicions exteriors.

Quan la temperatura interior sigui igual o lleugerament superior a l'exterior, es podrà introduir aire exterior a velocitat superior, mentre que caldrà moderar els cabals si la temperatura exterior és molt més elevada que l'interior.

Normalment la variació de velocitat es fa variant la freqüència del corrent que alimenta els motors dels ventiladors. Aquest tipus de pràctica dóna estalvis importants d'energia elèctrica, ja que aquests consums disminueixen de manera significativa.

A més, cal tenir en compte que una velocitat de l'aire que sigui massa elevada, a l'hivern té l'efecte contrari a donar confort tèrmic per calor, ja que la velocitat de l'aire afavoreix el refredament convectiu. Aquesta és una raó important més per baixar les velocitats d'impulsió d'aire durant l'hivern.

3.2.4. Ventilació nocturna

El concepte de la ventilació nocturna es basa en aprofitar l'oscil·lació de la temperatura entre dia i nit i la inèrcia tèrmica dels materials constructius a l'interior de l'edifici. En aquest sentit, el sistema tindrà millor rendiment a les comarques interiors de Catalunya, ja que fora de la influència del mar tendeixen a una forta oscil·lació de temperatures diàries. L'objectiu d'aquest concepte és principalment la refrigeració, mentre la ventilació és el suport passiu per millorar-ne l'eficiència.

Els materials amb una inèrcia tèrmica important (sostres, terres, murs) absorbeixen part de la calor que reben durant el període calent i la desprenen durant la nit. La ventilació de l'edifici durant la nit amb l'aire exterior d'inferior temperatura augmenta el refredament del material. El concepte és especialment indicat en edificis que són usats durant el dia i deshabitats a la nit. Per possibilitar la ventilació nocturna, es necessita l'obertura de finestres guiada per un temporitzador o mitjançant sensors que comparen les temperatures exteriors i interiors i obren les finestres quan la diferència entre ambdós sigui suficientment alta. En molts casos, s'augmenta la ventilació passiva mitjançant la tèrmica que es produeix en espais verticals dins l'edifici com atris i patis interiors o dobles façanes amb obertures a la part superior. En cas que la ventilació natural sigui insuficient, es pot aplicar una ventilació forçada amb el mateix objectiu de refrigerar la massa tèrmica. En tot cas, és important dimensionar les obertures amb una mida suficient, ja que la ventilació natural serà més gran, i en cas d'haver de ventilar de manera forçada, l'energia necessària serà inferior en tenir menor resistència.

Evidentment, aquest concepte té les seves limitacions amb relació a la quantitat d'energia que pot evacuar de l'edifici, amb la qual cosa és molt important minimitzar la càrrega de fred mitjançant una protecció solar adequada, un concepte d'ús de llum natural i l'ús d'equipament d'oficina altament eficient. En paral·lel, és aconsellable considerar altres conceptes passius com, per exemple, per a minimitzar l'aportació de calor a l'edifici per causa de la ventilació durant el dia. Un dels principis pot ser l'aplicació de conductes soterrats.

Límits del concepte de ventilació nocturna:

- L'edifici ha de tenir una inèrcia tèrmica important, preferiblement una massa tèrmica activa superior a 300 kg/m^2 . Això implica terres i sostres massissos i en contacte directe amb l'aire interior o parets massisses en cas de només disposar d'un element constructiu horitzontal massís.
- La demanda de fred com a suma diària no hauria de superar els $150 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$.
- La temperatura exterior hauria de ser, com a mínim durant cinc hores de la nit, inferior a 21°C . La ràtio de ventilació hauria de ser, com a mínim, de dos, però quatre encara seria millor.
- Una ventilació lliure (sense ventilació mecànica auxiliar) només és possible si

l'edifici permet una ventilació creuada, l'aire exterior és de suficient qualitat i la possible pol·lució acústica exterior no influeix en l'ús de l'edifici a la nit.

- Es necessita una ventilació mecànica auxiliar, només si la ventilació lliure no és suficient o si hi ha riscos de seguretat degut a finestres o obertures de ventilació obertes durant la nit. D'altra banda, no s'aconsella tenir ràtios de ventilació superiors a quatre si cal aconseguir-les mitjançant ventilació mecànica, ja que en aquest cas l'energia per als ventiladors posa en qüestió els avantatges energètics d'aquests tipus de ventilació.

3.2.5. Mecanismes de control

Els mecanismes de control són elements decisius per a obtenir un estalvi energètic substancial, ja que permeten que el sistema de ventilació funcioni segons els paràmetres establerts. A més, és gràcies al control que els sistemes descrits poden funcionar. En funció de la informació obtinguda a través dels sensors i de l'estratègia que contingui l'algorisme de control s'actua en conseqüència.

3.3. Recomanacions en sistemes de ventilació

3.3.1. Sistema

- Revisar les infiltracions a l'edifici mitjançant pressurització per porta-ventilador. Aquesta prova té un cost relativament baix¹⁰ i mostra amb suficient grau d'aproximació els punts febles de l'edifici.
- Revisar l'estanquitat de les fusteries. Les bones fusteries tenen una junta de material elàstic entre el full abatible i el marc.
- Consultar a un expert si pot ser viable reduir la càrrega de fred per ventilació nocturna a l'època d'estiu.
- Instal·lar un sistema de ventilació mecànica. Aquesta mesura pot comportar treballs importants d'obra civil per passar conductes.
- Implantar un sistema de control adequat que permeti fer funcionar la ventilació en funció de les necessitats de l'edifici (ocupació) o de les condicions externes.
- Utilitzar sensors a les finestres, que parin el sistema de ventilació en cas d'obertura de les mateixes.
- En cas de climes moderats i edificis relativament petits, es recomanen sistemes de ventilació natural.

3.3.2. Manteniment

- Establir un programa de neteja periòdica (com a mínim semestralment) dels filtres dels conductes de ventilació.
- Establir un programa de neteja periòdica (com a mínim anualment) dels conductes de ventilació.
- Fer un seguiment mecànic dels motors-ventiladors.
- Inspeccionar i comprovar els sensors i actuadors del sistema de control.

¹⁰ La prova de pressurització forma part del procediment per a la concessió del certificat d'eficiència energètica d'edificis del sector residencial, efectuada per l'Ente Vasco de Energia (EVE).

3.3.3. Ús

- Si no hi ha ventilació mecànica: conscienciar el personal de la necessitat de ventilar, obrint periòdicament les finestres -preferiblement obrint-les del tot durant cinc a deu minuts cada dos a tres hores. L'obertura contínua de les finestres abatibles ventila unes 3 a 4 vegades més del necessari i comporta els corresponents malbarataments energètics.
- Si hi ha ventilació mecànica, el sistema haurà d'estar dimensionat per a complir la norma UNE 100-011-91 quant a quantitat d'aire de renovació (segons el nombre de persones i l'activitat). S'aconsella implantar-hi elements de control perquè el sistema de ventilació sigui modulant. Així, en funció del paràmetre de qualitat d'aire (concentració de vapor d'aigua, CO₂, olors...), s'ajustarà la quantitat d'aire de renovació amb l'estalvi consegüent. També caldrà fer un control de l'horari de funcionament per no tenir despeses fora de l'horari laboral.

3.4. Bones pràctiques en sistemes de ventilació

Hi ha diversos centres d'assistència primària com, per exemple, el de Pineda, el de Vilanova del Camí i el Pujol i Capçada, entre d'altres, que han estat climatitzats per l'empresa EISSA (Energètica d'Instal·lacions Sanitàries SA). En aquests centres es va realitzar una instal·lació de climatització amb sistema VRV.

Els equips de ventilació instal·lats són de construcció amb perfil metàl·lic i xapa galvanitzada aïllada interiorment. S'han utilitzat ventiladors centrífugs sobre anti-vibradors, accionats per motor elèctric acoblat per corretges i politges. Tots disposen de registres per a poder-los manipular i realitzar-ne el manteniment.

Per a preescalfar o prerefredar l'aire s'ha disposat de 2 recuperadors estàtics d'energia, ja que el subministrament d'aire de renovació es fa mitjançant dos circuits diferenciats de l'edifici.

Els bescanviadors d'aire són construïts amb planxes d'alumini espaiades per permetre el pas de l'aire en ambdós sentits, a fi de poder transferir la calor latent de l'aire d'extracció a l'aire entrant de l'exterior. Les plaques en nombre adequat al cabal d'aire en moviment, s'acoblen a l'estructura metàl·lica per formar un sol equip compacte. En cap cas es permet la barreja dels dos aires en moviment.¹¹



¹¹ Normativa espanyola UNE 100-011-91. Defineix la qualitat de l'aire de ventilació i dona els cabals d'aire de ventilació en litres/persona o litres/m² en funció del tipus d'activitat o local.



4. Il·luminació

4.1. Conceptes bàsics en il·luminació

L'objectiu del mínim ús d'energia per al màxim confort visual i tèrmic porta a dos conceptes bàsics d'il·luminació d'espais:

- Utilitzar la llum natural, sempre i quan sigui possible.
- Ajustar el flux lumínic en funció de les necessitats de cada moment.

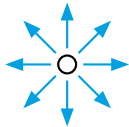
La reducció d'ús d'il·luminació artificial té, a més, un doble efecte positiu sobre l'estalvi energètic:

- L'estalvi directe d'energia elèctrica per a la il·luminació.
- La disminució de demanda tèrmica per a refrigerar l'edifici durant les èpoques càlides, ja que paral·lelament a l'emissió de llum visible, qualsevol lluminària també emet més o menys radiació en forma de calor.

A continuació, es dona una introducció mínima a les magnituds bàsiques de luminotècnia.

El **flux lluminós** és la quantitat de radiació lluminosa visible emesa per una font de llum, sense especificar-ne ni la intensitat ni la direcció. És, per tant, una magnitud escalar que no permet fer càlculs.

Unitat de mesura: lumen.

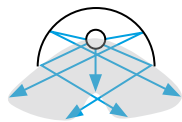


Exemple

Un tub fluorescent (vist longitudinalment), encès sense cap llumenera ni superfície de reflexió, només com a font de llum, emet una determinada radiació lluminosa en totes direccions. Si, per exemple, és un tub T5 de 14W, emet 1.200 lúmens, els LED emeten entre 15 i 120 lúmens per làmpada i el Sol emet milions de lúmens.

La intensitat lluminosa és la quantitat de radiació lluminosa emesa per una font de llum, en una direcció i angle concret per unitat d'angle sòlid. És una magnitud vectorial. Per tant, es pot mesurar i permet fer càlculs.

Unitat de mesura: candela (cd).



Exemple

Un tub fluorescent en un reflector, que dirigeix la llum en una direcció determinada amb una intensitat determinada. Els vectors resultants són els que conformen després diagrames polars que permeten fer càlculs i conèixer quanta llum emet la llumenera i en quina direcció l'emet. Una llumenera pot tenir, per exemple a un angle de 50°, una intensitat lluminosa de 50.000 cd.

El **rendiment** és la relació entre els lúmens emesos per una font de llum i una llumenera que utilitza aquesta font de llum.

Exemple

Flux de la làmpada: T5 14W= 1.200 lúmens

Flux de la llumenera "X" amb la làmpada T5 14W= 1.000 lúmens

Rendiment= $(1.000/1.200) \times 100 = 83\%$



Exemple A



Exemple B

Quant més rendiment tingui una llumenera, més aprofita la llum que emet la làmpada. Per tant, és energèticament més eficient (en principi), però cal considerar també la direcció en què emet aquesta llum:

Exemple A

Aquesta llumenera té un rendiment aproximat del 95%, però no té cap control sobre el direccionament de la llum; per tant, caldran més unitats, o de més potència, per aconseguir els valors desitjats en el pla de treball. Font: ETAP Lighting.

Exemple B

Aquesta llumenera té un rendiment del 85%, però dirigeix la llum cap al pla de treball (en aquest cas horitzontal); per tant, el nombre i potència de llumeneres a emprar serà menor que en l'altre cas (tot i tenir un rendiment més baix). El Valor d'Eficiència Energètica en Il·luminació serà menor i l'optimització energètica millor. Font: ETAP Lighting.

La **il·luminància** descriu els lúmens que incideixen en un pla (horitzontal, vertical o oblic) per unitat de superfície. Es mesura amb un luxímetre. $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$.

Unitat de mesura: lux.

Exemple

Un despatx té una il·luminància mitjana, horitzontal a 0,75 m (pla de treball) de 500 lux.

Cada activitat humana requereix d'una il·luminància específica. Els valors d'il·luminància mitjana horitzontal per alguns usos típics en edificis públics són:

- Vestíbul, cafeteria, menjador: 200 lux.
- Recepció, atenció al públic: 300 lux.
- Secretaria, oficines, laboratoris: 500 lux.
- Reconeixement mèdic: fins a 1.000 lux.

La **luminància** és la mesura de la percepció subjectiva de la lluernó, col·loquialment anomenada "lluminositat". L'excés de luminància, o les diferències marcades de luminàncies són les que provoquen l'enlluernament.

Unitat de mesura: cd/m^2 (candeles per metre quadrat).

Exemples

- Els tubs fluorescents T5 tenen una luminància entre 12.000 i 25.000 cd/m^2 . Un LED de 3W té una luminància entorn de 20.000.000 cd/m^2 . Una paret (pel fet que hi incideix una quantitat de llum determinada i la reflecteix), té una luminància de 30 cd/m^2 .
- Si una llumenera té un bon control de la luminància, no enlluerna.
- Si una habitació té un equilibri de luminàncies adequat, no força el nostre ull a adaptar-se a diferències marcades de luminància i, per tant, no provoca fatiga visual.
- Els LED, amb la seva altíssima luminància (la seva superfície d'emissió és d'1 mm^2), s'utilitzen molt en senyalització (semàfors), ja que són fàcilment visibles a molts metres de distància, però la seva capacitat de donar nivell de llum és limitada degut al (de moment) baix flux lluminós.

L'ull humà percep contrastos, diferències de luminància. Per això podem llegir un paper escrit. El paper (blanc) té una luminància de 100 cd/m^2 i la tinta negra té una luminància d'1 cd/m^2 . La relació 100:1 és un contrast prou marcat que permet llegir amb comoditat. Per contra, el nivell de llum (il·luminància) del paper pot ser (per exemple) de 300 lux, i el de la tinta també de 300 lux. Si l'ull humà veiés lux (il·luminància), no podríem llegir.

Els sensors de llum natural perceben les luminàncies mitjanes del pla de treball, al qual, alhora, l'afecten les luminàncies de tot l'espai del local, no les il·luminàncies. Per tant, amb la presència de la llum solar, augmenta la luminància de l'habitació i del pla de treball, i és el que el sensor detecta, similar a la nineta de l'ull humà: quan detecta més luminància, es contrau i, amb menys luminància, es dilata.



Exemple luminància / il·luminància

Un passadís amb una paret de color clar i una paret de color fosc. Hi ha una llumenera al mig del passadís que envia la mateixa quantitat de llum a les dues parets. La paret de l'esquerra té més luminància, brilla més, atès que el color clar és més reflectant. Per contra, la paret fosca té més il·luminància (més lux), ja que rep la llum directa de la llumenera i el reflex de la llum de l'altra paret.

Una altra diferència clara entre luminància i il·luminància és la que hi ha entre percepció visual de l'ull humà (cd/m^2) i medició del luxímetre (lux). Font: ETAP Lighting.

4.2. Aprofitament de la llum natural

4.2.1. Característiques de la llum natural

Pel fet que, durant l'evolució de milers d'anys, els nostres ulls s'han adaptat perfectament a les característiques de la llum natural, és evident que la seva qualitat ens serveix de base per a qualsevol comparació i la percebem com a idònia. D'altra banda, el seu ús es veu limitat o dificultat per les circumstàncies següents:

- Discontinuitat. Evidentment només disposem de la llum natural durant les hores diürnes i en funció de la nuvolositat i l'entorn urbanístic o paisatgístic de l'espai a il·luminar.
- Il·luminància. La radiació solar directe té una il·luminància d'aproximadament 10.000 lux en un dia tapat i fins a 100.000 lux en un dia clar d'estiu. Aquesta il·luminància evidentment disminueix amb la profunditat de l'espai a l'interior de l'edifici, i en funció dels factors de reflexió de les superfícies interiors. Això comporta que, per exemple, prop d'una finestra vertical hi hagi una il·luminància molt superior a la desitjada, mentre a pocs metres de la finestra trobem una manca d'il·luminància.
- Enlluernament. Segons l'activitat que volem desenvolupar a l'interior, és d'especial importància la diferència d'il·luminància entre punts, és a dir els contrastos. Sobretot per a treballs telemàtics, cal tenir un entorn lluminós uniforme sense contrastos molt elevats.
- Aportació de calor. De l'espectre de la radiació solar només una part és llum visible, mentre una altra gran part es ultraviolada o infraroja. A més de la llum natural, entra energia als espais que, a l'hivern pot ajudar a escalfar l'espai però, sobretot a l'estiu augmenta la demanda de refrigeració de l'edifici.

4.2.2. Sistemes constructius d'aprofitament / transport de llum natural

Hi ha diferents sistemes i dispositius per a transportar la llum natural a més profunditat de l'interior, tal com safates de llum, conductes de llum, o altres. Tots aquests sistemes es basen en la reflexió de la llum directa a l'interior de l'edifici.

Un sistema innovador eficient es basa en unes persianes venecianes, dividides en una part superior i una part inferior amb la possibilitat de deixar les làmines de les dues parts en diferents angles d'inclinació. Aquesta petita, però important modificació respecte una persiana veneciana convencional, permet tancar completament la part inferior de la persiana per obtenir una màxima protecció contra enlluernament (d'especial importància a les oficines) i protecció contra sobreescalfament i, al mateix temps, reflectir la llum natural al sostre del local.

En les versions més econòmiques d'aquestes persianes, els angles d'inclinació d'ambdues parts de la persiana només es poden modificar conjuntament. En les versions més confortables, ambdues parts són independents i regulades per motors de tal manera que la protecció contra l'enlluernament i l'aportació de llum natural poden ser regulades totalment, independentment l'una de l'altra.

Els avantatges més clars rau en una bona protecció solar anti-enlluernament, baixant la llum excessiva prop de la finestra i permetent una bona il·luminació amb llum natural fins molt endins del local. Es considera que l'estalvi d'energia, suposant l'automatització tant del funcionament de les persianes venecianes com dels aparells de llum artificial, arriba a un 70% comparat amb un sistema convencional de protecció solar.

Figura 4.1. Sistemes de persianes venecianes amb transportador de llum natural, exterior o interior. Font: WAREMA Renkhoff GmbH.



4.3. Estratègies perquè augmenti l'eficiència energètica en il·luminació

4.3.1. Làmpades

Cal considerar diferents criteris en l'elecció del tipus d'il·luminació i de llum: la reproducció cromàtica de la font de llum, la temperatura de color (càlida, neutre, freda...), el temps d'encesa, la freqüència d'encesa i apagat, l'eficàcia i la vida útil de la làmpada, el lloc d'instal·lació i la reflectància de les superfícies de l'espai, l'ús que se'n farà, etc.

A grans trets, es poden classificar les làmpades artificials en dos apartats: làmpades d'incandescència i halògenes i làmpades fluorescents tubulars i compactes.

Làmpades d'incandescència

Les làmpades d'incandescència són les que escalfen un fil de wolframi al seu interior fins que comenci a brillar. Aquest tipus de làmpades, igual com les làmpades halògenes, tenen una eficiència energètica molt baixa, ja que més del 80% de l'energia que utilitzen es transforma en calor i menys del 20% en llum visible. El seu rendiment lluminós i la seva durabilitat no arriben ni a una quarta part del rendiment i durabilitat de les làmpades fluorescents. Per aquests motius, només es recomana fer-les servir per motius decoratius o en espais de poca freqüència i durada d'ús, com pot ser en lavabos individuals.

Làmpades de fluorescència tubular

Hi ha làmpades de fluorescència tubular de 26 mm (T-8) i de 16 mm (T-5) de diàmetre. Estan recobertes de trifòsfor i necessiten diferent equipament auxiliar per a funcionar. El més comú i eficient és el balast electrònic d'alta freqüència, que limita el consum d'electricitat de la làmpada als seus paràmetres òptims. Des de fa pocs anys hi ha al mercat tubs fluorescents de vida útil que arriba a les 60.000 hores amb la consegüent reducció de material i residus. Aquestes làmpades són notablement més cares, però atesa la seva vida útil, perfectament amortitzables, sobretot en espais de moltes hores de treball; per exemple, en llocs de difícil accés a les làmpades o en aplicacions on els costos per canvi de làmpades ocasionin alts costos; per exemple, per aturar una producció.

4.3.2. Llumeneres

Junt amb la selecció d'un conjunt de làmpada i equip energèticament eficient (per exemple un fluorescent T5 amb balast electrònic), cal assegurar que es munti en llumeneres d'alt rendiment. En aquest sentit és molt important triar la distribució de la llum de les llumeneres (intensiva, extensiva, asimètrica, etc.) adequada a l'espai o la zona a enllumenar. Un alt aprofitament de la llum, més la direccionalitat adequada de les llumeneres, evidentment, dóna com a resultat menys llumeneres o llumeneres de menys potència amb el consegüent estalvi energètic.

4.3.3. Sectorització

En vista de l'anterior, per a espais grans és important disposar de diferents circuits d'il·luminació que es puguin accionar per separat i en línies paral·leles a la façana que disposi de llum natural, per tal de poder aprofitar-la i il·luminar espais més interiors enlloc de fer-ho amb il·luminació artificial.

Tipus de làmpada	Rang de potència	lm/W	Vida útil mitjana, h	Aplicació
Incandescents, halògenes de baixa tensió	5 - 100	10 - 25	2.000 - 3.500	Localitzada decorativa
Tub fluorescent de 26 mm	18 - 58	65 - 96	8.000 - 16.000	General
Tub fluorescent de 16 mm	14 - 80	80 - 105	12.000 - 16.000	General
Fluorescent compacte	5 - 55	60 - 85	8.000 - 12.000	General decorativa

Taula 4.1. Tipus de làmpades, eficiència i aplicació.
Font: *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación: Hospitales y Centros de Atención Primaria*, IDAE.



Figura 4.2. Tipus de làmpades: fluorescent T8, fluorescent T5, fluorescent compacte, incandescència.
Font: *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación: Hospitales y Centros de Atención Primaria*, IDAE.

4.3.4. Sistemes de regulació i control

El sistema convencional de regulació i control que pugui fer l'usuari mitjançant un interruptor manual, un polsador, un potenciòmetre o un comandament a distància és un sistema de funcionament molt eficient, però té l'important desavantatge que depèn únicament del comportament i, en aquest sentit, de la sensibilització d'estalvi energètic de l'usuari. Especialment en edificis d'accés públic, però, el comportament de l'usuari acostuma a ser menys curós, amb la qual cosa es recomana utilitzar un sistema de control.

Els sistemes de control redueixen els costos energètics i de manteniment de la instal·lació i incrementen la flexibilitat del sistema a permetre enceses/apagades selectives i la regulació de lluminàries segons necessitats reals. N'hi ha quatre tipus fonamentals:

1. Temporitzadors descentralitzats.
2. Control d'encesa/apagada/atenuació segons presència.
3. Regulació de la il·luminació artificial en funció de l'aportació de llum natural.
4. Regulació i control per un sistema centralitzat de gestió.

En tots aquests sistemes de control és imprescindible que l'usuari tingui l'opció de control sobreposat al sistema automatitzat, tant per a poder ajustar la il·luminació artificial a les necessitats reals quan aquestes són diferents de les preestablertes com per la percepció psicològica de no estar exposat a un sistema controlat sense tenir el control final (tot i que no el faci servir si el sistema automatitzat funciona satisfactòriament).

1. Els temporitzadors apaguen la il·luminació artificial en funció d'un temps preestablert després d'encendre-la. Aquests dispositius poden ser útils en espais reduïts com, per exemple, lavabos individuals, si l'interruptor per encendre la il·luminació de nou és a l'abast de l'usuari.
2. Els detectors de presència responen a l'absència de persones a l'espai amb l'apagada de la il·luminació. Hi ha quatre tipus de detectors de presència:
 - Infrarojos.
 - Acústics per ultrasò.
 - Acústics per microones.
 - Híbrids dels dos anteriors.

Com a inconvenient, aquests sistemes poden provocar l'apagada de la instal·lació, malgrat quedin persones a l'interior de l'espai, si aquestes han estat en actitud estàtica durant un temps. Aquesta situació és evitable mitjançant un retard adequat a cada zona, entre la detecció d'absència i l'apagada o atenuació de les llums. Molts detectors tenen dos radis d'acció concèntrics: el radi més petit és sensible a moviments petits i, fins i tot, a la calor emesa pel cos per evitar apagades no desitjables, i el radi més gran és menys sensible a moviments per evitar enceses no desitjades (per exemple, gent que passa a prop).

El control d'encesa/apagada segons la presència és aconsellable en espais d'entrada i sortida com ara arxius, cambra de bany, despatxos individuals, etc. En canvi, en àrees diàfanies amb molts llocs de treball, és preferible, en cas de "no presència" atenuar la llum d'aquella zona fins a un mínim (o fins i tot apagar-la), però de manera progressiva (imperceptible), per no crear un efecte de massa enceses/apagades per als demés ocupants ("efecte discoteca"). L'encesa posterior en cas de presència es produiria de la mateixa manera progressiva.



Llumenera d'alt rendiment amb sistema de regulació de la il·luminació en funció de l'aportació de llum natural.
Font: ETAP Lighting.

3. Els sistemes de regulació de la il·luminació artificial en funció de l'aportació de llum natural mesuren la suma de llum natural i artificial mitjançant una fotocèl·lula i ajusten automàticament el flux lluminós emès per les làmpades artificials. Aquesta fotocèl·lula pot estar col·locada en un lloc determinat de l'espai a il·luminar, habitualment al sostre, i incidir sobre totes les lluminàries d'un circuit elèctric, o pot formar part de cadascuna de les lluminàries amb balast electrònic d'alta freqüència regulables.
4. El Codi Tècnic de l'Edificació introdueix obligatòriament sistemes de regulació en funció de l'aportació de llum natural en la primera línia paral·lela de lluminàries situades a una distància inferior a tres metres de la finestra, així com a totes les situades sota una lluernia, per un seguit de casos determinats.
 - Un sistema centralitzat de regulació i control pot incloure diferents regulacions, des d'horaris preestablerts d'encesa i apagada, detectors de moviments i presència, ajust a la llum natural, etc. El potencial d'estalvi és fins al 65%, depenent del tipus d'instal·lació.
 - La regulació i el control per un sistema centralitzat de gestió permet l'ús de la tecnologia bus, que facilita que:
 - Només les lluminàries rebin una alimentació elèctrica de voltatge de xarxa (230V), mentre que els interruptors manuals siguin cablejats a baix voltatge amb el consegüent augment de seguretat i sobretot estalvi de material.
 - La instal·lació sigui fàcilment modificable des de l'ordinador central, ja que és possible assignar i agrupar lliurement interruptors, sensors i lluminàries.
 - La instal·lació sigui fàcil de monitoritzar en cadascun dels punts amb la consegüent possibilitat d'instal·lació d'alarmes en cas de funcionament defectuós de dispositius, control de consum, etc.

4.4. Benchmarking en sistemes d'il·luminació

Per poder comparar l'eficiència energètica de la il·luminació tot i els possibles nivells diferents d'il·luminància per a les diferents exigències i espais, el Codi Tècnic de l'Edificació estableix el Valor d'Eficiència Energètica de la Instal·lació (VEEI) amb la unitat W/m^2 a 100 lux. Aquest valor considera tant la potència instal·lada de la lluminària amb els seus equips auxiliars com la superfície de l'espai amb relació a la il·luminància mitjana horitzontal.

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \left[\frac{W}{m^2 \cdot lux} \right]$$

P potència total instal·lada en làmpades i equips auxiliars (W)

S superfície il·luminada (m²)

E_m il·luminància mitjana horitzontal mantinguda (lux)

Per exemple, una sala quiròfan de 30 m² que té instal·lats 1.440 W per a una il·luminació general de 1.500 lux, té una ràtio de 1.440:30 = 48 W/m², que és equivalent a 3,2 W/m² a 100 lux.

$$VEEI = \frac{1440 \cdot 100}{30 \cdot 1500} = 3,2 \left[\frac{W}{m^2 \cdot 100lux} \right]$$

A més, el CTE estableix valors màxims d'eficiència energètica, d'obligat compliment per a qualsevol edifici de nova construcció o edificis superiors a 1.000 m² que siguin rehabilitats en més del 25% de la superfície a il·luminar. La taula 4.2 mostra alguns dels valors límit per a zones típiques d'edificis públics.

Per a centres hospitalaris, en general, l'IDAE aconsella valors d'eficiència energètica d'instal·lació entre 2,5 (òptim), 4 (mitjà) i 5,5 (màxim). Qualsevol ràtio superior detectada hauria de ser una alarma per treballar urgentment en la millora del sistema d'il·luminació. Com en tots els apartats, el CTE marca uns límits, que fent servir

Taula 4.2. Valors límit d'eficiència energètica de la il·luminació segons el CTE HE-3.

Grup	Zones d'activitats diferenciades	VEEI límit(W/m ² a 100 lux)
Zones de no representació	Administratiu en general	3,5
	Sales de diagnòstic	3,5
	Aules i laboratoris	4,0
	Habitacions d'hospitals	4,5
	Zones comunes*	4,5
	Espais esportius	5,0
Zones de representació	Administratiu en general	6,0
	Biblioteques, museus i galeries d'art	6,0
	Sales d'actes, reunions, conferències	10
	Zones comunes*	10

Taula 4.3. Classificació d'eficiència energètica en il·luminació per a edificis no residencials (W/m² a 100 lux).

Zones d'activitats diferenciades (CTE- HE3)	Zona de representació	A	B	C	D	E	F	G
Administratiu en general i sales de diagnòstic	no	< 1,4	1,4 - 2,2	2,3 - 3,5	3,6 - 4,5	4,6 - 5,6	5,7 - 7,0	> 7,0
Aules i laboratoris	no	< 1,6	1,6 - 2,6	2,7 - 4,0	4,1 - 5,2	5,3 - 6,4	6,5 - 8,0	> 8,0
Habitacions d'hospitals i zones comunes	no	< 1,8	1,8 - 2,9	3,0 - 4,5	4,6 - 5,8	5,9 - 7,2	7,3 - 9,0	> 9,0
Espais esportius	no	< 2,0	2,0 - 3,2	3,3 - 5,0	5,1 - 6,5	6,6 - 8,0	8,1 - 10,0	> 10,0
Administratiu en general, biblioteques, museus	si	< 2,4	2,4 - 3,9	4,0 - 6,0	6,1 - 7,8	7,9 - 9,6	9,7 - 12,0	> 12,0
Sales d'actes, reunions i zones comunes	si	< 4,0	4,0 - 6,5	6,6 - 10,0	10,1 - 13,0	13,1 - 16,0	16,1 - 20,0	> 20,0

Taula 4.4. Classificació d'eficiència energètica en il·luminació (W/m² a 100 lux).

VEEI < 1,8	1,8 < VEEI < 4,5	4,5 < VEEI
molt eficient	regular	poc eficient

*Espais utilitzats per qualsevol persona o usuari, com rebadors, vestíbuls, passadissos, escales, espais de trànsit de persones, lavabos públics, etc.

tecnologia punta són fàcilment millorables. En aquest sentit, l'ús de làmpades d'alt rendiment permet VEEI inferiors a 2 per a usos comuns com els administratius, les habitacions, les zones comunes, etc. Si, a més, es compta amb un nivell d'aprofitament alt de llum natural com l'aplicació de persianes amb transportadors de llum, o similar, és possible aconseguir valors inferiors a 1,5 W/m² a 100 lux.

Per a obtenir una classificació d'eficiència energètica en il·luminació exacta és imprescindible considerar les activitats de les diferents zones segons CTE i – si es vol considerar l'edifici sencer – fer la mitjana de les classificacions obtingudes segons superfícies dedicades a les activitats respectives.

Per una valoració ràpida, amb l'objectiu d'efectuar una visió global de l'estat d'eficiència energètica en il·luminació d'un edifici sencer, es podria emprar la classificació de la taula 4.4.

Per exemple, per valorar un edifici d'espais no representatius amb 500 m² de 500 lux i 200 m² de 300 lux i unes lluminàries amb una potència total instal·lada de 12.000 W, es donaria la ràtio següent:

$$VEEI = \frac{12000 \cdot 100}{(500 \cdot 500) + (200 \cdot 300)} = 3,87 \left[\frac{W}{m^2 \cdot 100lux} \right]$$

que es podria classificar com a regular, amb un potencial de millora important.

4.5. Recomanacions en sistemes d'il·luminació

4.5.1. Sistema

- Comprovar el Valor d'Eficiència Energètica de la Instal·lació per als diferents espais de l'edifici i avaluació del potencial d'estalvi d'energia mitjançant comparació amb els valors establerts (benchmarking).
- Comprovar la idoneïtat i del bon funcionament dels sistemes de regulació i control de la il·luminació de l'edifici. Si no n'hi ha, introducció d'un sistema tenint en compte paràmetres com l'aprofitament de la llum natural, la sectorització i altres que s'han exposat anteriorment.

4.5.2. Manteniment

- Establir un programa de neteja periòdica de lluminàries per mantenir el nivell de luminància de l'espai.
- Establir un programa de reposició de làmpades (interval segons indicacions del fabricant), sense esperar la disfunció dels aparells, per mantenir un alt grau de seguretat en tot moment. Només canviar la làmpada per una altra de les mateixes característiques, ja que la instal·lació d'una làmpada de potència superior pot provocar el sobreescalfament de la lluminària.

4.5.3. Ús

- Conscienciar el personal del potencial d'estalvi d'energia mitjançant un ús responsable dels sistemes d'il·luminació.

- En cas de no haver-hi sistemes de control central, insistir en maniobra responsable d'encesa/apagada de lluminàries.
- En cas d'existència de sistemes de control central, explicar els mecanismes de funcionament per evitar un boicot a mesures no compreses.

4.6. Bones pràctiques en sistemes d'il·luminació

La Tour de Salvigny

L'edifici de nova construcció de l'escola primària de La Tour de Salvigny al Nord de Lió té un sistema de regulació del flux lluminós a totes les aules. Els tubs fluorescents T5 (16 mm) amb balast electrònic (>100 lumen/watt), combinats amb sensors de presència, redueixen la potència instal·lada entre 6 i 11 W/m². Basats en una luminaància mitjana horitzontal mantinguda de 500 lux, això significa un valor d'eficiència energètica de la instal·lació d'entre 1,2 i 2,2 W/m² a 100 lux. Gràcies a la regulació i a l'alt nivell d'aportació de llum natural superior al 60%, es preveu un consum elèctric de només 5 a 9 kWh/m²-any.

$$VEEI = 6 \cdot \frac{100}{500} = 2,1 \left[\frac{W}{m^2 \cdot 100lux} \right] \qquad VEEI = 11 \cdot \frac{100}{500} = 2,2 \left[\frac{W}{m^2 \cdot 100lux} \right]$$

Sistemes d'il·luminació
eficient. Escola
Primària a La Tour de
Salvigny, França.





5. La instal·lació elèctrica

5.1. Conceptes bàsics en la instal·lació elèctrica

És imprescindible conèixer la reglamentació i normativa vigent per a poder analitzar i estudiar una instal·lació elèctrica.

Per a determinar la potència de contractació d'una instal·lació elèctrica és necessari calcular:

- La potència instal·lada, que és la suma de totes les potències nominals de tots els receptors.
- La potència absorbida, que correspon a la potència útil, a partir de la potència instal·lada, tenint en compte els rendiments i el factor de potència ($\cos\varphi$) de totes les càrregues.

La potència instal·lada és igual a la suma de les potències nominals de tots els receptors de la instal·lació. Per tal de conèixer la potència total, cal referenciar les potències a les mateixes unitats. Hi ha fabricants que donen la potència absorbida, i d'altres que donen la potència activa.

La potència absorbida per un receptor o potència aparent és la potència total que el receptor rep de la xarxa, i que converteix en:

- Treball i pèrdues per escalfament.
- Potència fluctuant que utilitza per a crear els camps elèctrics i magnètics per a realitzar la seva funció.

La potència activa o nominal és la part de la potència absorbida que es transforma en treball i pèrdues per escalfament, o sigui la que necessita un motor, per exemple, per donar potència a l'eix, més el que es perd per escalfament.

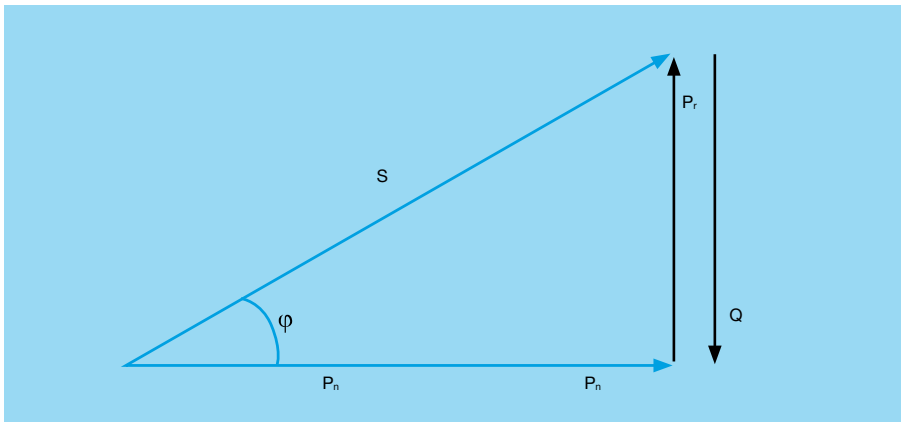


Figura 5.1. Correlació vectorial de les potències.

La potència fluctuant és la que s'utilitza per a crear els camps elèctrics i magnètics, i que fan funcionar la càrrega en qüestió que, per exemple, permet el moviment giratori d'un motor. Aquestes potències no se sumen aritmèticament. La potència activa i la fluctuant estan desfasades en 90°.

S = Potència aparent o absorbida (VA)

P_n = Potència activa = treball + pèrdues (W)

P_r = Potència fluctuant (inductiva)

Q = Potència reactiva (Var)

La potència reactiva seria la potència que caldria instal·lar per a compensar la potència fluctuant total perquè la potència aparent seria igual a l'activa.

$$S^2 = P_n^2 + P_r^2, S = \sqrt{P_n^2 + P_r^2} \quad S = \frac{P_n}{\cos \varphi}$$

Per a un motor, s'ha de considerar el rendiment η del motor:

$$S = \frac{P_n}{\cos \varphi}$$

Atès que no es fan servir tots els receptors al mateix temps i a la potència màxima, els factors d'utilització i de simultaneïtat permeten definir la potència d'utilització o de contractació.

Factor d'utilització k_u . Normalment, la potència que utilitza un receptor és menor que la seva potència nominal, en funció del règim de treball normal del receptor. El factor d'utilització s'aplica individualment a cada receptor. Per una instal·lació industrial s'adopta:

- Motors $k_u = 0,75$.
- Enllumenat i calefacció: $k_u = 1$.

El factor de simultaneïtat (k_s) s'aplica perquè no tots els receptors instal·lats funcionen al mateix temps. S'aplica al punt d'unió d'un conjunt de receptors o quadre de distribució corresponent.

Els factors de simultaneïtat es determinen en funció de les càrregues dels diferents equips i dels seus programes de treball. A la pràctica es calcula amb uns valors mitjans basats en l'experiència amb un marge de seguretat per a aplicar-los genèricament. El Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT) estipula alguns coeficients de simultaneïtat indicats a la normativa UNE i CEI, però no especifica els coeficients de simultaneïtat en les càrregues de serveis generals dels edificis.

$$FP = \frac{P(kW)}{S(kVA)} = \cos \varphi$$

Taula 5.1. Coeficients de simultaneïtat per als serveis generals.

Utilització	Coefficient de simultaneïtat (k_s)
Calefacció, refrigeració, il·luminació	1
Preses de corrent	0,1 a 0,2
Ascensors* i muntacàrregues	
- per al motor més potent	1
- per al següent	0,75
- per als altres	0,6

*El corrent que s'ha de prendre en consideració és el nominal del motor, si és més gran d'un terç del corrent d'engegada.

A títol d'orientació, la normativa francesa UTE dóna els factors representats en la taula 5.1.

El factor de potència (F o FP) d'una instal·lació és el quocient de la potència activa $P(W)$ consumida per la instal·lació, en relació amb la potència aparent $S(VA)$ subministrada a la instal·lació. És, per tant, la proporció de potència activa en la potència aparent.

El factor de potència coincideix amb el $\cos\varphi$, si la xarxa elèctrica no està distorsionada, o sigui que no tingui harmònics, ni desequilibris de fases, i variarà entre 0 i 1. Un factor de potència pròxim a 1 indica que la potència absorbida de la xarxa es transforma pràcticament tota en treball i pèrdues per escalfament, tenint un consum optimitzat.

Consumidors d'energia reactiva. Per poder realitzar un balanç de les potències instal·lades: potència total necessària, potència de contractació i tipus de contractació més adient, cal analitzar la forma de treballar dels receptors:

- Quan aquests treballen en règim normal.
- Durant les engegades (transitori de les arrancades).
- Segons els valors de simultaneïtat i ús.

L'anàlisi de les potències a instal·lar o instal·lades permet decidir:

- La potència de l'energia a contractar.
- La potència del transformador del centre de transformació de MT/BT.
- La potència que circularà pel quadre general de distribució (QGD).

La potència nominal (P_n) d'un motor correspon a la potència mecànica disponible sobre el seu eix. La potència absorbida (P_a) és la que subministra la línia i que correspon a la potència nominal (treball + pèrdues), més la potència fluctuant per crear el camp capaç de fer girar el motor. És funció de la potència nominal, del rendiment i del factor de potència del motor:

$$P_a = \frac{P_n}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

Per als **motors asíncrons** comandats per variadors de velocitat (convertidors de freqüència), es pot considerar un increment del 10% de la potència activa del motor. La intensitat absorbida es calcula mitjançant les fórmules següents:

Circuit monofàsic	Circuit trifàsic
$I_a = \frac{P_n}{U \cdot \eta \cdot \cos \varphi}$	$I_a = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \varphi}$

I_a , intensitat absorbida en ampers (A).

P_n , potència nominal útil en watts (W).

U_n , tensió nominal entre fases.

U_o , tensió nominal entre fase i neutre.

η , rendiment del motor.

$\cos\varphi$, factor de potència.

En general, per a un motor asíncron, la proporció d'energia reactiva respecte l'energia activa és d'un 65% al 75%.

Taula 5.2. Intensitat d'engegada dels motors asíncrons.

Tipus de motor	Intensitat d'engegada
Motors de gàbia (engegada directa)	$I_a = 4,2 \text{ a } 9 I_n$ (motors de 2 pols)
	$I_a = 4,2 \text{ a } 7 I_n$ (motors de més de 2 pols)
Motors d'anells (engegada directa)	$I_a = 1,5 \text{ a } 3 I_n$
Motors de corrent continu	$I_a = 1,5 \text{ a } 3 I_n$

Els motors de corrent continu són utilitzats en aplicacions específiques, caracteritzades per la necessitat de la variació de velocitat (vàlvules d'expansió electròniques, bombes de velocitat variable, ventiladors de velocitat variable, actuadors de control proporcional en vàlvules d'aigua o comportes d'aire...). La seva alimentació es realitza generalment mitjançant variadors de velocitat. Aquests no es defineixen per la seva intensitat eficaç nominal, sinó per la intensitat d'engegada i en funció de les freqüències d'engegada.

La intensitat d'engegada d'un motor ha de ser inferior a la capacitat de sobrecàrrega d'un variador i a les característiques de desconnexió de les seves proteccions. La intensitat mitjana que absorbeix es determina a partir dels cicles de treball i de les informacions dels constructors dels variadors. És funció de la intensitat d'engegada i de la freqüència de les seqüències d'engegada.

Elements de calefacció i làmpades incandescentes normals o halògenes

La potència absorbida per un element de calefacció a resistències o una làmpada incandescent és igual a la potència nominal (P_n) donada pel fabricant. El corrent absorbit és:

En càrrega monofàsica	En càrrega trifàsica
$I_a = \frac{P_n}{U}$	$I_a = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U}$

Les làmpades incandescentes amb presència de gasos halògens permeten rendiments d'il·luminació i vida superiors als normals (doble vida). Els corrents de punta a la connexió són:

- Làmpades: $I_p = 15 \text{ a } 20 I_n$.
- Resistències: $I_p = 2 \text{ a } 3 I_n$.

Làmpades fluorescents

La potència indicada als tubs fluorescents o fluorescents compactes no comprèn la potència absorbida pel balast, que es pot considerar amb un increment del 25% a la potència del tub.

Intensitat absorbida:

$$I_a = \frac{P_n + P_{(reactància)}}{U \cdot \cos \varphi}$$

Els corrents de punta són:

- Equips no compensats: $I_p = 1,1 \text{ a } 1,6 I_n$.
- Equips compensats: $I_p = 15 \text{ a } 20 I_n$ a causa de la punta de càrrega del condensador.

Les puntes de corrent s'han de tenir en compte quan es triïn les proteccions.

Làmpades de descàrrega

La potència en watts indicada sobre una làmpada de descàrrega no comprèn la potència absorbida pel balast (reactància), que és de l'ordre del 5 al 20% de la potència de la làmpada. El principi de funcionament és la descàrrega elèctrica en un recipient cristal·lí estanc omplert amb un gas o vapors metàl·lics a una pressió determinada. Les puntes de corrent a la connexió són del següent ordre:

- Làmpades sense compensar: 1,1 a 1,7 de la intensitat nominal I_n .
- Làmpades compensades: considerar punta de càrrega del condensador > 15 a $20 I_n$.

Les làmpades de descàrrega són sensibles a les baixades de tensió. Una baixada del 50% produeix un desencebament (apagada), que es torna a encendre passat un període de refredament de l'ordre de 4 minuts.

Altres elements: transformadors, convertidors estàtics (rectificadors)

Els transformadors consumeixen entre un 5% i un 10% d'energia reactiva amb relació a l'energia activa, valor força inferior si es compara amb les proporcions per a un motor asíncron (65 al 75%).

Quadres resum per a càlcul de potències i factors de potència

Circuit	S (potència aparent)	P (potència activa)	Q (potència reactiva)
Monofàsic (fase-neutre)	$S=U_0 \cdot I$	$S=U_0 \cdot I \cos \varphi$	$S=U_0 \cdot I \sin \varphi$
Bifàsic (2 fases)	$S=U \cdot I$	$S=U \cdot I \cos \varphi$	$S=U \cdot I \sin \varphi$
Trifàsic (3 fases o f-n)	$\sqrt{3} U \cdot I$	$\sqrt{3} U \cdot I \cos \varphi$	$\sqrt{3} U \cdot I \sin \varphi$

Taula 5.3. Càlcul de les potències.

Aparell		cos φ
Motor asíncron càrrega al:	0%	0,17
	25%	0,55
	50%	0,73
	75%	0,80
	100%	0,85
Làmpades incandescents		1
Tubs fluorescents	tubs no compensats	0,5
	tubs compensats	0,86 a 0,93
	amb balast electrònic	0,96
Làmpades de descàrrega		0,4 a 0,6
Làmpades fluorescents compactes	de globus-balast inductiu	0,5
	electròniques amb encebador	0,95
	incorporat, sense balast:	
	tipus simple	0,35
	tipus doble	0,45
Forns de resistències		1
Forns d'inducció amb compensació incorporada		0,85
Forns d'escalfament dielèctric		0,85
Forns d'arc		0,8
Màquines de soldar de resistència		0,8 a 0,9
Transformadors -rectificadors de soldadura per arc		0,7 a 0,9

Taula 5.4. Factor de potència de les càrregues més usuals.

5.2. Compensació de la potència reactiva en xarxes no distorsionades

Les xarxes o instal·lacions elèctriques no distorsionades són aquelles en què hi ha absència d'harmònics i, per tant, les potències estan relacionades amb la component fonamental de 50Hz. En aquest tipus de xarxes els conceptes de compensació del factor de potència o millora del $\cos\phi$ són termes sinònims.

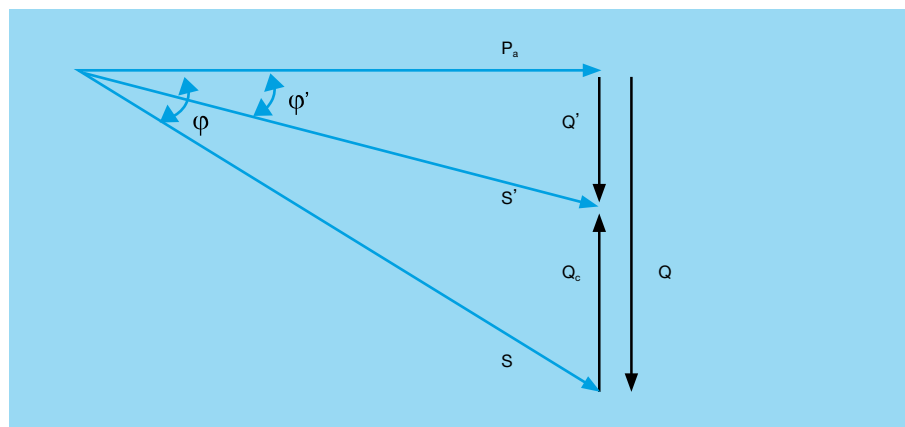
La potència reactiva és una potència purament fluctuant que absorbeixen de manera momentània els receptors durant una part del cicle i la tornen a la xarxa, de manera que no representa un consum net. No obstant, si hi ha un corrent extra (corrent de reactiva), el corrent total és més gran que l'estrictament necessari per a obtenir el treball útil, produint pèrdues innecessàries a la instal·lació i obligant a un dimensionat més gran de generadors i línies de transport.

La millora del factor de potència mitjançant la compensació de l'energia reactiva és una pràctica molt positiva i comporta dos tipus d'avantatges. Tècnicament, optimitza el dimensionament de la instal·lació, evitant haver de sobredimensionar els elements i optimitzar la utilització de l'energia i, econòmicament, redueix el preu dels termes de potència i d'energia.

5.2.1. Conceptes bàsics en compensació de la potència reactiva

La millora del factor de potència d'una instal·lació consisteix en instal·lar un condensador o una bateria de condensadors de potència Q_c al costat del consumidor d'energia reactiva. La potència de la bateria de condensadors a instal·lar es calcula a partir de la potència activa de la càrrega (P_a en W) i el seu desfasament respecte la tensió i corrent abans de la compensació (ϕ) i després de la compensació (ϕ').

Figura 5.2. Esquema del principi de la compensació.



El fet d'instal·lar una bateria de condensadors generals és un mètode simple d'assegurar un bon factor de potència. La figura 5.2. il·lustra el principi de compensació de la potència reactiva Q d'una instal·lació, a un valor Q' per la connexió d'una bateria de condensadors de potència Q_c . L'actuació de la bateria aconsegueix que la potència aparent S passi al valor S' .

5.2.1.1. Possibilitats de compensació

Per a compensar l'energia reactiva s'utilitzen condensadors connectats en paral·lel amb les càrregues que generen aquesta energia. La connexió es fa en borns de les càrregues inductives (motors, transformadors, reactàncies...).

La compensació de l'energia reactiva es pot realitzar amb condensadors fixos, però normalment es realitza amb bateries de condensadors amb regulació automàtica. Els equips de regulació automàtica o bateries automàtiques, permeten ajustar permanentment la compensació en funció de la càrrega.

Des del punt de vista de l'eficiència, els condensadors de compensació s'haurien de connectar el més propers possible a les càrregues que generen la reactiva, però en general s'acostuma a agrupar la compensació de diverses càrregues.

Característiques de la compensació amb condensadors fixos:

- Instal·lació de comandament manual per interruptor.
- També es fa el comandament semiautomàtic mitjançant contactor.
- La instal·lació sol ser directa en born del receptor.
- L'emplaçament pot ser tant en borns de la càrrega com sobre l'embarat que alimenta diverses càrregues inductives, i on una compensació individual seria massa cara.

Característiques de la compensació amb condensadors de regulació automàtica:

- L'emplaçament de les bateries és en borns de l'alimentació general o en els embarats dels quadres de distribució de grans potències.

La compensació automàtica té com a principal avantatge, front a la fixa, que permet adaptar la compensació a la variació de càrrega.

La localització de condensadors de baixa tensió sobre una xarxa elèctrica constitueix un inici de disseny de xarxa moderna.

La compensació d'una instal·lació es pot dur a terme de diferents maneres: global, parcial o individual.

La **compensació global** és adequada quan la càrrega és estable i continua. La bateria es connecta a la capçalera de la instal·lació, assegurant una compensació global de la instal·lació.

La **compensació parcial** és aconsellable quan la distribució de càrregues és molt desequilibrada i una càrrega important depèn d'un quadre de distribució. La bateria es connecta al quadre de distribució i genera l'energia reactiva necessària per a compensar un grup de càrregues determinades.

La **compensació individual** és aconsellable quan hi ha càrregues molt importants amb relació a la càrrega total. És el tipus de compensació que aporta més avantatges. La bateria es connecta als borns d'una càrrega molt important (motor de gran potència, forn elèctric...). La potència en KVAR representa entorn del 25% dels KW de la càrrega. És important poder compensar el més a prop possible de la font d'energia inductiva.

La instal·lació d'una bateria de condensadors als borns d'un transformador pot evitar el canvi d'un transformador per una senzilla ampliació de càrrega.

La potència activa disponible en el secundari d'un transformador és més gran a mesura que el factor de potència s'acosta al màxim $\cos\phi$.

L'energia reactiva que consumeix un transformador no és menyspreable (de l'ordre del 5%). Pot ser subministrada per una bateria de condensadors.

La compensació individual als borns d'un motor asíncron s'ha de considerar, sobretot, quan la potència del motor és important amb relació a la potència total de la instal·lació.

Precaució: el factor de potència dels motors és molt baix en buit o amb poca càrrega. Caldrà doncs evitar treballar en aquestes condicions si no hi ha compensació.

Connexió: la bateria es pot connectar als borns del motor.

Enggada: si el motor engega amb l'ajuda d'un aparellatge especial (resistència, inductància, dispositius estrella-triangle, autotransformador), la bateria de condensadors no s'ha de posar en servei fins que no acabi el servei d'enggada.

Motors especials: no es recomana compensar els motors pas a pas o de dos sentits de marxa.

Taula 5.5. Avantatges i inconvenients dels diferents tipus de compensació.

Avantatges	Tipus de compensació		
	global	parcial	individual
Els nivells de consum propis de la instal·lació permeten dimensionar una mínima potència de la bateria i un màxim d'hores de funcionament. Això permet una amortització ràpida.			
Disminueixen, en una gran part de la instal·lació, les pèrdues per escalfament.			
Suprimeix les penalitzacions per energia reactiva en el rebut de l'energia elèctrica.			
Disminueix la potència aparent, acostant-la a la potència activa.			
Optimitza el rendiment del transformador de subministrament.			
Optimitza la instal·lació aigües amunt de la col·locació dels compensadors.			
Optimitza la major part de la instal·lació.			
Inconvenients	global	parcial	individual
El corrent reactiu circula per tota la instal·lació.			
Hi ha circulació de corrent reactiu a certs nivells de la instal·lació (aigües avall dels compensadors).			
Les pèrdues per escalfament (Joule) es mantenen i no permeten una reducció del seu dimensionat aigües avall de la instal·lació de la bateria.			
Les pèrdues per escalfament es mantenen aigües avall de la col·locació dels compensadors.			
Elevat cost d'instal·lació. Només és rendible amb càrregues molt inductives i regulars.			

Potència aparent i activa (en funció del factor de potència)
dels transformadors usuals al mercat

cos φ	Potència aparent nominal del transformador (kVA)											
	100	160	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000
1	100	160	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000
0,98	98	157	245	309	392	490	617	784	980	1.225	1.568	1.960
0,96	96	154	240	302	384	480	605	768	960	1.200	1.536	1.920
0,94	94	150	235	296	376	470	592	752	940	1.175	1.504	1.880
0,92	92	147	230	290	368	460	580	736	920	1.150	1.472	1.840
0,90	90	144	225	284	360	450	567	720	900	1.125	1.440	1.800
0,88	88	141	220	277	352	440	554	704	880	1.100	1.408	1.760
0,86	86	138	215	271	344	430	541	688	860	1.075	1.376	1.720
0,84	84	134	210	265	336	420	529	672	840	1.050	1.344	1.680
0,82	82	131	205	258	328	410	517	656	820	1.025	1.312	1.640
0,80	80	128	200	252	320	400	504	640	800	1.000	1.280	1.600
0,78	78	125	195	246	312	390	491	624	780	975	1.248	1.560
0,76	76	122	190	239	304	380	479	608	760	950	1.216	1.520
0,74	74	118	185	233	296	370	466	592	740	925	1.184	1.480
0,72	72	115	180	227	288	360	454	576	720	900	1.152	1.440
0,70	70	112	175	220	280	350	441	560	700	875	1.120	1.400

Taula 5.6. Potència activa en kW que pot subministrar un transformador a plena càrrega en funció del factor de potència cos φ.

5.2.1.2. Equips de compensació



Exemple de bateria de regulació automàtica



Equip de compensació de reactiva de BT



Bateries de regulació automàtica



Condensadors per la compensació de reactiva en BT



Condensadors per compensar reactiva en MT



Equip de compensació de reactiva de MT

Figura 5.3. Diferents compensadors de potència reactiva comercials.

5.2.1.3. Reguladors de potència reactiva

Els reguladors d'energia reactiva mesuren el factor de potència d'una determinada instal·lació i controlen la connexió i desconnexió dels grups de condensadors de la xarxa amb l'objectiu de mantenir el $\cos\phi$ proper a la unitat.

Actualment la major part de reguladors estan basats en un microprocessador, que permet, a més de la funció bàsica de regular el factor de potència, una sèrie de funcions addicionals com és la lectura del $\cos\phi$, indicar la distorsió harmònica o THD (Total Harmonic Distortion), l'actuació d'alarmes per harmònics, etc.

5.2.1.4. Compensadors estàtics

A les instal·lacions on les fluctuacions de càrrega són importants i ràpides, la connexió i desconnexió d'esglaons a partir de contactors no permet actuar tan ràpid com es voldria per tenir en cada moment la compensació necessària. En aquests casos la solució idònia consisteix en aplicar contactors estàtics a base de tiristors per a connectar i desconnectar els condensadors.

S'obtenen els avantatges següents:

- Connexió del condensador sense transitori d'arrencada. La connexió es produeix en el precís moment en què la tensió de xarxa coincideix amb la del condensador.
- Desconnexió del condensador sense transitori. La desconnexió es produeix en el pas per zero del corrent.
- Cadència de maniobres il·limitada. Les dues condicions anteriors fan que els temps entre connexions i desconnexions successives puguin ser un cicle de xarxa.
- Resposta immediata a la demanda de compensació.
- Menor desgast dels condensadors i dels interruptors de maniobra. Això és conseqüència de l'eliminació de transitoris i de l'absència de parts mecàniques mòbils.

Pertorbacions en la xarxa elèctrica que alimenta un edifici o instal·lació

La causa principal de la distorsió de la tensió de xarxa són les pròpies càrregues, per la seva forma de funcionar en les arrancades i parades, per la commutació de corrents importants entre diversos circuits, fet que dona caigudes de tensió a les impedàncies del sistema.

Altres vegades, les causes de pertorbació són externes, les més comunes són les pertorbacions atmosfèriques i elevacions de potencial del terra.

Hi ha fenòmens de compatibilitat electromagnètica (EMC), associats a pertorbacions d'alta freqüència en circuits electrònics que inclouen també pertorbacions generades i propagades per la xarxa d'alimentació.

Per resoldre els problemes de pertorbacions que es puguin tenir en la xarxa d'alimentació cal fer un bon diagnòstic, doncs és habitual que hi hagi diversos tipus de pertorbacions junts amb efectes barrejats.

Classificació de les pertorbacions de xarxa.

Els principals paràmetres de la xarxa que es poden veure alterats per algun tipus de pertorbació són (norma EN-50.160):

- Freqüència.
- Amplitud.
- Forma d'ona.
- Simetria del sistema trifàsic.

Aquests paràmetres poden veure's afectats de manera transitòria o periòdica. La seva durada pot ser de fraccions de cicle i fins a varis períodes, segons o minuts.

Algunes definicions bàsiques són les següents:

- Pertorbació conduïda: fenomen electromagnètic propagat a través de les línies de distribució.
- Variacions de freqüència: alteració de la freqüència de xarxa, mesurada generalment en mitjanes de 10 segons.
- Variacions de tensió (lentes): augment o disminució del valor eficaç degut a fluctuacions de la càrrega. Se solen mesurar en promitjos de 3 segons. En distribució s'exigeix mantenir la tensió en un 610% durant un 95% del temps.
- Variacions ràpides de tensió: canvi del valor eficaç, mantingut durant un temps indefinit i sense cap cadència coneguda de repetició. Aquestes pertorbacions estan dins els fenòmens EMI (Electromagnetic Interferences), provocats per fallades en l'electrònica de control.

Transitoris (pic i buits): són pics d'oscil·lació causats per la connexió-desconnexió de càrregues inductives o capacitives, o per descàrregues atmosfèriques. Aquestes pertorbacions s'anomenen també "paràsits" o EMI. S'han de mesurar amb oscil·loscopis o registradors que permetin veure la forma d'ona.

- Buits: són disminucions del valor eficaç, compresos entre el 90% i l'1% de durada des de mig cicle a un minut.
- Interrupció curta: són baixades de tensió fins a un valor inferior a l'1% de la tensió nominal i de durada de mig cicle a un minut.
- Fluctuacions de tensió: canvis del valor eficaç (envolvent de l'amplitud), que es repeteixen periòdicament.
- Microtall: s'aplica com a sinònim d'interrupció curta amb durada d'uns mil·lisegons.
- Flicker: sensació de parpelleig de l'enllumenat degut a fluctuacions de tensió entre 0,5Hz i 25Hz.
- Harmònics: variacions d'amplitud periòdiques amb freqüències múltiples de la fonamental de 50 o 60Hz.
- Interharmònics: variacions d'amplitud periòdiques amb freqüències no múltiples de la fonamental.
- Desequilibri de tensions: en un sistema trifàsic, condició en què els valors eficaços de tensió de les 3 fases no són iguals, o els angles entre fases consecutives són diferents.

Harmònics

Els harmònics són les pertorbacions més importants que afecten la forma d'ona. Són pertorbacions de freqüència relativament baixa, fins a uns 2.500 Hz. Són responsables del sobreescalfament de transformadors i línies de distribució. Originen corrents i pèrdues elevades en la fase neutre d'algunes instal·lacions, descàrregues per sobreintensitat en algunes proteccions, o de relés diferencials.

L'origen dels harmònics són les càrregues no lineals. Una càrrega no és lineal si en aplicar una tensió sinusoidal respon amb un corrent que no és sinusoidal. Així, les càrregues no lineals connectades a la xarxa de corrent alterna sinusoidal absorbeixen corrents que no són sinusoidals, encara que siguin periòdiques.

Exemples típics de càrregues no lineals:

- Convertidors estàtics com: rectificadors, reguladors de velocitat, arrencadors, estàtics, carregadors de bateries...

- Equips electrònics monofàsics, que treballen internament amb corrent continu i que disposen de rectificador i filtre de condensador a l'entrada: ordinadors, impressores, autòmats programables...
- Instal·lacions d'il·luminació amb làmpades de descàrrega.
- Forns d'arc i equips de soldadura.
- Transformadors, reactàncies amb nucli de ferro, o sigui amb corba de magnetització no lineal.

Efecte dels harmònics

Els principals efectes dels harmònics sobre la xarxa són un augment de manera innecessària de la potència que s'ha de transportar (potència fluctuant) i, per tant, empitjora el factor de potència. Els harmònics són els responsables que cables i transformadors de les xarxes de distribució resultin insuficients per a transportar una determinada potència útil i que s'hi produeixin pèrdues innecessàries que es tradueixen en escalfament de cables, transformadors, interruptors i altres elements de distribució.

5.2.2. Recomanacions en compensació d'energia reactiva

5.2.2.1. Optimització de les característiques tècniques

Els principals avantatges tècnics són:

- Augment de la capacitat de les línies i transformadors. La instal·lació de condensadors aigües avall d'un transformador de potència que alimenta una instal·lació amb un $\cos\phi$ baix permet augmentar la potència activa disponible i, per tant, permet incrementar la càrrega de la instal·lació sense canviar el transformador / la instal·lació d'un transformador inferior.
- Disminució de les pèrdues dels cables. Les pèrdues en un conductor són proporcionals a la intensitat. La intensitat d'alimentació d'una càrrega és la intensitat total aparent. Quant més baix és el $\cos\phi$, més propera és la intensitat total aparent a la intensitat activa que és menor i, per tant, les pèrdues pel conductor seran menors.
- Millorar la tensió de xarxa. Disminució de la caiguda de tensió per reduir la intensitat.

5.2.2.2. Optimització de les característiques econòmiques

El sistema tarifari espanyol (mercat regulat, segons el RD 1634/2006) té en compte bonificacions i recàrrecs per energia reactiva, aplicables sobre els imports dels termes de potència i energia. El valor percentual Kr a aplicar a la facturació bàsica es determina segons la fórmula següent:

si: $0,90 \leq \cos\phi \leq 1$	$Kr(\%) = \frac{37,026}{\cos^2\phi} - 41,026$	
si: $0,90 \leq \cos\phi = 0,95$	$Kr(\%) = 0$	
si: $\cos\phi < 0,95$	$Kr(\%) = \frac{29,16}{\cos^2\phi} - 36$	amb un màxim de 50,7% de recàrrec.

No s'apliquen recàrrecs superiors al 50,7%, ni descomptes superiors al 4%. A mercat lliure, el recàrrec d'energia reactiva ve donat pel RD 1164/2001 (metodologia per a cada període horari).

$\cos \varphi$	Recàrrec (%)	Descompte (%)
1,00	-	4,0
0,97	-	1,7
0,95	0,0	0,0
0,90	0,0	0,0
0,85	4,4	-
0,80	9,6	-
0,75	15,8	-
0,70	23,5	-
0,65	33,0	-
0,60	45,0	-
0,58	50,7	-

Taula 5.7. Recàrrecs i bonificacions en funció del $\cos \varphi$.

Factor de potència	€/kVArh (valors s/RD 1634/2006)
$0,90 \leq \cos \varphi < 0,95$	0,000010
$0,85 \leq \cos \varphi < 0,90$	0,012673
$0,80 \leq \cos \varphi < 0,85$	0,025346
$\cos \varphi \leq 0,80$	0,038019

Taula 5.8. Recàrrecs d'energia reactiva a mercat lliure.

5.3. Energia solar fotovoltaica

5.3.1. Conceptes bàsics en fotovoltaica

La tecnologia fotovoltaica permet convertir directament la llum en electricitat. Les aplicacions d'aquesta tecnologia al medi edificat van des de serveis en vies de comunicacions, senyalització o bombeig d'aigua fins a l'electrificació de pobles aïllats i la producció i venda d'electricitat a la xarxa de distribució.

Els elements principals d'una instal·lació fotovoltaica són els mòduls fotovoltaics exposats a la radiació solar, l'inversor o ondulador, que converteix l'electricitat produïda pels mòduls fotovoltaics de corrent continu en corrent altern, un conjunt de proteccions de seguretat, el comptador d'energia elèctrica i els elements auxiliars.

La producció elèctrica d'una instal·lació fotovoltaica depèn directament de la quantitat i l'angle d'incidència dels rajos solars que reben els mòduls fotovoltaics. En aquest sentit, són d'especial importància l'orientació del camp fotovoltaic així com la seva inclinació. Per a obtenir màxims resultats en la latitud de Catalunya, el camp està inclinat 35° respecte la horitzontal i orientat directament a Sud (punt més fosc a la figura 5.4). Tot i així, com mostra la figura 5.4, les variacions a aquesta disposició són perfectament tolerables dins uns límits. Per exemple, una inclinació de només 15° , orientació Sud, o una inclinació de 40° amb una orientació de 30° cap a l'Oest o l'Est comporten una disminució de producció elèctrica inferior al 5%. En tot cas es recomana una mínima inclinació superior a 15° per minimitzar la disposició d'objectes com fulles, etc. i assegurar que la pols que es diposita sobre els mòduls sigui arrossegada per la pluja.

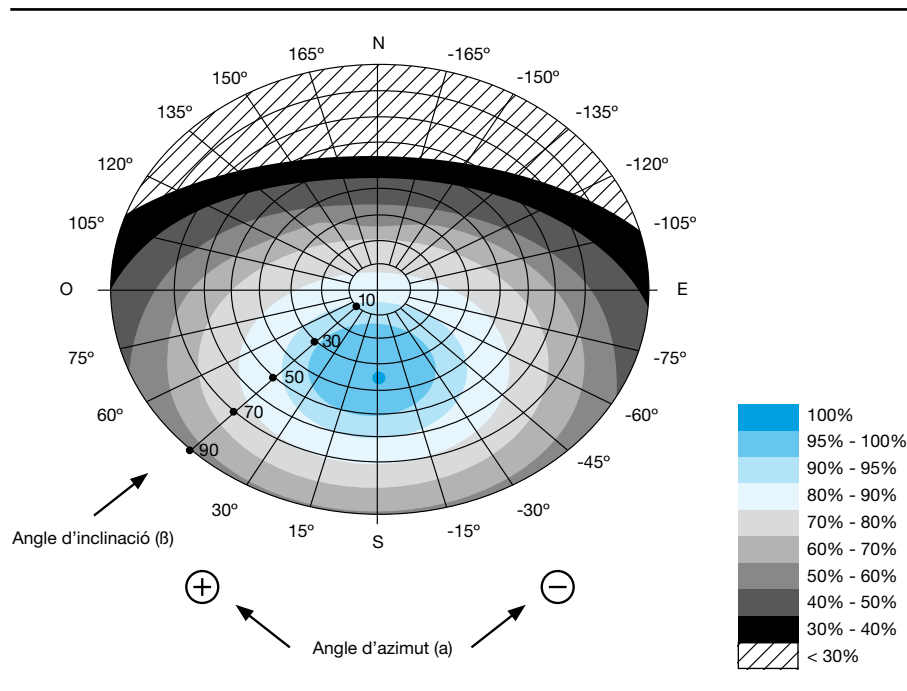
Possibilitats d'integració arquitectònica. El tipus d'instal·lació més habitual en l'entorn urbà a Catalunya, sobretot quan la instal·lació es realitza posteriorment a la construcció de l'edifici, és la ubicació del camp fotovoltaic sobre una estructura metàl·lica a coberta plana, ja que permet orientar i inclinar els mòduls lliurement. Hi ha, però, molts sistemes i possibilitats d'integració arquitectònica, sigui en forma de proteccions solars fixes o sobre lames, voladissos, mòduls semitranslúcids en façanes verticals o inclinades de vidre, lluernes, etc. És especialment avantatjós econòmicament que els mòduls fotovoltaics substituïxin l'acabat exterior de l'edifici, com en façanes cortines, integració en cobertes inclinades, o capes impermeables flexibles amb integració de cèl·lules fotovoltaïques. En edificis de nova construcció, amb vista a aconseguir una integració òptima d'una instal·lació FV, cal concebre-la com un principi del projecte de l'edifici, com un argument més del projecte arquitectònic que permet resoldre una coberta o una façana.

Obligació d'instal·lació. El Codi Tècnic de l'Edificació estableix l'obligatorietat d'instal·lar sistemes d'energia solar fotovoltaica a partir d'una mínima superfície de nova edificació, així com per a rehabilitacions.

La potència a instal·lar es defineix en funció de la superfície, la zona climàtica i coeficients definits d'acord amb l'ús de l'edifici. Com a exemple, la taula 5.9 mostra potències a instal·lar per a usos típics d'edificis públics a les diferents zones climàtiques de Catalunya.

Cost. El preu de generació d'electricitat d'una instal·lació solar fotovoltaica a Catalunya, sense tenir en compte el finançament de la inversió, es troba entorn de 0,20 €/kWh (front els 0,06 €/kWh actuals del *pool* elèctric). En aquest sentit, actualment una instal·lació fotovoltaica resulta econòmicament inviable si es pot accedir a la xarxa de distribució elèctrica, que és el cas de tots els entorns urbans de Catalu-

Figura 5.4. Disminució de la radiació solar sobre una superfície en funció de l'azimut i la inclinació. Font: CTE.



nya. D'altra banda, amb l'objectiu d'augmentar la fracció de generació elèctrica per energies renovables, diferents reials decrets obliguen, des del 1998, les entitats distribuïdores d'energia elèctrica a comprar l'electricitat que generen les instal·lacions fotovoltaïques en l'anomenat "Règim especial" a un preu preferent. Aquest preu, que es revisa periòdicament, està indexat al preu d'electricitat i permetia una amortització de la inversió inicial d'una instal·lació fotovoltaïca connectada a xarxa en edificis entre 12 i 16 anys, aproximadament.


Superfície. Amb una inclinació i orientació òptima, amb uns mòduls fotovoltaïcs de bona qualitat, es necessita aproximadament 8 m² per kW instal·lat. Si es tracta d'una instal·lació sobre marcs inclinats en una coberta plana, tenint en compte la distància entre mòduls per evitar la projecció d'ombres d'un mòdul a l'altre, la superfície horitzontal ocupada per un kW instal·lat és aproximadament de 15 m².

Energia. L'energia generada per una instal·lació fotovoltaïca amb inclinació i orientació òptima a Catalunya se situa entorn dels 1.200-1.250 kWh anuals per kW instal·lat.

Ús	Límit mínim d'aplicació
Hospitals	100 llits
Administratiu	4.000 m ² superfície construïda
Naus industrials i magatzems	10.000 m ² superfície construïda

Taula 5.9. Límits mínims d'aplicació de sistemes d'energia solar fotovoltaïca en funció de l'ús de l'edifici.

Província	Comarca	Zona climàtica
Girona	Totes les comarques	III
Lleida	Totes les comarques	III
Barcelona	Anoia, Bages, Osona, Vallès Occidental i Vallès Oriental	III
	Altres comarques	II
Tarragona	Baix Penedès, Tarragonès	III
	Altres comarques	IV



Taula 5.10. Límits mínims d'aplicació de sistemes d'energia solar fotovoltaïca en funció de la zona climàtica.

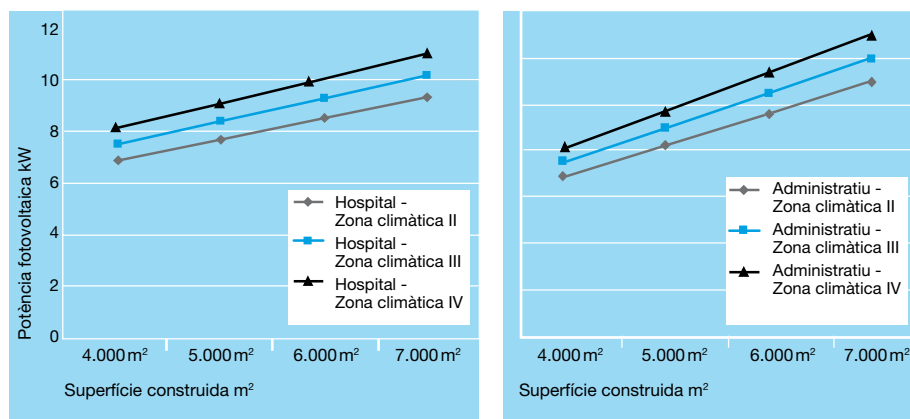


Figura 5.5. Potència fotovoltaïca a instal·lar segons superfície construïda i zona climàtica per a hospitals i edificis administratius a Catalunya.

Emissions estalviades. La producció d'aquesta energia anual evita l'emissió d'entre 280 kg CO₂ (partint del mix elèctric català-0,23 kg CO₂/kWh) i 580 kg CO₂ (partint del mix elèctric espanyol-0,464 kg CO₂/kWh), així com quantitats importants d'altres emissions com diòxid de sofre o de nitrogen.

Cicle de vida. L'energia emprada per a fabricar mòduls fotovoltaics és equivalent a l'energia generada en un termini d'aproximadament 4 anys. En vista a una vida útil molt superior als 25 anys (la majoria de fabricants donen garanties del 80% de la potència fotovoltaica per aquest termini), els mòduls produeixen més de sis vegades l'energia utilitzada per a produir-los.

5.3.2. Recomanacions en instal·lacions fotovoltaiques

5.3.2.1. Sistema

- Comprovar la superfície disponible a l'edifici apta per a col·locar mòduls fotovoltaics, sigui sobre la coberta, en forma de pèrgola, proteccions solars o com a mobiliari urbà entorn d'un edifici; en tot cas lliure d'ombres i amb una orientació i inclinació adequada dins uns marges establerts.
- Comprovar l'actual legislació sobre preus de venda de l'electricitat generada a la xarxa de distribució.

5.3.2.2. Manteniment

- Establir un programa de revisió periòdica del bon funcionament de la instal·lació: indicadors de producció del display de l'onduador, inspecció visual i eliminació de fulles, molsa, etc. del camp fotovoltaic, etc.
- Establir un programa de neteja periòdica del camp fotovoltaic amb aigua i fregall, si s'escau, sobretot en èpoques de sequera.
- Establir un programa de manteniment preventiu de comprovació de l'estat de les connexions elèctriques, onduldors, terres, etc.

5.3.2.3. Ús

Conscienciar el personal de l'edifici així com els usuaris i visitants de l'existència de la instal·lació fotovoltaica i del seu impacte positiu sobre el medi ambient.

- Instal·lar un sistema de visualització de la producció energètica i de les emissions evitades en temps real en una zona freqüentada de l'edifici.
- Oferir visites guiades a la instal·lació fotovoltaica.

5.3.3. Bones pràctiques en instal·lacions fotovoltaïques

Edifici administratiu de la Universitat de Southampton, Regne Unit

L'edifici de nova construcció es comunica amb un edifici anterior per un gran atri. Una instal·lació fotovoltaïca de 177 m² amb una potència de 14 kW es troba integrada a la coberta transparent d'aquest atri i permet reduir la radiació directa en aquest espai. Al mateix temps, aquesta integració arquitectònica permet una màxima visibilitat de la tecnologia al públic universitari. L'energia generada d'aproximadament 11.500 kWh per any és autoconsumida per l'edifici abastint entorn d'un terç de la demanda elèctrica. Els caps de setmana, l'energia no consumida al propi edifici s'exporta directament a altres centres universitaris propers dins una xarxa elèctrica pròpia.

Aquesta mateixa potència instal·lada a Catalunya produiria aproximadament 16.800 kWh anuals i evitaria l'emissió de 7.800 kg CO₂ per any.



Sistemes d'energia fotovoltaïca.
Edifici administratiu de la
Universitat de Southampton,
Regne Unit.



6. Sistemes de regulació i control

6.1. Conceptes bàsics en sistemes de regulació i control

6.1.1. Objectiu de la instal·lació de sistemes de 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 (instal·lació) determinat. L'objectiu d'un sistema de control és poder realitzar quatre tipus diferents de funcions:

1. Mantenir unes condicions de disseny. Els controladors mantenen el sistema en les condicions per les quals ha estat dissenyat (temperatura, humitat), en un espai determinat.

Així, si el sistema s'ha de mantenir a una determinada temperatura, el sistema de control ha de regular la quantitat de calor o fred que ha de donar al sistema per tal de compensar les pèrdues o guanys d'energia tèrmica i donar així a l'edifici la temperatura a la qual està previst que es mantingui.

2. Reducció de mà d'obra. El control redueix la quantitat de mà d'obra necessària per a fer funcionar i mantenir els sistemes d'un edifici, reduint també així els costos d'explotació i els errors humans. Així, per exemple, el control pot estar dissenyat per a realitzar l'encesa/apagada programada d'equips o circuits perquè no sigui necessari que el personal ho faci de manera manual diàriament (obrir una comporta que permeti l'entrada d'aire fresc exterior).

3. 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.

4. Mantenir els equips operatius dins 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.

6.1.2. Conceptes bàsics en sistemes de control

6.1.2.1. Sistemes de control: llaç obert i llaç tancat

En un sistema de control de llaç obert, l'acció de control és independent de la sortida. No es recull informació del resultat obtingut, no es compara en cap moment la sortida desitjada (per exemple temperatura d'una sala) amb alguna entrada desitjada (temperatura de consigna). No hi ha cap entrada de referència que sigui una constant. El regulador R , per exemple, regula la temperatura d'impulsió d'aigua (T_{im}) en

funció de la temperatura exterior (T_{ext}), però no té en compte la temperatura de la sala, que és el paràmetre d'interès principal.

En un sistema de control de llaç tancat, l'acció de control depèn de la sortida. L'entrada es compara amb la sortida per donar un senyal d'error. Aquests sistemes s'anomenen 'retroalimentats' o sistemes de control en *feedback*. El regulador R, per exemple, compara una entrada desitjada que és constant (temperatura de consigna) amb la sortida que és la temperatura de sala, que és la variable objectiu del control.

Figura 6.1. Sistema de control de llaç obert.

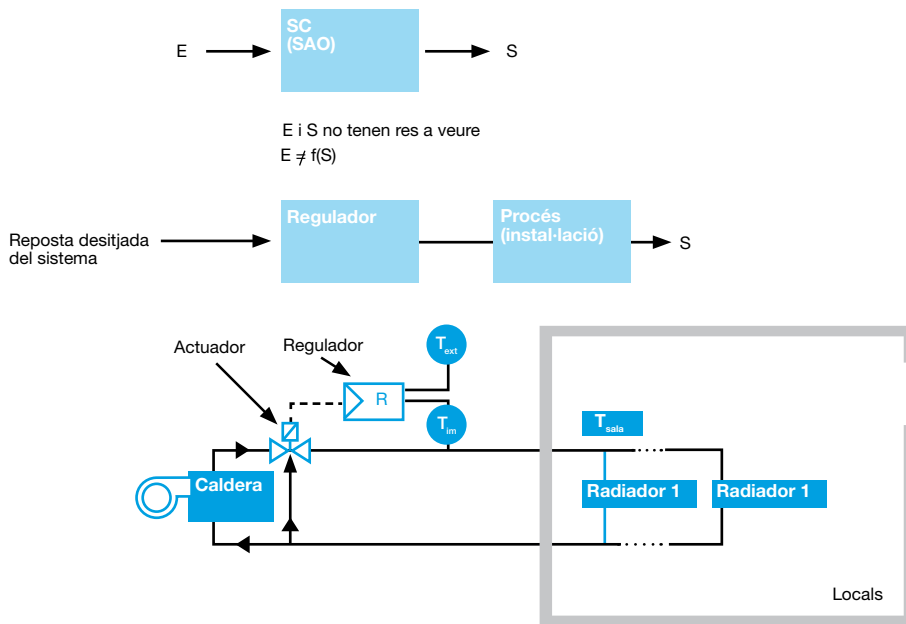
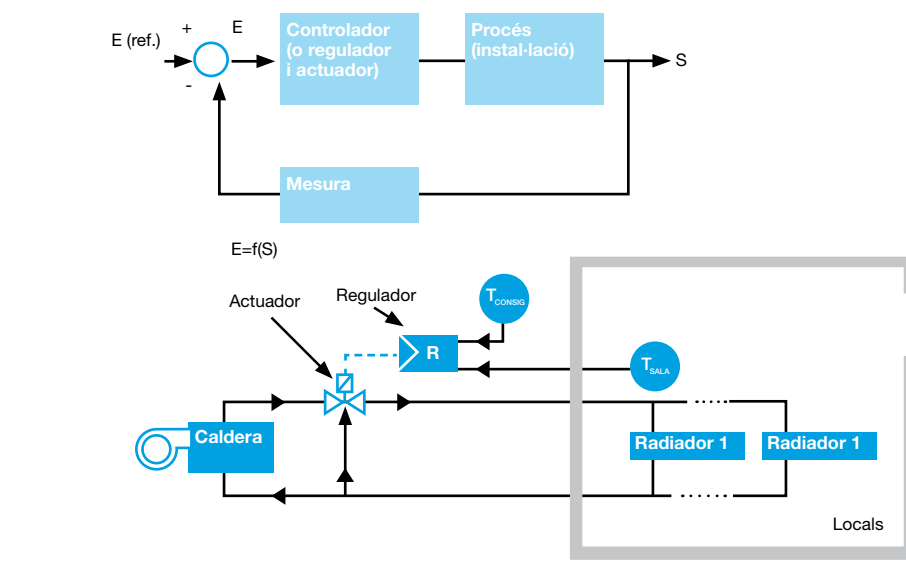


Figura 6.2. Sistema de control de llaç tancat.



6.1.2.2. Descripció dels components d'un llaç de control

El llaç de control és un anell format per la unió de les tres parts bàsiques d'un sistema de control: sensor, controlador i actuador.

El sensor és l'element sensible o dispositiu que mesura una magnitud física que varia i que es pretén mantenir dins el marge d'uns valors, per exemple, temperatura, humitat, pressió, velocitat, etc. El camp dins el qual el sensor pot mesurar s'anomena rang d'un sensor, per exemple: temperatura: -10 a +100°C, humitat relativa: 0 a 100%, pressió: 0 a 5 bar. Tots els sensors basen el seu funcionament en una propietat física (normalment elèctrica), la qual varia en funció de la magnitud de la variable que es mesura i controla (temperatura, humitat, pressió...).

Els termistors o NTC són resistències (de material semiconductor) que varien inversament en funció de la temperatura (de forma no lineal). Les PT100 són resistències (de platí) que varien directament amb la temperatura de manera lineal i que a 0°C la seva resistència és 100 Ω . Els termoparells mesuren temperatures segons l'efecte termoelèctric en què, en escalfar o refredar la unió de dos metalls diferents, es genera un voltatge (efecte Seebeck). La mesura de pressió s'acostuma a fer amb sensors de tipus piezoelèctric, en què una pressió sobre un cristall de silicó dona canvis elèctrics.

El controlador és l'element que rep el valor o senyal del sensor i compara aquest senyal amb un valor objectiu per a ordenar l'actuació en la mesura necessària. L'actuació és funció de la desviació o comparació entre el punt de consigna i la mesura variable. Hi ha els tipus següents de controladors classificats segons:

- Tipus de control.
 - Tot o res.
 - Modulants.
- Tecnologia constructiva.
 - Elèctrics.
 - Pneumàtics.
 - Electrònics analògics.
 - Electrònics digitals (amb microprocessador).
- Capacitat de comunicació.
 - Sense possibilitats de comunicació.
 - Amb capacitat de comunicació.

L'actuador és l'element que realitza la correcció. Rep un senyal del controlador per moure un element final per tal d'obrir, tancar o modular vàlvules d'aigua, comportes d'aire, etc. Hi ha els tipus següents d'actuadors classificats segons:

- Tipus de control.
 - Tot o res.
 - Modulants.
- Tecnologia constructiva.
 - Elèctrics.
 - Pneumàtics.
 - Electropneumàtics.
 - Electrònics.
- Posició en repòs.
 - Normalment oberts.
 - Normalment tancats.

- Velocitat d'actuació.
 - Acció ràpida.
 - Acció lenta.

Els elements finals són les vàlvules, comportes, variadors de velocitat, etc. que actuen directament sobre el procés que s'està controlant.

6.1.2.3. Tipus de control

En el control tot o res o control de dues posicions (on/off) el senyal de sortida té només dos estats possibles: 100% del senyal de sortida quan la variable controlada està per sota de la consigna, i 0% quan la variable controlada és igual a consigna. Una histèresis (diferencial) separa la connexió i desconnexió.

En un control proporcional (P), el senyal de sortida és sempre proporcional a la desviació.

$G = K_p \cdot \Delta X$, sent G el senyal de sortida, K_p el guany i ΔX la desviació o error, o sigui la diferència entre la consigna i les condicions reals.

En aquest tipus de control hi ha d'haver necessàriament una desviació ΔX , altrament no hi hauria senyal de sortida, segons l'expressió anterior. El control proporcional té en compte l'estat actual (present) del sistema.

En un regulador proporcional, cal ajustar dos paràmetres: el valor de consigna i la banda proporcional (BP), que és el rang a través del qual l'actuador passa de tancat a obert de manera progressiva.

- Una banda proporcional ampla dona un control de resposta lenta.
- Una banda proporcional molt petita provoca el moviment quasi continu i oscil·la com a resposta a petites variacions, que pot fer que el sistema sigui inestable i pot malmetre l'actuador.

El regulador P depèn de la càrrega o senyal de sortida de l'actuador. Fora del punt d'ajust PA, hi ha una desviació persistent o offset, que no es pot eliminar (vegeu la figura 6.4).

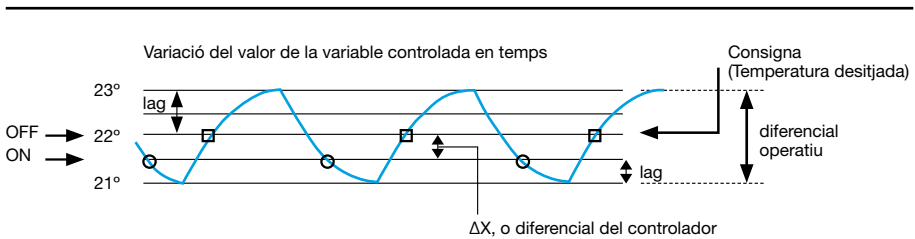


Figura 6.3. Variació del valor de la variable controlada en el temps en un control tot o res.

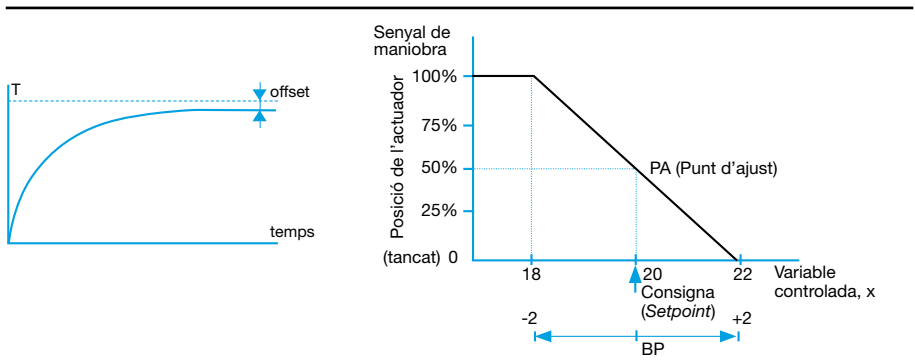


Figura 6.4. Posició de l'actuador en funció d'una temperatura mesurada amb una temperatura de consigna de 20°C en un control proporcional.

El control integral (I) consisteix en fer una mesura (integració) de la desviació entre l'entrada i la consigna en un període de temps, i es genera un senyal de correcció que elimina la desviació. La regulació integral té en compte la història (passat) del sistema (concepte físic de la integral, àrea per sota la corba de tendència). El paràmetre que defineix aquest control és el temps d'integració (TI), que és el temps desitjat dins el qual s'ha de corregir una possible desviació.

- Un temps d'integració llarg dóna una resposta lenta.
- Un temps d'integració curt dóna una resposta ràpida.

El control proporcional integral (PI) és la combinació dels dos controls anteriors. S'aconsegueixen els avantatges de cadascun d'ells:

- Una banda de treball (banda proporcional).
- Un temps de resposta (temps d'integració).

L'offset o desviació que introdueix el control P és corregit per la part integral de l'algoritme PI. Així es manté el valor de l'entrada exactament al valor de consigna. La regulació proporcional integral permet solucionar satisfactòriament el 99% de les aplicacions en el camp de les instal·lacions d'edificis.

El control proporcional integral derivat (PID) disposa de les funcions dels controladors proporcional i integral, més una funció derivada, que és una correcció addicional proporcional a la velocitat de variació de la càrrega. La part derivativa de l'algoritme PID calcula la velocitat de canvi del senyal d'entrada, generant un senyal corrector addicional. La part derivativa té en compte la tendència en l'evolució del sistema (futur, concepte físic de la derivada – tangent de la gràfica).

Hi ha dos tipus diferents de variables que utilitzen els controladors:

- Analògica. Són variables definides en un interval continu de temps, que poden prendre qualsevol valor dins un marge de variació infinit. Les variables físiques són d'aquest tipus: temperatura, humitat, pressió, velocitat, lluminositat, força, etc.
- Digital o discreta. Són senyals definits en un temps discret i només prenen dos valors. Es representen amb una parella de números (0/1). Exemples de senyals

Taula 6.1. Avantatges i inconvenients segons tipus d'acció.

Tipus d'acció	Avantatge	Inconvenient
I	Elimina offset	Lent
D	Augmenta velocitat de resposta (s'anticipa a la pertorbació)	Difícil d'ajustar
P	És ràpid	Té offset i depèn de la càrrega

Taula 6.2. Avantatges i inconvenients segons tipus de regulador.

Tipus de regulador	Paràmetres ajustables	Característiques funcionals
P	Banda proporcional (BP)	És ràpid Té offset
	Consigna	
PI	Banda proporcional (BP)	Elimina l'offset
	Consigna	
	Temps d'integració (TI)	
PID	Banda proporcional (BP)	No té offset Difícil ajustar paràmetres Pot ser inestable
	Consigna	
	Temps d'integració (TI)	
	Temps de derivació (TD)	

digitals són: estat d'una màquina: parat o en funcionament, estat d'una bomba: connectada o apagada, etc.

Actualment la majoria de controladors són digitals. Com que la majoria de variables són analògiques, aquests controladors incorporen conversors analògics/digitals que passen les variables a digitals per poder-les tractar.

6.1.2.4. Sistemes de control digital globals

Els sistemes de control digital directe o DDC (Direct Digital Control) són sistemes digitals que poden integrar totes les funcions pròpies de la gestió integral d'un edifici. Aquests sistemes són els més emprats per a la gestió integral d'instal·lacions i edificis. Els components que integren un sistema DDC són:

- Lloc central.
- Controladors.
- Equips de camp.
- Xarxes i busos d'enllaç (cablejat i dispositius).

El lloc central és format per un equip servidor amb el corresponent programari de control i targeta de comunicació. Es la interfície (porta d'accés) dels usuaris al sistema i no té responsabilitat directa en el control dels sistemes (ho fan els controladors).

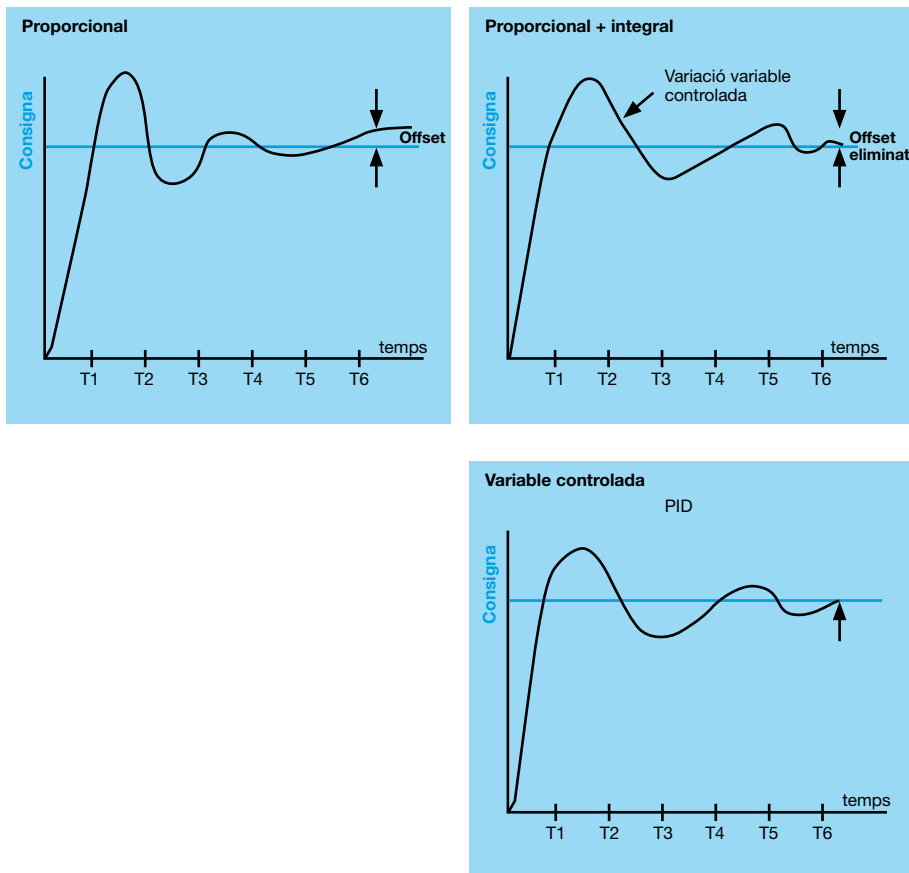


Figura 6.5. Variació del valor de la variable controlada en el temps, en un control proporcional integral.

Figura 6.6. Variació del valor de la variable controlada en el temps en un control proporcional integral derivat.

Realitza la gestió de les dades històriques i alarmes. Presenta la informació gràficament per a facilitar la interpretació als usuaris.

El programari ha d'incloure els requisits següents:

- Lectura i interpretació de totes les dades que rebí.
- Disposició dels *drivers* de comunicació amb els controladors.
- Subministrament d'informació a altres aplicacions/sistemes.

Programari per a gestió d'instal·lacions: *drivers* per a la gestió d'instal·lacions electromecàniques, per a la detecció d'incendis, *drivers* per a la gestió de la seguretat, etc.

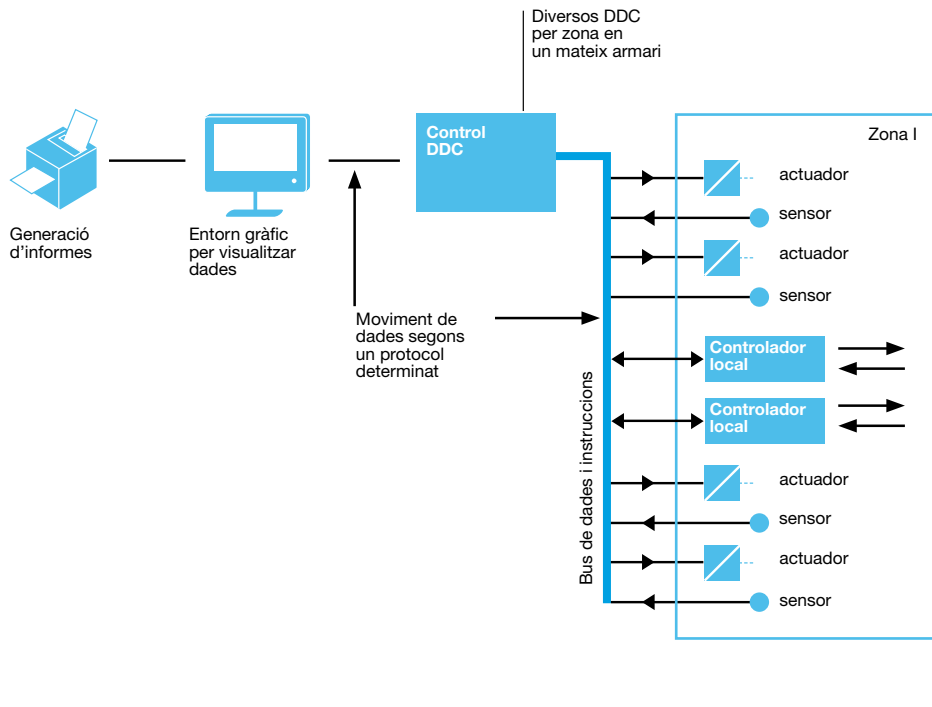
Un controlador (DDC) és un processador que llegeix els senyals enviats per un conjunt de sensors. Aquests senyals són traduïts a format digital i processats basant-se en una estratègia de control (PID, PI o altres). L'estratègia de càlcul produeix un senyal de sortida numèric (digital) que es torna a traduir (normalment) a format analògic i que actua sobre els actuadors.

Hi ha dos tipus bàsics de controladors:

- Controladors de zona (per a unitats terminals), que controlen components molt localitzats com caixes de VAV, comportes, inductors *fan-coils*, petits climatitzadors locals, etc.
- Controladors tipus sistema, que són de més capacitat i que s'utilitzen per a processos més globals i complexos. S'utilitzen per a controlar sistemes centralitzats com plantes de producció d'aigua freda i/o calenta, o grans climatitzadors.

Els controladors es comuniquen entre si i amb el supervisor, que és l'ordinador a nivell superior que supervisa tota la xarxa.

Figura 6.7. Esquema típic de connexió amb controladors digitals directes.



Els equips de camp són els següents:

- Sondes de temperatura: d'exterior, d'immersió, de conducte, sondes amb modificació del punt de consigna, etc.
- Sondes d'humitat: d'exterior, de conducte, d'ambient.
- Sondes de pressió: pressòstats diferencials per aire, transmissors de pressió diferencial, transmissors de pressió de líquids i gasos, interruptors de flux...
- Sondes d'altres magnituds: velocitat d'aire, il·luminació, energia, cabals...
- Actuadors de comporta.
- Vàlvules i actuadors per a *fan-coils* i petits climatitzadors.
- Vàlvules i actuadors per a climatitzadors i circuladors hidràulics.
- Vàlvules de papallona.

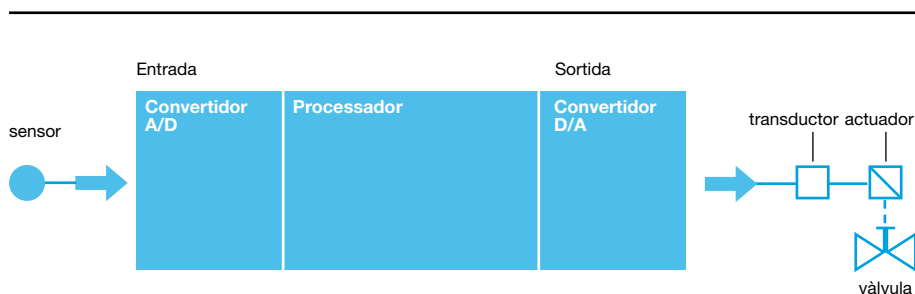


Figura 6.8. Esquema general d'un controlador digital.

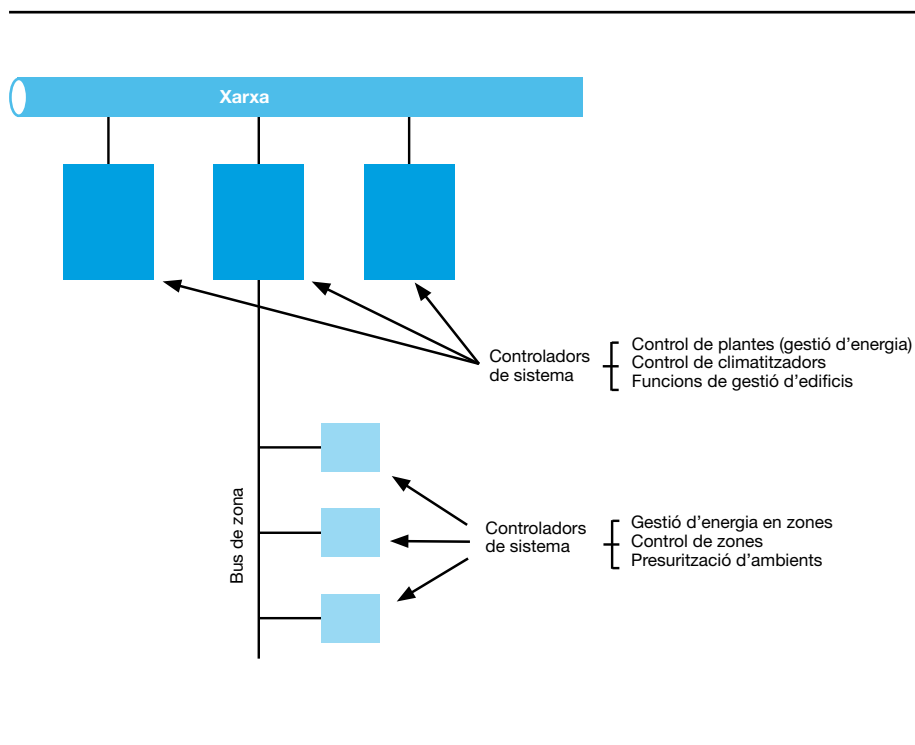


Figura 6.9. Connexió de controladors de diferents nivells.

Figura 6.10. Alguns equips de camp típics.

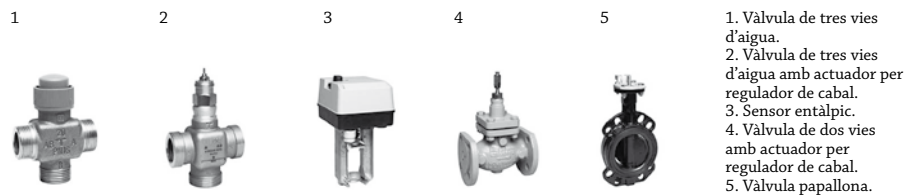


Figura 6.11. Exemple de connexió d'un processador que actua com a interfície entre els mòduls de connexió amb els aparells de camp i l'ordinador de control centralitzat.

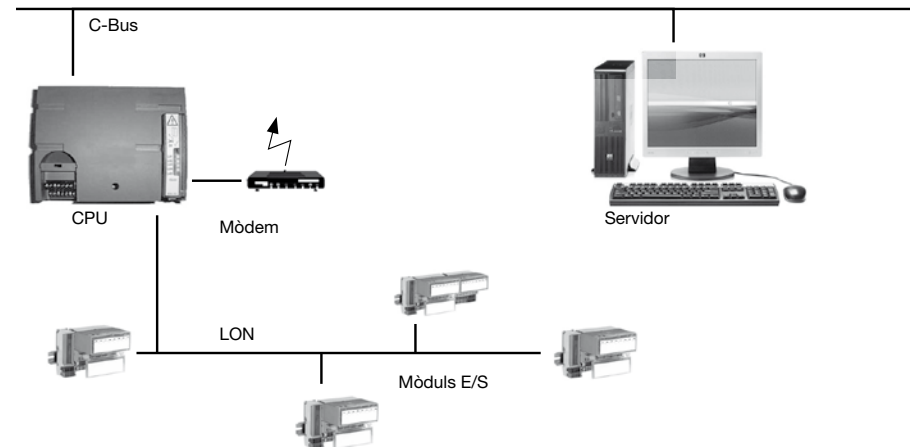
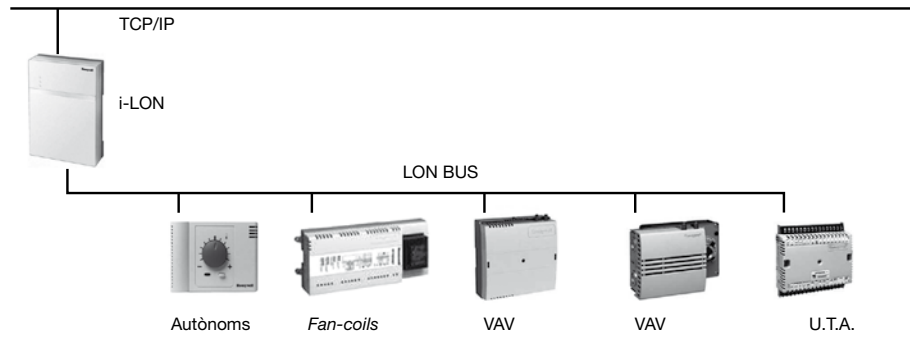


Figura 6.12. Exemple de control sobre elements d'aire condicionat amb un controlador de sistema.



Equips de control

Hi ha 3 tipus diferents de controladors de lliure programació:

- Controladors modulars per alta concentració de punts. Alta capacitat de tractament: a partir de 150 punts de control. Comuniquen habitualment en protocols sobre TCP/IP. Han de disposar de condensador/bateria suport per mantenir la programació en cas de caure la tensió. Permeten connexió de targetes d'entrades/sortides (E/S) de diferent nombre d'entrades digitals i analògiques, com sortides analògiques i digitals. Típic aplicació: control de sales de màquines.
- Controladors modulars per a baixes concentracions de punts. Són processadors que poden tractar fins uns 50 punts de control. Disposen també de condensador/bateria de suport que dóna una autonomia de RAM. Aplicació típica: control de climatitzadors.

- Processadors de control per a unitats terminals. Baixa capacitat de tractament: entre 10 i 30 punts de control. Normalment utilitzen bus de segon nivell LON o propietaris.

Aplicació: control, monitorització, supervisió i manteniment d'ambients en locals o zones individuals.

També hi ha l'opció de control a través de xarxes KONNEX, l'estàndard europeu. L'esquema de control és similar al de LON.

6.1.3. Sistemes de gestió d'edificis (SGE o BMS)

Un Sistema de Gestió d'Edifici SGE o BMS (Building Management Systems) consisteix en un sistema de control integrat que gestiona la totalitat de les instal·lacions que té un edifici:

- Sistemes de transport: ascensors, escales mecàniques...
- Sistemes de seguretat: accessos a portes, vigilància per vídeo CCTV, protecció de recintes...
- Control d'incendis.
- Control sistema elèctric: bateries de correcció del factor de potència, control de consums...
- Sistemes d'il·luminació.
- Calefacció, refrigeració i ventilació.

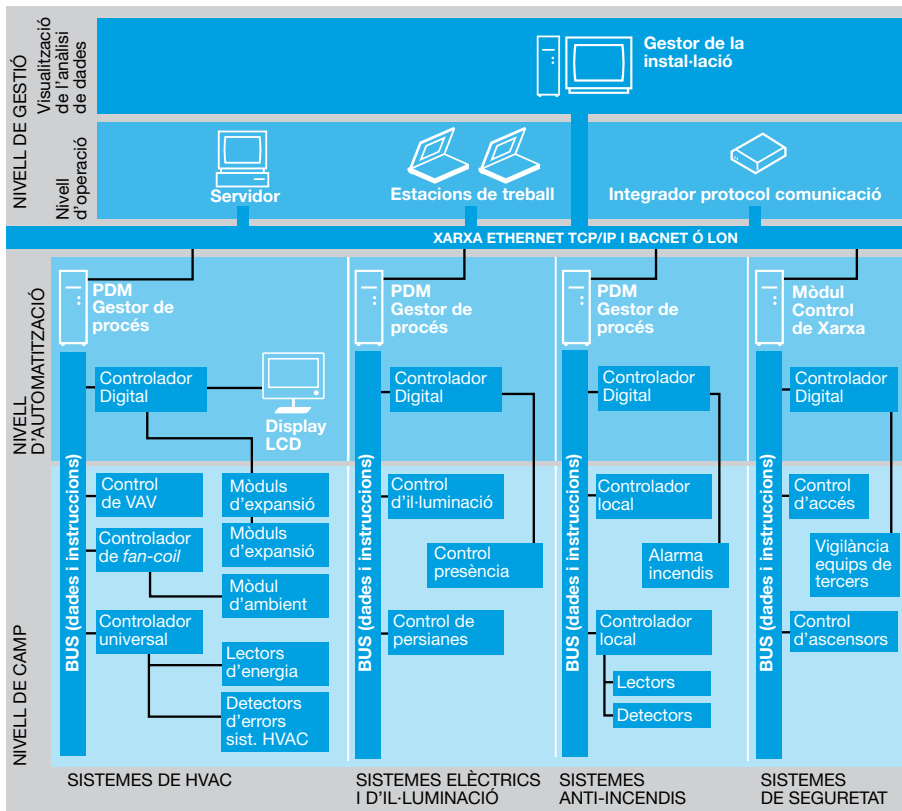


Figura 6.13. Sistema de Gestió d'Edificis (SGE).

El SGE uneix tots aquests sistemes en un nivell de gestió superposat. El servidor d'aquests sistemes és un SCADA (Supervision Control And Data Acquisition). Els sistemes de gestió integrada d'edificis SGE es defineixen i seleccionen segons les característiques següents:

- Tipus de topologia.
- Tipus de protocol de comunicació per a la transferència de dades entre els elements de camp i el processador central. Aquest protocol defineix el tipus de bus per a transportar dades.

La topologia descriu la disposició dels diferents components que conformen el sistema de control: distribucions en bus, en estrella, en anell o topologies lliures (vegeu la figura 6.14).

Tipus de protocol de comunicació

Un sistema de comunicació tancat o propietari és d'un fabricant determinat no compatible amb d'altres. La integració amb altres sistemes que hi puguin haver en una instal·lació es realitza mitjançant interfícies o passarel·les. No són d'ús lliure i, per tant, la seva utilització té uns costos econòmics.

Un sistema de comunicació obert està constituït per elements compatibles amb qualsevol fabricant. Permet la utilització d'elements de diferents empreses. No requereixen interfícies o passarel·les que tradueixin diferents protocols.

Protocols principals:

LONWorks és un sistema estàndard obert sota llicència (Echelon corporation), que utilitza un bus de 2 fils. Les xarxes LON (Local Operating Network) són xarxes locals, per utilitzar amb sondes, actuadors i microcontroladors. Lontalk és el protocol de comunicació que utilitzen aquests sistemes.

Necessita repetidors si les xarxes tenen molta longitud. Pràcticament tots els fabricants de control disposen d'equips que utilitzen LON.

BACnet és un protocol estàndard obert no propietari i, per tant, d'implantació lliure. Va ser creat per ASHRAE i està dissenyat específicament per a controlar i automatitzar edificis. La seva documentació és de disposició lliure, està molt implantat als Estats Units i està arrencant amb força a Europa.

TCP/IP és un protocol de comunicació entre ordinadors a través d'Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). És el protocol estàndard per excel·lència i el més implantat mundialment ja que ha viscut un desenvolupament molt important en els darrers anys de la mà del creixement d'Internet i la tecnologia de xarxes per a ordinadors. És el protocol més estès en els llocs de supervisió. Pràcticament tots els fabricants disposen de solucions sobre TCP/IP. Permet integrar els sistemes de gestió amb la xarxa de cablejat estructurat.

Modbus és un protocol força estès industrialment; l'utilitzen habitualment equips individuals com a variadors de freqüència, analitzadors de xarxes; permet la connexió de sistemes a baix nivell, a nivell de controladors. És un protocol de comunicacions situat en el nivell 7 del Model OSI, basat en l'arquitectura mestre/esclau o client/servidor, dissenyat l'any 1979 per Modicon per a la seva gamma de controladors lògics programables (PLC). Convertit en un protocol de comunicacions

estàndard de facto a la indústria. Gaudeix de gran disponibilitat per a connectar dispositius electrònics industrials.

XML/SOAP, HTTP són un conjunt de protocols de l'àmbit d'Internet, que s'estan establint com a estàndard de facto. Bàsicament són els protocols que s'utilitzen a les aplicacions d'Internet (exploradors...) i estan a l'abast de tots els programadors.

OPC és un programari que permet integrar sistemes a nivell del servidor i crea unes regles de format per als intercanvis de dades. L'OPC (OLE for Process Control) es un estàndard de comunicació en el camp del control i supervisió de processos. Aquest estàndard permet que diferents fonts de dades enviïn dades a un mateix servidor OPC, al qual s'hi podran connectar diferents programes compatibles com aquest estàndard. D'aquesta manera s'elimina la necessitat que tots els programes hagin de disposar de *drivers* per a dialogar amb múltiples fonts de dades. Cal només que tinguin un *driver* OPC.

KONNEX. La Norma Europea Harmonitzada, EN-50090 per a "sistemes electrònics en edificis i habitatges", es basa en solucions de tecnologia KNX-EIB (Konnex-European Installation Bus). KNX-EIB es l'única tecnologia europea que garanteix la compatibilitat entre dispositius domòtics de diferents fabricants. Assegura que el conjunt del sistema i les seves parts es mantindran vius, actualitzables i ampliables en el futur, sense estar lligats a un únic proveïdor.

Normativa

La normativa AENOR – EA0026 ha estat elaborada pel Comitè Tècnic de Certificació AEN/CTC030 "Aparellatge i petit material elèctric per a instal·lacions de baixa tensió". Aquest comitè està secretariat per l'Associació de Fabricants de Material Elèctric (AFME). En aquest reglament es recopilen tots els requisits que ha de complir una instal·lació domòtica per poder ostentar la Marca AENOR, traslladant a un document pràctic les especificacions establertes en l'EA0026:2006 per a instal·lacions domòtiques.

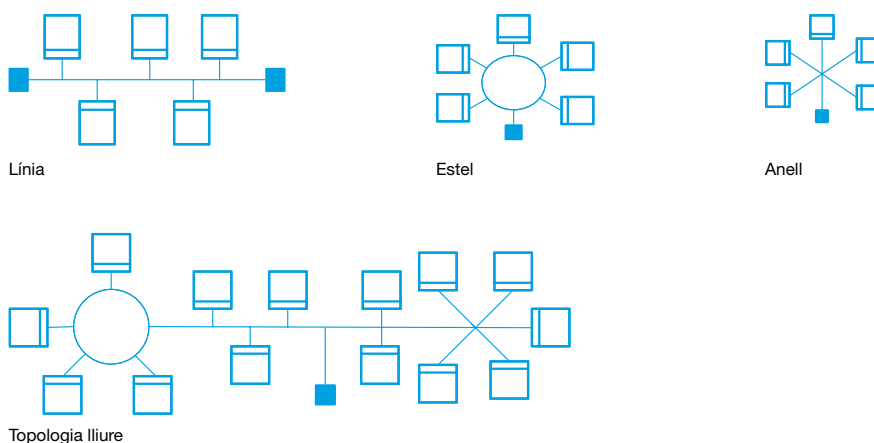


Figura 6.14. Topologies de Sistema de Gestió d'Edificis (SGE).

L'Especificació AENOR EA0026: 2006 "Instal·lacions de sistemes domòtics en habitatges. Prescripcions generals d'instal·lació i avaluació", publicada el novembre de 2006, fixa unes regles de joc comunes per al sector i promou l'ús de les bones pràctiques en les instal·lacions domòtiques.

A més, l'EA0026 segueix les directrius fixades en la Instrucció Tècnica Complementària (ITC) 51 del Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió, desenvolupades més àmpliament i, per tant, de manera més pràctica a la Guia d'Aplicació publicada pel Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç (MITyC).

La Norma KONNEX KNX¹² està aprovada com a:

- Estàndard Europeu (CENELEC EN 50090 i CEN EN 13321-1).
- Estàndard Internacional (ISO/IEC 14543-3).
- Estàndard Xinès (GB/Z 20965).
- Estàndard Nord-americà (ANSI/ASHRAE 135).

Norma LON¹³. Les xarxes LONWORKS han estat incloses en diferents estàndards i propostes, com:

- El protocol ha estat inclòs en la norma EIA-709.1.¹⁴
- El protocol ha estat adoptat com una part de la norma de control BACnet de la Societat Americana d'Enginyers de Calefacció, Refrigeració i Aire Condicionat.

La referència per aquest estàndard és coneguda com ANSI/ASHRAE 135.

Les normes ANSI (Institut Americà de Normes Nacionals) va adoptar l'any 1995 el protocol BACnet. A més, BACnet és adoptat l'any 1997 i 1998 com a norma europea pel nivell administratiu i prenorma europea pel nivell d'automatització.

6.2. Recomanacions en sistemes de gestió d'edificis

6.2.1. Avantatges dels sistemes de control global

- Tots els serveis de l'edifici queden integrats en un únic sistema que actua i els gestiona coordinadament.
- El sistema permet supervisar, controlar i integrar els serveis de l'edifici des d'una única estació de treball.
- La informació es pot compartir amb altres sistemes de gestió de l'empresa com els financers (SAP), manteniment i inventari.
- Els gestors disposen de la informació necessària per a la presa de decisions en una única eina.

Les característiques del sistema són les següents:

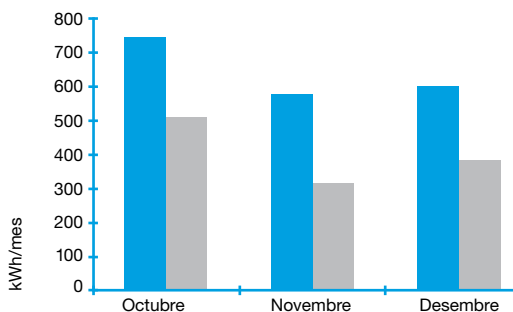
- La plataforma SGE és un programari de mercat, obert, no propietari i un referent internacional en l'automatització d'edificis. Sistema estàndard de gestió en temps real.
- Entorn obert d'implantació. Cadascun dels sistemes de l'edifici pot ser subministrat independentment per les empreses especialistes. Les empreses de seguretat subministren seguretat, les de gestió d'instal·lacions subministren la gestió d'instal·lacions.
- La propietat/enginyeria té la llibertat d'escollir els diferents subministradors, l'SCADA no en condiciona l'elecció.

¹² www.konnex.org

¹³ www.lonmark.es

¹⁴ L'especificació del protocol de xarxes de control és disponible a: <http://global.ihs.com/>

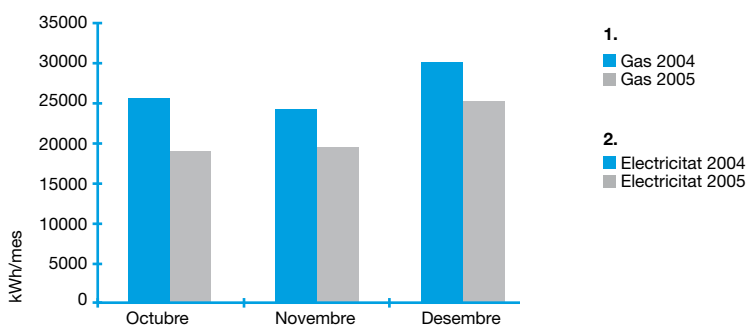
1. Consums de gas comparats abans i després d'implantar el nou sistema de control



Sistemes de gestió d'edificis.
Institut d'ensenyament superior de Dilbeek, Bèlgica.

Figura 6.15. Consums de gas i electricitat al centre escolar abans i després de les millores de gestió energètica.

2. Consums elèctrics comparats



- El sistema disposa del programari necessari per a connectar-se amb equips de múltiples fabricants.
- Hi ha més de 950 *drivers* d'integració disponibles i, a més, la possibilitat de desenvolupar-ne de nous.
- El sistema utilitza tecnologies d'àmplia difusió i d'un coneixement molt extens: xarxes TCP/IP, SQL Server, .Net.

Altres característiques addicionals del sistema serien:

- És escalable fins a cobrir les necessitats del client en la gestió completa de l'edifici.
- Totalment integrat amb les aplicacions Microsoft, tal com SQL Server i tecnologia.
- Un únic sistema pot realitzar la gestió de varis edificis, estenent la connectivitat a través d'Internet.
- El mateix sistema permet l'accés de múltiples usuaris a través de terminals a xarxes o utilitzant prestacions de Web Server.

Alguns avantatges addicionals del sistema:

- Reducció de despeses en la coordinació de sistemes i actuacions.
- Millora de la productivitat en la conducció i explotació de l'edifici.
- Integració i accés a dades a través d'una única font.
- Gestió conjunta d'alarmes.
- Eines d'anàlisi de dades.
- Base de dades SQL Server comuna per a tots els sistemes de l'edifici.

6.2.2. Inconvenients dels sistemes de control global

- Manteniment una mica més complex, associat a l'ús de les Tecnologies de la Informació i les Comunicacions (TIC), tot i que més simple en les exigències del coneixement de les pròpies instal·lacions de l'edifici, doncs el sistema ja en fa la supervisió.
- Cost elevat.
- Necessitat de formació específica en l'ús d'aquests sistemes de control.
- Dependència d'experts externs a l'edifici per a realitzar modificacions. Aquest inconvenient es veurà més o menys resolt en funció del coneixement que pugui tenir el gestor de l'eina de control.

6.3. Bones pràctiques en sistemes de gestió d'edificis

Institut d'ensenyament superior de Dilbeek (high school EHSAL Parnas) de Bèlgica

El centre d'ensenyament tenia un alt consum energètic de calefacció, amb equips antics, fet pel qual era molt difícil fer-los treballar segons la demanda real. Com a conseqüència es pagaven elevades factures d'energia i no s'obtenia el nivell de confort que desitjaven els usuaris.

Es varen renovar tots els controls, substituint tots els controladors analògics per digitals, a més dels quadres elèctrics, i es van posar nous controladors de zona i bombes d'aigua. Tots aquests equips es van integrar en un sistema de control i gestió d'edificis: EBI (Enterprise Building Integrator), que és un sistema de BMS d'una empresa de control.

Es van instal·lar nous sensors per saber les temperatures de les diferents classes. El control es va ajustar a que les temperatures no sobrepassessin els 20°C i el confort es va ajustar als nivells d'ocupació. Els algoritmes d'arrencada i parada permeten donar calefacció només quan el centre o les classes estan operatius, a més d'obrir en el temps adequat (no abans) per donar el confort adequat. La qualitat de l'aire al gimnàs es controla amb sensor de CO₂, per tal de donar els cabals d'aire de renovació en cada moment en funció de la qualitat de l'aire a l'interior, obrint més o menys les portes d'aire.

Amb aquestes mesures de control, aquest centre ha reduït considerablement el consum d'energia i ha millorat el confort. La inversió inicial va representar 116.000€. Els estalvis en energia comparats durant tres mesos van donar un estalvi del 40% en gas i del 20% en electricitat. A més, si la mesura no s'hagués implantat hauria incrementat el consum de gas en un 30%.



7. Manteniment

7.1. Objectiu i necessitat de manteniment

Les tasques que cal realitzar en les instal·lacions d'un edifici per tal de fer-lo funcionar són de dos tipus:

- Les tasques d'operació o funcionament asseguren que tots els equips i sistemes funcionen per cobrir les necessitats dels usuaris de l'edifici. Aquestes tasques es realitzen diàriament per al funcionament dels diferents sistemes instal·lats.
- Les tasques de manteniment són accions periòdiques que cal realitzar en els diferents equips i sistemes per tal d'optimitzar-ne el funcionament i conservar les instal·lacions en perfecte estat d'ús, aspecte i funcionament. Aquestes accions es realitzen amb una periodicitat variable segons necessitats dels equips, des de setmanalment fins anualment. A més, el manteniment ha d'assegurar el compliment de les normatives respecte les instal·lacions.

7.2. Tipus de manteniment

7.2.1. Manteniment preventiu

El manteniment preventiu comprèn totes les actuacions sistemàtiques necessàries per a mantenir les instal·lacions i l'equipament en òptimes condicions de treball per tal d'allargar la seva vida útil i mantenir el seu rendiment a nivells especificats segons projecte o disseny. El manteniment preventiu inclou el manteniment normatiu, que té l'objectiu de dur a terme totes les operacions de manteniment i d'inspecció tècnica i legal, amb les freqüències establertes per la normativa legal vigent.

La realització d'aquest tipus de manteniment implica la realització d'unes accions determinades segons uns protocols requerits per cadascun dels equips i sistemes que conformen la instal·lació.

S'han de realitzar informes periòdics (normalment mensuals) que descriuen l'estat de la instal·lació. Les operacions realitzades dins aquest manteniment s'hauran doncs d'introduir al programa de gestió de manteniment per tal d'assegurar el seguiment de l'activitat.

El manteniment preventiu es pot fer en la modalitat de telegestió. Aquesta modalitat aprofita l'avenç tecnològic dels sistemes d'informació introduïda en molts equips i sistemes i es fa un seguiment continu dels paràmetres de funcionament de la instal·lació via telefònica, amb els sensors i equips degudament implantats. Fa, per tant, una gestió informatitzada del servei, que inclou el control tècnic, inventaris, avisos de plantes, històrics d'intervencions, control econòmic i distribució de costos.

7.2.2. Manteniment correctiu

El manteniment correctiu correspon a totes les intervencions no sistemàtiques originades per la detecció d'avaries o anomalies, la interrupció del servei, el funcionament fora dels paràmetres normals de servei i el funcionament en condicions que puguin generar danys o perjudicis en les instal·lacions de l'edifici (climatització, incendis, il·luminació...) així com la seguretat i integritat física del personal propi i els usuaris.

Les avaries es poden identificar com:

- Urgents. Precisaràn d'una resposta immediata. El temps de resposta hauria d'estar entre 2 i 6 hores depenent del grau d'urgència i conseqüències: que dificultin el treball o impliquin perill per a persones, o puguin generar danys o perjudicis en les instal·lacions de l'edifici.
- Ordinàries. Precisaràn una resposta en un termini de 2 dies (48 hores), i correspon a la resta d'avaries no incloses en les anteriors.

7.3. Gestió del manteniment

La propietat haurà de realitzar el manteniment de les instal·lacions de l'edifici per mitjans propis en cas que en disposi o subcontractant-lo a l'instal·lador o empresa especialitzada de manteniment.

La plantilla de manteniment estarà integrada per operaris amb experiència en manteniment de clima (calefacció i refrigeració), instal·lacions elèctriques, contra-incendis, d'il·luminació, de gestió i control d'edificis, instal·lacions d'ACS o d'altres que integri l'edifici. El personal de manteniment haurà d'estar qualificat per portar a terme totes les operacions pròpies de conducció, manteniment correctiu i manteniment preventiu.

En qualsevol cas l'encarregat o empresa encarregada pel Servei de Manteniment farà la programació i el seguiment de totes les revisions i inspeccions que es portin a cap per les diferents entitats a tal efecte competents (organismes col·laboradors de l'Administració, instal·ladors autoritzats, etc.) segons la normativa legal dictada per la Unió Europea, l'Estat espanyol, la Generalitat de Catalunya o l'ajuntament corresponent, així com totes les que surtin en tota la durada del contracte.

A continuació es donen les operacions que es consideren bàsiques a realitzar en els diferents equips i sistemes que integren les diverses instal·lacions dins un edifici. És important que la propietat i, en concret, el gestor energètic, realitzi un seguiment mensual de la majoria de paràmetres que a continuació es descriuen. L'empresa o persona que realitzi les diferents tasques de manteniment hauria de presentar en un document físic (paper) els resultats obtinguts de l'estat de tots els sistemes segons es descriu a continuació.

7.4. Manteniment en equips de climatització

7.4.1. Unitats terminals i elements del circuit

FAN-COIL (F-C)	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Revisió del motor i del ventilador					
Comprovació del drenatge de la safata de condensats					
Comprovar estat general de neteja					
Purga de les bateries d'aigua					
Verificar commutador					
Verificar termòstat i ajustar-lo					
Verificar sistema regulació i vàlvules					
Comprovar absència de fuites					
Comprovar l'estat de corrosió					
NETEGES					
Neteja de filtres, o substituir-los					
Neteja de les bateries					
Neteja de la safata de condensats					
Neteja del ventilador					
MESURA					
Mesura i anotació de consums elèctrics. Comparació amb placa de característiques					

INDUCTOR	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Comprovació del drenatge de la safata de condensats					
Comprovar estat general de neteja					
Purga de la bateries d'aigua					
Verificar termòstat i ajustar-lo					
Verificar sistema regulació i vàlvules					
Comprovar absència de fuites					
Comprovar l'estat de corrosió					
NETEGES					
Neteja de filtres, o substituir-los					
Neteja de les bateries					
Neteja de la safata de condensats					
MESURA					
Mesura de temperatures entrada i sortida bateria d'aigua i aire	Opcional				

BATERIES DE FRED O DE CALOR	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Verificar estanquitat					
Comprovar circulació d'aigua per les bateries i purgar si cal					
Verificar l'estat de corrosió					
NETEGES					
Neteja de les superfícies d'intercanvi					
MESURA					
Mesura de temperatures entrada i sortida bateria	Opcional				

CAIXA DE VENTILACIÓ (AMB O SENSE BATERIA)	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Comprovar senyals de comandament a comportes i servomotors de vàlvules					
Comprovar funcionament de vàlvules					
Seguir manteniment del ventilador					
Comprovar l'estat de corrosió					
NETEGES					
Neteja dels filtres d'aire					
Neteja dels filtres d'aigua					
Bufar i netejar les bateries					

VENTILADORS	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIONS					
Inspecció: – escalfaments anormals – intensitat – corretges – vibracions i ancoratges					
Comprovar tensió corretges					
Comprovar coixinets i rodaments					

CLIMATITZADORS	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Inspecció fuites d'aire i d'aigua					
Inspecció acoblament a conductes					
Comprovar bateries i purgar-les si és necessari					
Lubricar i greixar coixinets i rodaments del ventilador					
Comprovar estat i temperatura de rodaments					
Comprovar estat i tensió de corretges de transmissió					
Comprovar funcionament de comportes					
Revisar funcionament secció d'humidificació/deshumectació					
Inspecció estanquitat de bateries i safates					
Inspecció suports antivibradors					
Comprovar alineació de motor i ventilador					
Comprovació posta a terra					
Revisió aïllament tèrmic					
Comprovar l'estat de corrosió					
Comprovació pintura i pintat si es requereix					
NETEGES					
Neteja de filtres, o substituir-los					
Neteja de les bateries					
Neteja de la safata de condensats					
Neteja del ventilador					
MESURA					
Lectura consums (intensitats de cada fase). Comparació amb placa motor					
Temperatura d'entrada d'aire					
Temperatura sortida de l'aire					
Temperatura d'entrada d'aigua					
Temperatura sortida de l'aigua					
Cabals d'aire i d'aigua. Comprovar amb valors de disseny					

BOMBES DE CIRCULACIÓ	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Provar bomba de reserva, cas que n'hi hagi					
Inspecció funcionament: sorolls estranys i vibracions					
Comprovar desgast de coixinets					
Lubricació i greixatge de coixinets i rodaments					
Verificar degoteig de premsa. Tornar a estrènyer en cas necessari					
Verificar drenatge de refrigeració i degoteig (comprovar obstruccions)					
Verificar pressió d'impulsió					
Verificar vàlvula antiretorn					
Verificar vàlvules de tall					
Comprovar borns de connexió elèctrica (tornar a estrènyer)					
Verificar estat de dilatadors					
Inspecció estanquitat i suport de canonades					
Verificació i ajust de tèrmics					
Comprovació de vibracions i estat dels ancoratges					
Comprovació i ajust d'alineació del grup					
Verificació i ajust de posada a terra					
Contrast de manòmetres i termòmetre					
NETEGES					
Filtres d'aspiració					
MESURA					
Pressió					

VAS D'EXPANSIÓ	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Inspecció i verificació de possibles fuites					
Verificar funcionament desguàs de la vàlvula de seguretat					
Verificar per on s'omple d'aigua el dipòsit (emplenat automàtic)					
Verificar correcte funcionament dels purgadors automàtics					
Comprovar alarma de nivell					
Verificar funcionament de la vàlvula de seguretat					
MESURA					
Pressió del circuit d'expansió					

ACUMULADOR D'ACS	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Inspecció visual de fuites en premses, juntes i ràcords					
Revisar per trams visibles les xarxes d'aigua. Buscar fuites					
Revisió de l'ànode de sacrifici i substituir-lo si procedeix					
NETEGES					
Neteja general dels filtres d'aigua					
Neteja d'elements calefactors i dipòsit					
Revisió general de l'aïllament del dipòsit					
Verificar dispositius de seguretat					
MESURA					
Temperatura distribució aigua calenta					
Consum d'aigua calenta					

BESCANVIADOR DE PLAQUES	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Comprovar absència de fuites					
Revisar juntes					
Revisar aïllament tèrmic					
Comprovar absència de corrosió					
Comprovar la transmissió de calor (segons sigui, determina neteja)					
NETEGES					
Neteja dels circuits primari i secundari del bescanviador					
MESURA					
Temperatures d'entrada i sortida circuits primari i secundari: $T_{in(1)}$, $T_{out(1)}$, $T_{in(2)}$, $T_{out(2)}$. 1=circuit primari 2=circuit secundari					

RADIADOR D'AIGUA	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Verificar correcte funcionament					
Revisar juntes					
Comprovar absència de fuites					
Comprovar absència de corrosió					
NETEGES					
Neteja general					

7.4.2. Components mecànics de distribució de fluids

CANONADES (AIGUA)	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Posició i estat dels suports					
Revisar aïllament tèrmic					
Comprovar absència de corrosió					
Possibilitat de dilatacions					

VÀLVULES	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Verificar i ajustar òrgans de tancament					
Verificar fuites pels premsaestopes					

XARXA DE CONDUCTES (AIRE)	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Revisió aleatòria d'unions de conductes					
Comprovar absència de fuites d'aire					
Comprovar absència de sorolls i vibracions					
Inspecció general de les fixacions					
Verificar funcionament de les comportes de regulació					
Inspeccionar estat d'aïllament					
NETEGES					
Neteja de conductes					

REIXES I DIFUSORS	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Verificar estat i fixacions					
Neteja de la reixa o difusor					

COMPORTA TALLAFOCS	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I OPERACIONS DE MANTENIMENT					
Comprovar senyalització de la zona de foc regulada per comporta					
Ajustar cargols i pern del mecanisme de lleva					
Verificar funcionament mecanisme de la comporta					
Verificar estanquitat del segellat del cos mòbil de la comporta amb relació al marc					
Greixatge d'eixos i diferents peces mecàniques					
NETEGES					
Netejar pols del conjunt disparador					

7.4.3. Equips productors de climatització

7.4.3.1. Generadors d'aigua calenta

CALDERES: COS DE LA CALDERA	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Contrast i ajust dels termòmetres de comandament i seguretat					
Contrast i ajust dels pressòstats de comandament i seguretat					
Control dels equips de depuració de fums					
Contrast i ajust de regulació de tir					
Comprovació dels feixos tubulars de calderes, refractaris i juntes de portes					
Comprovació de nivell d'aigua en circuit					
Comprovació de circuits de gasos de la caldera					
Inspecció d'aïllament de la caldera					
Revisió del sistema de control automàtic					
Prova hidràulica de la caldera	Cada 5 anys				
NETEGES					
Neteja interior de la caldera					
Neteja de residus sòlids dels depuradors de fums					
Neteja de xemeneies i conductes de fums					

CALDERES: CREMADOR	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Verificació de programador i transformador d'encesa					
Detecció de fuites en xarxa de combustible					
Verificació de seguretat i enclavament cremadors					
Verificació de la regulació de pressió de combustible					
Lubrificació i greixatge de coixinets rodaments					
Inspecció de l'estat ventilador i neteja del mateix, si és necessari					
Repàs pintura de la instal·lació					
NETEGES					
Neteja i verificació de l'espiera					
Neteja i verificació dels plats deflectors					
Neteja i verificació cèl·lula fotoelèctrica					
Neteja i verificació dels brocs de polvorització i vàlvules solenoides					
Neteja i verificació del filtre bomba de cremador					

CALDERES: CONTROL DE COMBUSTIÓ I RENDIMENT	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
MESURA DE DADES GENERALS					
Contingut de CO ₂ (%)					
Contingut d'O ₂ (%)					
Contingut de CO (%)					
Índex d'opacitat					
Temperatura de fums (°C)					
Temperatura de la sala (°C)					
Temperatura del fluid a la sortida (°C)					
Temperatura del fluid al retorn (°C)					
Pressió a la llar (mm.c.a.)					
Depressió a la xemeneia (mm.c.a.)					
Control del consum de combustible					
Control del consum elèctric					
Control del consum d'aigua					
Mesura intensitats elèctriques. Comparar placa característiques					

7.4.3.2. Grups de fred i bombes de calor

EQUIPS DE FINESTRA	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Estat del serpentí interior					
Estat del serpentí exterior					
Comprovar l'automàtic					
Comprovar la caiguda de tensió en l'arrencada					
Tornar a estrènyer connexions elèctriques					
Comprovar funcionament del termòstat					
Comprovar soroll i vibracions					
NETEGES					
Neteja dels filtres d'aire					
MESURA					
Tensió de subministrament elèctric					
Consum ventilador					
Consum total de l'equip					
Salt tèrmic de l'aire a l'evaporador					
Salt tèrmic de l'aire al condensador					

EQUIPS AUTÒNOMS	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Nivell d'oli en els compressors					
Estat de l'interruptor general					
Sorolls i vibracions en compressors					
Sorolls i vibracions al ventilador					
Tensat de corretges de transmissió					
Greixatge i verificació de rodaments					
Verificar càrrega de refrigerant i possibles fuites					
Ajustar vàlvula pressostàtica					
Comprovar pressòstats d'alta i baixa					
Comprovar vàlvula inversora					
Comprovar cicle de desgebrament					
Comprovar desguassos i safata de condensats					
Verificar estanquitat de bateries					
Verificar corrosió					
Si s'ha afegit oli: quantitat i tipus					
Si s'ha afegit refrigerant: quantitat i tipus					
NETEGES					
Neteja del ventilador					
Neteja de filtres d'aire					
Neteja mecànica de les bateries					
Neteja en sec del condensador d'aire					
Neteja del drenatge de la safata del condensador					
MESURA					
Temperatura fluid entrada condensador					
Temperatura fluid sortida del condensador					
Temperatura de l'aire entrada evaporador (return)					
Temperatura de sortida de l'aire de l'evaporador					
Pressió de condensació					
Pressió d'evaporació (= pressió d'aspiració)					
Consum resistències de càrter					
Consum elèctric dels compressors					
Consum elèctric dels ventiladors					

UNITAT REFREDADORA D'AIGUA	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Absència de fuites de gas refrigerant					
Revisar càrrega de gas refrigerant (bombolles en el visor)					
Verificar absència d'humitat en el refrigerant (humitat en el visor)					
Reescalfament de la vàlvula d'expansió (TXV)					
Comprovar estat de l'oli. Substitució si procedeix.					
Revisar càrrega d'oli a tots els compressors. Afegir-ne si cal					
Revisar funcionament de la resistència de càrter					
Verificar presa de terra					
Verificar control de capacitat dels compressors					
Estrènyer les connexions elèctriques a cada compressor					
Canvi de seqüència dels compressors					
Verificar absència de sorolls estranys als compressors					
Verificar contactors: moviment i contactes					
Comprovar disjuntors (estrènyer les connexions)					
Comprovar funcionament dels tèrmics					
Comprovar i ajustar l'interruptor de flux (IF)					
Regulació termòstat de control d'aigua					
Valor de tall del pressòstat d'oli					
Greixatge de rodaments					
Contrast i ajust de pressòstats i termòstats					
Revisió i neteja del filtre d'aigua (si l'entrada de la refredadora en té)					
Anotar codis d'anomalies si n'hi ha					
Verificar corrosió					
NETEGES					
Neteja mecànica del condensador					
MESURA					
Lectura manòmetres del circuit d'aigua					
Salt tèrmic en evaporador					
Salt tèrmic en condensador					
Pressions d'alta i baixa (circuit/s frigorífic/s)					
Pressions d'aspiració i descàrrega (al compressor)					
Temperatures línia líquid (circuit frigorífic)					
Temperatura aspiració per circuit frigorífic					
Sobreescalfament per circuit frigorífic (VXT)					
Subrefredament per circuit frigorífic					
Temperatura de l'oli					
Consum compressors (A) i consum resistències de càrter (A)					

UNITAT D'ABSORCIÓ (REFREDADORA D'AIGUA)	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Comprovar circuit de control					
Interruptors de flux d'aigua					
Purga					
Ajust del control de sobreconcentració de solució					
Ajust del control (termòstat) antigèl					
Ajust de càrrega de refrigerant					
Ajust de la càrrega de l'inhibidor					
Ajust del termòstat d'alta del generador					
Ajust del pressòstat d'alta del generador					
Ajust de temporitzadors					
Comprovar aïllament bobinat motors					
Comprovar el buit de màquina					
Comprovar acumulació gasos de purga					
Control funcionament de la purga					
Control evacuació purga					
Control de funcionament de les vàlvules solenoides					
Tornar a estrènyer les connexions elèctriques					
Control estanquitat màquina					
Control de temps (hores) per omplir purga					
Comprovar interruptors de nivell					
NETEGES					
Tubs del condensador					
Neteja tubs de l'absorbidor					
Generador					
Refredador (evaporador)					
MESURA					
Hores de funcionament					
Consum elèctric bomba de refrigerant					
Consum elèctric bomba de solució					
Concentració de solució					
Densitat del refrigerant					
Temperatura d'aigua freda					
Temperatura aigua de torre					
Rendiment de l'evaporador					
Rendiment condensador, absorbidor, generador					

TORRE DE REFREDAMENT D'AIGUA DE CONDENSACIÓ	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Inspecció estanquitat zona d'aire					
Inspecció estanquitat zona d'aigua					
Verificar la purga					
Comprovar els polvoritzadors					
Comprovar els separadors de gota					
Comprovar estat de l'emplenament i separadors de gotes					
Verificar i ajustar reguladors de temperatura					
Verificar tensió i estat de corretges i politges					
Comprovar funcionament de la vàlvula de flotador					
Accionar vàlvules de pas de fluids					
Revisar funcionament termòstat i resistència antigèl					
Comprovar vibracions i estat ancoratges del motor-ventilador					
Comprovar escalfament coixinets					
Greixatge dels coixinets					
Repàs pintura bassa					
NETEGES					
Bassa					
Emplenament i separadors					
Polvoritzadors					
Filtre aspiració de la bomba					
MESURA					
Temperatura d'entrada i sortida d'aire					
Temperatura d'entrada i sortida d'aigua					
Intensitats de fase i nominal motor					
Aïllament del motor (amb Meger)					

7.4.3.3. Manteniment de sistemes de VRV i expansió directa

UNITAT EXTERIOR VRV O CENTRAL DE PRODUCCIÓ	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Ajustar termòstats de comandament					
Ajustar termòstats i pressòstats de seguretat i proteccions elèctriques					
Verificar l'absència de vibracions en els compressors					
Comprovar drenatge de les safates de condensació					
Control de capacitat dels compressors					
Revisar ventiladors condensador					
Greixatge mecanismes de regulació					
Revisió del sistema de control automàtic					
Verificar funcionament contactors i estat dels contactes					
Comprovar cablejat i connexions					
Revisar estat d'aïllament tèrmic					
Comprovar estanquitat de la safata de condensats					
Revisar estat d'elements antivibradors					
Revisió pintura					
NETEGES					
Exterior de la unitat					
Condensadors					
MESURA					
Intensitats elèctriques i comparar amb placa característiques					
Control de funcionament: mesures de temperatures, pressions...					

UNITAT INTERIOR VRV	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Verificar estat del motor ventilador					
Comprovar vibracions i estat dels ancoratges					
Comprovar estat de neteja de la bateria					
Verificar obstruccions a la safata i desguassos					
Contrast i ajust de programadors					
NETEGES					
Neteja o substitució de filtres					
Neteja de safates i desguassos de condensats					
Neteja de la bateria					
MESURA					
Anotar intensitat per fase i comprovar nominal					
Temperatura de retorn i impulsió d'aire					

UNITAT SPLIT	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Comprovació de vibracions i sorolls estranys					
Revisar el drenatge de la safata de condensats					
Comprovació de seguretats elèctriques					
Verificar actuació de termòstats					
Comprovar estat dels ancoratges					
Inspecció d'aïllament tèrmic					
NETEGES					
Efectuar canvi de filtrina o neteja de filtre segons el cas					
Neteja exterior equip					
Neteja de l'evaporador					
MESURA					
Mesura intensitats elèctriques. Comparar amb placa característiques					

RECUPERADORS D'ENERGIA	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Revisió de filtre, i substitució si és necessari					
Comprovació tensió i estat de corretges ventilador					
Comprovació acoblament motor i ventilador					
Comprovar absència de vibracions					
Comprovar transmissió i estat dels ancoratges					
Comprovació de l'estat i temperatura de rodolaments					
Greixat de rodolaments. Segons necessitat					
Comprovar alineació de motor i ventilador					
Canvi de rodolaments (si requereix)					
Comprovació posada a terra					
Revisió aïllament tèrmic					
Revisió de pintura i pintat (si requereix)					
NETEGES					
Neteja exterior i interior de l'equip					
MESURA					
Lectura consum amperimètric. Comparació amb placa motor					
Comprovació i verificació cabal d'aire					

CAIXES DE VENTILACIÓ I EXTRACTORS	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Comprovar absència d'escalfaments en motor					
Comprovar estat i tensió de corretges de transmissió					
Comprovar estat i lubricació de rodaments					
Verificar que les turbines giren lliurement i en sentit correcte					
Comprovar que no hi ha sorolls estranys					
Comprovar vibracions i estat ancoratges					
Comprovar la posada a terra					
Verificar estat de les politges					
Verificar l'alineació del conjunt motor – ventilador					
Verificar estat de pintura i pintat si cal					
NETEGES					
Revisió de filtres. Neteja o substitució si cal					
MESURA					
Lectura consums i comparació amb placa motor					
Verificació cabals					

QUADRES ELÈCTRICS	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Verificar estat fusibles i pilots					
Comprovar regulació dels tèrmics					
Verificar tèrmics i diferencials					
Inspecció de cables reescalfats					
Verificar i reajustar connexions elèctriques: regletes i contactors					
Verificar funcionament d'interruptors i disjuntors					
Contrast i ajust d'aparells d'amicalment					
Comprovació del funcionament d'automatismes de protecció					
Verificació posada a terra					
Verificació aïllament elèctric					
NETEGES					
Neteja del quadre elèctric					
MESURA					
Mesurar tensions en barres					
Contrastar aparells de mesura					

7.4.3.4. Manteniment en instal·lacions d'energia solar tèrmica

Per assegurar un òptim funcionament d'una instal·lació solar tèrmica, el Codi Tècnic de l'Edificació estableix dues escales complementàries d'actuació: el pla de vigilància i el pla de manteniment.

El pla de manteniment ha d'establir una revisió periòdica semestral de les instal·lacions amb una superfície de captació solar superior a 20m² i anual per a instal·lacions de mida inferior. Les operacions han de ser efectuades per personal tècnic competent. Per assegurar la correcta supervisió de la instal·lació, moltes de les ordenances solars locals obliguen a contractar un servei de manteniment durant els primers anys de funcionament de la instal·lació. Totes les operacions s'hauran de notificar en un llibre de manteniment de la instal·lació.

7.4.4. Prevenció de legionel·losi en instal·lacions amb torres de refredament

INSTAL·LACIÓ SOLAR TÈRMICA	Periodicitat revisions				
	S	M	3M	6M	A
COMPROVACIONS I INSPECCIÓ					
Comprovar absència condensacions en hores centrals del dia (vidres)					
Comprovar absència de fissures i deformacions, corrosió o fugues de les juntes del captador					
Comprovar absència de degradacions i corrosions a l'absorbidor, connexions, estructura del captador					
Purga manual del circuit primari					
Purga de l'acumulació de lots a la part inferior de l'acumulador solar					
Comprovar estat i absència de fugues a canonades i aïllament del circuit primari i secundari					
NETEGES					
Neteja de vidres dels captadors amb aigua i productes adequats					

En vista a la seva gran importància, a continuació es descriu el mètode a seguir en la neteja i desinfecció de les torres de refredament per tal d'evitar brots de legionel·losi.

7.4.4.1. Neteja i desinfecció preventiva

La neteja i desinfecció del sistema complet s'ha de dur a terme com a mínim, dues vegades l'any, preferiblement al començament de la primavera i la tardor, quan les instal·lacions siguin de funcionament no estacional i, a més, en les circumstàncies següents: quan es posi en marxa la instal·lació per primera vegada, després d'una parada superior a un mes, després d'una reparació o modificació estructural, quan una revisió general ho aconselli i quan una autoritat sanitària ho determini. S'ha de tenir en compte que una desinfecció no és efectiva si no va acompanyada d'una neteja exhaustiva.

El procediment de neteja i desinfecció general ha de ser:

- Clorar l'aigua amb un mínim de 5 ppm de clor i afegir-hi biodispersants a fi que actuï com una biocapa i un anticorrosiu.
- Procedir a la recirculació del sistema durant tres hores, amb ventiladors desconectats i, si és possible, amb les sortides tapades. Cada hora s'ha de mesurar el nivell de clor i se n'ha de reposar la quantitat perduda.
- Neutralitzar el clor, buidar el sistema i esbandir-lo amb aigua a pressió.
- Dur a terme operacions de manteniment i reparar les avaries detectades.
- Introduir el flux d'aigua amb 15 ppm de clor, afegint-hi anticorrosiu compatible.
- Procedir a la recirculació del sistema durant dues hores, amb ventiladors parats, mesurant cada 30 minuts el nivell de clor i afegint-hi la quantitat perduda.
- Neutralitzar el clor, buidar el sistema i esbandir-lo amb aigua a pressió.
- Omplir el sistema d'aigua i afegir-hi desinfectant. Si aquest és clor, s'ha de mantenir un nivell de 2 ppm.

Les peces desmuntades han de ser netejades a fons, submergides en una solució amb 15 ppm de clor residual lliure, durant 20 minuts, esbandint-les posteriorment amb aigua freda. Els elements difícils de desmuntar o de difícil accés, s'han de polvoritzar amb la mateixa solució durant el mateix temps. En cas d'equips que per les seves dimensions o el seu disseny no admetin la polvorització, la neteja i desinfecció s'han de dur a terme mitjançant nebulització elèctrica, utilitzant un desinfectant adequat per aquesta fi (la nebulització elèctrica no es pot fer amb clor).

La neteja i desinfecció, tant del farcit de la bassa i de la resta de components de torres de refrigeració industrials de "tir induït" i de "flux d'aire creuat o en contracorrent" sense possibilitat de parada, s'ha de dur a terme com a mínim dues vegades l'any, preferiblement a la primavera i a la tardor, segons el procediment següent:

- Ajustar el pH entre 7-8 per millorar l'acció de l'àcid hipoclorós (HClO).
- Afegir hipoclorit sòdic (NaClO) en quantitat suficient per mantenir, en l'aigua de la bassa, una concentració màxima residual de clor lliure de 5 ppm.
- Afegir la quantitat adequada de biodispersant perquè actuï sobre la biocapa i permeti l'atac del clor al seu interior, així com un inhibidor de la corrosió específic per a cada sistema.
- Procedir a la recirculació del sistema per espai de quatre hores, mantenint els nivells de clor residual lliure. S'ha de mesurar el clor cada hora per assegurar que n'hi hagi el contingut residual previst.
- Una vegada finalitzada l'operació de neteja, s'ha de renovar la totalitat de l'aigua del circuit, obrint la purga al màxim i mantenint el nivell de la bassa.

Procedir a normalitzar les condicions de funcionament durant aquest període a fi d'eliminar la biocapa que hi podria haver en els bescanviadors i zones mortes o de baixa velocitat del circuit. S'ha de mantenir una concentració de clor residual lliure entre 1-2 ppm i la quantitat adequada de biodispersant durant 24 hores.

7.4.4.2. Neteja i desinfecció en cas de brot de legionel·losi

- Clorar l'aigua del sistema fins aconseguir un mínim de 20 ppm de clor residual lliure i afegir-hi biodispersants i anticorrosius compatibles, en quantitat adequada, mantenint els ventiladors desconectats i quan sigui possible, les obertures tancades per evitar la sortida d'aerosols.

- Mantenir aquest nivell de clor durant tres hores, comprovant-lo cada hora, i reposant la quantitat de clor que s'hagi perdut, mentre està recirculant aigua pel sistema.
- Neutralitzar el clor i procedir a la recirculació de l'aigua igual que en el punt anterior.
- Buidar el sistema i esbandir-lo amb aigua a pressió.
- Fer les operacions de manteniment mecànic de l'equip i reparar avaries detectades.
- Netejar a fons les superfícies del sistema amb detergents i aigua a pressió i, després, esbandir-les.
- Introduir en el flux d'aigua la quantitat de clor suficient per arribar a 20 ppm de clor residual lliure, afegint-hi anticorrosius compatibles amb clor en quantitat adequada. S'ha de mantenir durant dues hores, comprovant el nivell de clor residual lliure cada trenta minuts i reposant-ne la quantitat perduda. S'ha de procedir a la recirculació de l'aigua per tot el sistema, mantenint els ventiladors desconnectats i les obertures tapades.
- Neutralitzar el clor i procedir a la recirculació de l'aigua igual que en el punt anterior.
- Buidar el sistema, esbandir-lo i afegir-hi desinfectant de manteniment. Quan aquest desinfectant sigui clor, cal mantenir un nivell de clor residual lliure de 2 ppm mitjançant un dispositiu "en continu", afegint-hi anticorrosiu compatible en quantitat adequada.

Les peces desmuntades s'han de netejar a fons i desinfectar per immersió en una solució d'aigua amb 20 ppm de clor residual lliure, durant un mínim de vint minuts. Les peces no desmuntades o de difícil accés s'han de netejar i desinfectar polvoritzant-les amb la mateixa solució durant el mateix temps. En cas d'equips que per les seves dimensions o disseny no admetin la polvorització, la neteja i desinfecció s'han de dur a terme mitjançant nebulització elèctrica, utilitzant un desinfectant adequat a aquesta finalitat.

Instal·lació torre de refrigeració

Tasca a realitzar	Mensual	Semestral	Anual
Revisar i verificar el funcionament correcte del condensador			
Revisar i verificar el funcionament correcte del separador de gotes			
Revisar i verificar el farcit			
Revisar i verificar la safata			
Neteja i desinfectar			

Aigua de la torre de refrigeració

Tasca a realitzar	Diari	Setmanal	Mensual
Revisar qualitat de l'aigua, procedir al control de la T, pH, conductivitat, sòlids en suspensió, nivell de clor o biocida usat			
Fer cultius legionel·la en mostres d'aigua de la torre			
Revisar la qualitat de l'aigua fent control de pH, conductivitat, mesura de ppm de biocida i funcionament dels dosificadors de l'inhibidor de corrosió i biodispersant			

Aquestes activitats han de quedar reflectides en el Registre de Manteniment. Posteriorment s'ha de continuar amb les mesures de manteniment habituals. En tot moment s'ha de tenir cura de seguir les pautes de prevenció de riscos laborals.

7.5. Manteniment en sistemes de ventilació

El manteniment de les instal·lacions de ventilació correspon al manteniment dels diferents components i equips que el componen.

Els principals components i equips que conformen un sistema de ventilació són: els conductes, els ventiladors, les caixes de mescla i ventilació i els recuperadors estàtics d'energia (són bescanviadors de calor de plaques).

En la part de manteniment d'aquesta guia es descriuen els protocols de manteniment recomanats per a cadascun d'aquests elements.

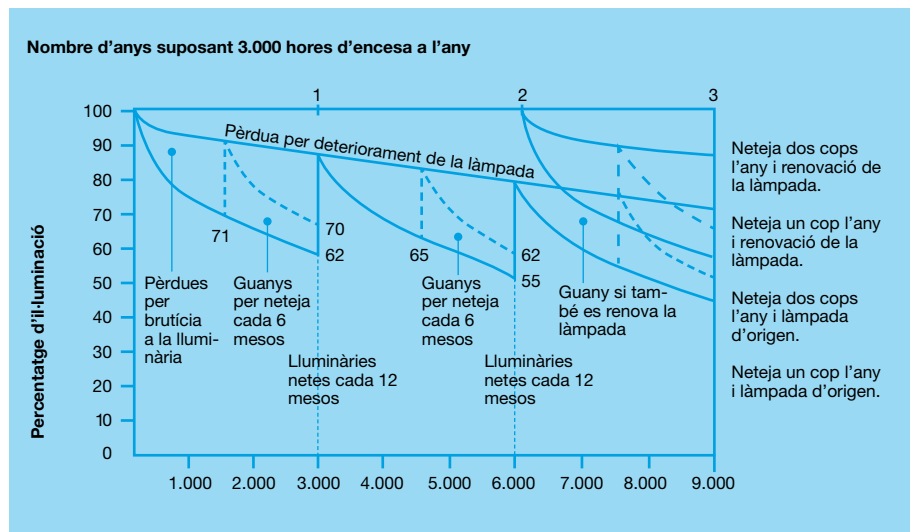
Cal també tenir en compte que en la majoria d'instal·lacions la ventilació es realitza en les unitats de tractament d'aire, de manera que en aquest cas es realitzaran les operacions específiques (inspecció i comprovació preventiva) exigides per a aquestes unitats. Vegeu apartat de protocols de manteniment d'aquesta guia.

7.6. Manteniment en sistemes d'il·luminació

El nivell d'il·luminació d'un espai es troba afectat per la freqüència de neteja de les finestres, l'enfosquiment de les superfícies (principalment parets i sostres), la brutícia que es va depositant sobre les lluminàries, però sobretot per la disminució del flux lluminós que experimenten les làmpades amb el pas del temps. Valors típics de disminució del flux lluminós de làmpades al llarg del seu cicle de vida es troben entre 15-20%, i la disminució per brutícia sobre les lluminàries varia entre 15-30%.

Per evitar que el nivell d'il·luminació per aquests dos factors baixi a valors fins a 60% de l'il·luminància inicial, és important netejar regularment les lluminàries. Tan sols la reducció de l'interval de neteja d'un any a sis mesos, per exemple, pot reduir

Figura 7.1. Disminució d'il·luminància en funció del manteniment de la instal·lació (neteja/reposició). Font: *Guia Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación: Hospitales y Centros de Atención Primaria*, IDAE.



a la meitat les pèrdues d'il·luminància per brutícia, com il·lustra la figura 7.1. D'altra banda, l'actual prohibició de fumar en edificis públics ha reduït considerablement l'embrutament de tancaments (parets, terres, sostres) i llumeneres i, en aquest sentit, ha reduït l'impacte negatiu de l'ambient interior.

Aquesta disminució provocada per la brutícia i l'envelliment es té en compte a l'hora de realitzar el projecte d'il·luminació i en general es dimensiona el sistema d'il·luminació un 15% superior a la demanda real de llum (10% en locals molt nets i un 20% en entorns industrials). La UNE 12464-1 (a la qual fa referència el CTE) en canvi, proposa valors en alguns casos molt superiors a aquests i que obliguen a un sobredimensionament elevat, amb els relacionats consums energètics. Igual com en el sistema de regulació, en funció de la llum natural, és possible utilitzar una fotocèl·lula connectada a un sistema de control per a pal·liar els sobrecàlculs per depreciació. D'aquesta manera, no s'aporta un flux lluminós superior al necessari durant els primers anys de la làmpada, que pot comportar un estalvi d'energia de fins a un 25%.

7.7. Manteniment en la instal·lació elèctrica

7.7.1. Manteniment respecte al factor de potència

Descripció operació a realitzar	Periodicitat segons normativa	Periodicitat aconsellada
Mesura i comprovació de la intensitat entre fases		Mensual
Comprovar el correcte funcionament del regulador	Anual	Mensual
Comprovar que els pilots de senyalització siguin operatius		Mensual
Comprovar l'absència d'escalfament en els contactors i el seu correcte estat	Anual	Mensual
Comprovar l'estat dels fusibles	Anual	Mensual
Comprovar connexió i desconnexió dels condensadors	Anual	Mensual
Neteja de la bateria		Anual
Comprovar si les connexions estan ben collades	Anual	Anual

Taula 7.1. Operacions de manteniment a realitzar en les bateries de condensadors que corregeixen el factor de potència.

7.7.2. Manteniment en instal·lacions fotovoltaïques

El manteniment necessari en una instal·lació fotovoltaïca connectada a xarxa és mínim, ja que no hi ha peces mòbils ni processos de desgast. Les actuacions necessàries es limiten a verificar el correcte funcionament de la instal·lació i a detectar disminucions de producció, per exemple, a causa d'avaries, la neteja periòdica dels mòduls o el manteniment preventiu semestral.

Verificació del bon funcionament: revisió de l'electricitat generada, nivells de tensió, etc. mitjançant programa de monitorització o revisió periòdica dels valors del display de l'ondulador.

Neteja. Encara que els mòduls fotovoltaïcs estiguin instal·lats amb l'òptima inclinació d'aproximadament 35°, la seva superfície de vidre tendeix a acumular brutícia, especialment en temps de sequera, que pot arribar a disminuir el rendiment dels mòduls fins a un 8%. Aquest fenomen s'accentua si el camp fotovoltaïc és utilitzat freqüentment com a superfície de descans per a ocells, ja que els seus excrements no només signifiquen un ombrejament més intensiu que la pols, sinó que també costa més que siguin arrossegats per l'aigua de la pluja. Per prevenir l'acumulació

de brutícia és recomanable una neteja periòdica del camp fotovoltaic, especialment en temps de sequera, amb aigua a pressió i -si s'hi pot accedir- amb un fregall no metàl·lic. Tot i que els mòduls fotovoltaics estan dissenyats per a aguantar fortes oscil·lacions tèrmiques, és indicat efectuar la neteja quan les plaques ja no es troben escalfades pel Sol.

Manteniment preventiu semestral, que inclou la comprovació de les proteccions elèctriques, cables i connexions, funcionament de l'ondulador, alarmes, etc.

7.8. Manteniment en sistemes de control i regulació

Els sistemes de control bidireccionals (els controladors reben informació sobre l'estat dels sensors), tenen integrat un sistema de supervisió del bon funcionament de la xarxa de control, i notifiquen immediatament i automàtica quan un element de la xarxa no funciona correctament.

En cas que el sistema de control sigui unidireccional (actuadors que executen accions en funció de la informació que reben dels sensors), les operacions de manteniment comporten una verificació que cada actuator executa segons la resposta sol·licitada per part del sensor. Per exemple, l'encesa de llums en funció de la llum natural s'hauria de produir si baixem les persianes. O l'apagada centralitzada de l'enllumenat d'un centre s'hauria de produir en polsar el polsador central corresponent.

En xarxes que funcionen amb radiofreqüència o infrarojos, pot succeir que algun element de la xarxa no rebi alimentació de la xarxa elèctrica degut a que està lluny dels punts de connexió, ni disposi d'una cèl·lula fotovoltaica per alimentar-lo. En aquest cas l'alimentació prové de piles o bateries i s'ha de comprovar periòdicament que aquestes no estiguin exhaurides.



8. Altres conceptes de subministrament energètic

8.1. Companyies de serveis energètics

8.1.1. Conceptes bàsics en serveis energètics

Les companyies de serveis energètics ofereixen diverses possibilitats de gestionar l'energia als edificis. El concepte bàsic consisteix en el fet que aquestes empreses es fan càrrec del funcionament de la instal·lació energètica en tots els seus aspectes: del funcionament, manteniment preventiu i correctiu, comptatge i facturació i, opcionalment, també de la inversió inicial, a canvi d'un contracte d'exploatació per un temps definit i la venda de l'energia útil al client. L'avantatge principal per al client consisteix en que redueix els costos d'inversió, ja que ha d'oferir els espais necessaris per a ubicar les instal·lacions energètiques, però no les ha de comprar i es pot despreocupar de les tasques de manteniment. Habitualment, en finalitzar el període de contracte, la instal·lació energètica passa a titularitat del client sense cap contraprestació. Si la inversió inicial no l'efectua l'empresa gestora sinó el promotor, també li representa reduir despeses, ja que una instal·lació centralitzada és habitualment més econòmica que la seva equivalent d'instal·lacions individuals descentralitzades.

En la majoria dels contractes, es fixa el preu de venda de l'energia per a tot el període del contracte, indexat al preu del mercat d'una energia fòssil. D'aquesta manera l'empresa de serveis energètics s'assegura el marge econòmic de funcionament, més enllà dels seus costos de compra de l'energia del sistema. Fins ara ha estat, molt sovint, gas natural amb incorporació d'instal·lacions solars tèrmiques,

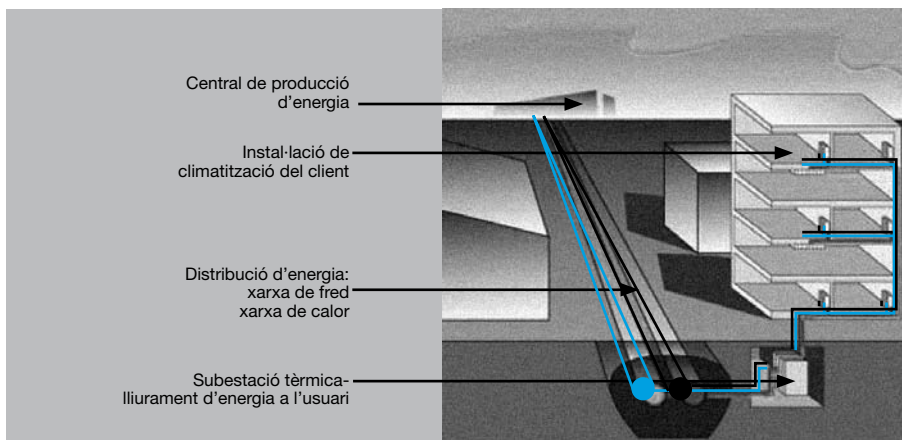


Figura 8.1. Concepte bàsic en energia de districte.
Font: Districlima.

però previsiblement hi haurà més incorporació d'altres fonts d'energies renovables en el futur com, per exemple, la biomassa o calor i fred subministrat per un sistema central de districte.

Degut a l'especialització i conseqüent professionalització i en el propi interès econòmic, les companyies de serveis energètics acostumen a gestionar les plantes de generació d'energia tèrmica - i de vegades elèctrica-, instal·lades als edificis del client, de manera molt eficient. Hi ha sistemes de telecontrol via Internet que permeten fer el seguiment remot de la instal·lació, optimitzant el funcionament i garantint el subministrament gràcies a la detecció immediata de possibles malfuncionaments via sistemes d'alarmes. Al mateix temps, el registre automàtic de dades històriques assegura una transparència absoluta de l'explotació i permet visualitzar consums i altres dades reals instantànies en pantalles divulgatives instal·lades als edificis públics.

8.2. Energia de districte

8.2.1. Conceptes bàsics en energia de districte

Els sistemes d'energia de districte es basen en la producció de calor centralitzada a nivell de districte, i la distribució de la calor en forma d'aigua calenta o vapor per una xarxa subterrània als edificis del voltant. Moltes instal·lacions d'aquest tipus integren, a més a més, la producció d'electricitat i, de manera augmentada, també incorporen la producció i el subministrament de fred.

Els avantatges principals d'aquests sistemes consisteixen en:

- Aprofitament de calor residual de diferents processos com, per exemple, de:
 - Processos industrials pròxims als nuclis de població, ja que molts processos industrials requereixen calor a altes temperatures, però necessiten dissipar calor a baixa temperatura (60-80°C), que no és aprofitable als propis processos, però sí és adequada per a climatitzar edificis o escalfar aigua sanitària.
 - Plantes de conversió energètica de residus urbans, centrals elèctriques, així com d'altres instal·lacions que, altrament, haurien de dissipar la calor residual a l'atmosfera.
- Augment important d'eficiència energètica comparat amb el funcionament de centenars d'aparells descentralitzats, per un millor rendiment energètic, la centralització dels serveis de manteniment, la possibilitat de controlar millor les emissions i els impactes ambientals, etc.
- Eliminació de vibracions i sorolls als edificis connectats per l'absència de calderes i refrigeradores, així com d'obligacions reglamentàries relacionades amb la presència de màquines a pressió.
- Augment de la viabilitat econòmica d'incorporar fonts d'energies renovables com la biomassa forestal o industrial degut a la gestió centralitzada, tant per la mida de les instal·lacions com per l'adequació d'espais necessaris, seguretat de subministrament, etc.
- En cas de xarxes de calor i fred, s'elimina l'impacte visual d'equips de refrigeració als terrats dels edificis i s'augmenta l'espai disponible per a altres usos.
- Reducció del risc d'accidents, tant en el transport dels productes energètics com el gasoil o gas natural, així com per l'ús irresponsable que els consumidors individuals podrien realitzar.

Els costos econòmics d'inversió per a una connexió a un sistema d'energia de districte varia principalment en funció de la distància als troncs de distribució de la xarxa. D'altra banda, es redueixen de manera important les inversions al propi edifici, ja que la conversió d'energia queda limitada al bescanvi de calor o fred en una subestació substituint calderes i refrigeradores. En cas de cuines elèctriques, per exemple, es pot suprimir la instal·lació de gas de l'edifici, amb els consegüents estalvis econòmics i d'espai. En tot cas, el conjunt de costos d'inversió i de funcionament – en aquest cas compra d'energia tèrmica, calor o fred – està dissenyat de tal manera que sigui altament competitiu amb un subministrament de calor i fred per a instal·lacions convencionals.

8.2.2. Bones pràctiques en energia de districte

Xarxa subterrània de calor i fred, Barcelona

Des de l'any 2004, les zones del Fòrum de les Cultures i 22@ de Barcelona disposen d'una xarxa urbana de calor i fred. La principal font energètica d'aquesta xarxa és vapor que s'obté de les instal·lacions de valorització energètica de residus urbans existents, electricitat per al funcionament de les bombes i motors, i gas com a font auxiliar per a puntes de demanda.

La central està equipada amb bescanviadors vapor / aigua calenta, grups frigorífics d'absorció i un dipòsit d'aigua freda. A aquests equips s'hi han d'afegir els auxiliars (caldera de vapor i grups frigorífics elèctrics), les bombes, els dispositius de comandament i control, etc. La distribució de l'energia es configura per dues xarxes, una d'aigua calenta i una altra d'aigua freda. A les subestacions dels edificis, les energies són transferides dels circuits primaris als circuits secundaris dels edificis per mitjans de bescanviadors de plaques.

Gràcies a l'absència de torres de refrigeració tant als edificis connectats com a la central (que utilitza aigua de mar per refrigerar) s'elimina qualsevol risc de contaminació per legionel·losi i s'estalvia una quantitat important d'aigua potable.

Durant els tres anys de funcionament, més del 90% del consum energètic per al subministrament de calor i aproximadament el 75% per al subministrament de fred a la xarxa de distribució s'ha obtingut en forma de vapor de les instal·lacions de valorització energètica de residus urbans. La resta s'ha aportat en forma de gas (calor) i electricitat (fred). L'any 2006 es va subministrar aproximadament 11,7 GWh de calor i 20,3 GWh de fred als clients finals. Tot i tenint en compte que no tot el consum energètic per al subministrament de calor i fred prové del vapor residual, en comparació amb un sistema descentralitzat de refrigeració amb un COP de 2,5, l'estalvi global d'energia primària i d'emissions de CO₂ gairebé arriba al 50%, que equival aproximadament a 13.000 t CO₂ equivalent.



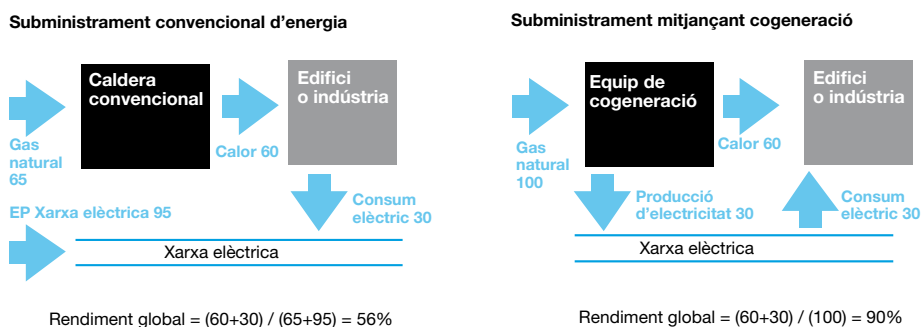
Energia de districte. Aprofitament de la calor residual de la planta de reconversió energètica de residus urbans per a alimentar la xarxa subterrània de calor i fred a les zones del Fòrum de les Cultures i 22@, Barcelona.

8.3. Cogeneració, amb absorció

8.3.1. Conceptes bàsics en cogeneració, amb absorció

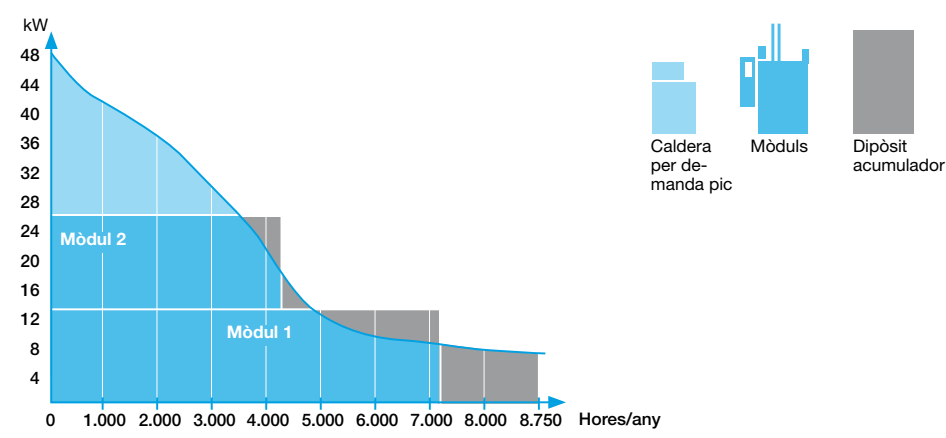
La cogeneració és la generació simultània d'electricitat i calor mitjançant una mateixa font energètica.

El principi bàsic és l'aprofitament de la calor residual de la generació d'electricitat per un motor o una turbina.



Es dona el nom de trigeneració a la cogeneració combinada amb una màquina d'absorció per transformar la calor residual en fred. Igual com les màquines d'absorció, amb la fabricació de models de motors i turbines de cogeneració de baixa potència s'està iniciant la introducció d'aquesta tecnologia cada vegada més en el sector de l'edificació. Actualment, al mercat hi ha motors de combustió interna alternativa d'una potència mínima elèctrica de 5 kW, amb esglaons de 15 kW, 30 kW, 45 kW, 60 kW, etc. i combustibles com el gas, el gasoil, el gas liquat de petroli o el biocombustible. Amb un rendiment elèctric d'entre el 27% i el 33%, arriben a un rendiment global del 85% al 92%. Els costos econòmics d'inversió en aquests equips disminueix amb la mida de la màquina i és d'aproximadament 2.700 euros per a equips de molt poca potència i entorn dels 1.200 €/kW per una cogeneració de 80 kW elèctric. En la majoria de casos, per augmentar les hores de funcionament a càrrega nominal, els

Figura 8.2. Cobertura de la demanda tèrmica per equips de cogeneració modular (en hores de funcionament).



equips de cogeneració només cobreixen aproximadament dos terços de la potència requerida de l'edifici, subministrant prop del 90% de la demanda anual, mentre un equip convencional auxiliar proveeix la calor restant.¹⁵

Per a un òptim rendiment de la instal·lació, el funcionament de l'equip es regirà en funció de la demanda tèrmica; l'electricitat generada simultàniament es ven a la xarxa de distribució interconnectada. Amb l'objectiu d'instal·lar un equip de mínima potència, però que treballi el màxim nombre d'hores a potència nominal amb un mínim d'enceses i apagades, és aconsellable instal·lar diferents equips en règim modular de mestre-esclau, amb un dipòsit important d'acumulació d'aigua. Conceptes de distribució de calor i fred a l'edifici de molta inèrcia com l'activació de forjats faciliten un perfil constant de demanda i l'òptim funcionament del sistema, igual com la producció de fred per absorció, que assegura el funcionament del sistema a les èpoques caloroses de l'any.

Similar a la tecnologia fotovoltaica, la venda d'electricitat produïda mitjançant cogeneració – encara que la font energètica no sigui renovable – és remunerada amb un preu preferent regulat pel Reial decret 661/07. Amb aquest incentiu, el temps d'amortització del cost addicional per una cogeneració en comparació amb unes instal·lacions convencionals és d'aproximadament tres anys, per un sistema de cogeneració amb motor de combustió interna alternativa de 65 kW elèctrics i un funcionament superior a 8.000 hores anuals. Per a sistemes que utilitzen fonts d'energies renovables com ara biomassa o residus urbans mitjançant el procés de gasificació i turbines, el temps d'amortització és superior, tot i que aquestes configuracions 100% renovables també tenen incentius econòmics superiors per a vendre l'energia elèctrica.

8.3.2. Bones pràctiques en cogeneració, amb absorció

Edifici Vullpalleres Centre, Sant Cugat del Vallès

L'edifici de nova construcció projectat per a 72 habitatges, 42 oficines i 13 locals comercials a Sant Cugat del Vallès incorpora una microturbina a gas de 65 kW, vàries bombes de calor a gas com a instal·lació auxiliar (60 kW), així com una màquina d'absorció per a subministrar fred a tots els diferents espais de l'edifici. Amb un consum de gas previst de gairebé 2.000 MWh anuals, la microturbina generarà aproximadament 1.050 MWh de calor i 570 MWh d'electricitat per any que s'aboca a la xarxa elèctrica local, remunerades a principis del 2007 amb 0,1208 €/kWh segons el RD 661/07.



Cogeneració amb microturbina a gas i fred per absorció. Edifici Vullpalleres Centre, Sant Cugat del Vallès.

¹⁵ *Micro-cogeneración con motores alternativos de combustión interna*, Dr. -Ing. David Arzoz del Val, Jornades de Cogeneració, GENERA 2007.



9. Gestió eficient de l'aigua

9.1. Conceptes bàsics

La demanda creixent de l'aigua està indissolublement lligada a l'augment del nombre d'habitants i a la manca de conscienciació dels greus impactes ambientals i al nostre propi benestar que comporta l'actual sobreexplotació dels recursos hídrics del país. Hi ha diferents projectes i programes de la Generalitat per fer davant d'aquesta situació, des de campanyes de conscienciació i promoció de l'ús raonable de l'aigua, projectes de reaprofitament d'aigües per a usos industrials fins a noves plantes dessalinitzadores d'aigua marítima¹⁶. Aquestes últimes, però, porten evidentment associat un important consum d'energia i recursos, tant per a construir-les com per a fer-les funcionar. En aquest sentit, és de màxima importància reduir la demanda a la xarxa de subministrament d'aigua per a reduir l'impacte ambiental.

Les possibilitats d'actuació per fomentar un ús responsable d'aigua als edificis públics porta a tres conceptes bàsics:

- Reduir la demanda d'aigua.
- Aprofitar les aigües pluvials i les aigües sobrants de piscines.
- Reutilitzar les aigües grises.

En la mateixa línia que l'estalvi d'energia, la reducció de la demanda és la mesura més eficient, tant a nivell d'impacte ambiental com econòmicament. Hi ha una àmplia gamma de productes de reducció de demanda al mercat, la majoria de fàcil muntatge, sense necessitat de reformar conductes o instal·lacions (emprades a les parets). El Codi Tècnic de l'Edificació obliga a nivell general a instal·lar dispositius d'estalvi d'aigua en aixetes i esmena alguns dels dispositius descrits a continuïtat, però sense xifrar valors màxims de consum. Algunes de les estratègies de reducció de demanda com els reductors de cabal o airejadors perlitzadors, així com els dispositius a introduir a la cisterna del vàter existent per a minimitzar el volum de descàrrega, tenen un temps d'amortització molt inferior a un any.

Les mesures d'aprofitament d'aigües pluvials o reutilització d'aigües grises fan necessari introduir una escala de qualitats de l'aigua en funció de l'ús que se'n fa, ja que no tota l'aigua actualment utilitzada requereix la qualitat d'aigua potable. L'aigua destinada a reomplir els dipòsits dels vàters, la neteja d'exteriors o eines de treball, o la pròpia destinada al reg de parcs i jardins pot tenir una qualitat inferior, sempre i quan les aixetes d'ús siguin corresponentment indicades per evitar posar en perill la salut humana. Diferents municipis catalans han aprovat ordenances d'estalvi d'aigua que obliguen, per exemple, a aprofitar l'aigua de pluja en funció de la superfície susceptible de ser regada, o a reutilitzar les aigües sobrants de piscines. Una ordenança tipus desenvolupada pel grup de treball Nova Cultura de l'Aigua de

¹⁶ Es preveu construir una planta dessalinitzadora a Cunit amb una capacitat de 20hm³/any, que s'afegirà a la del Prat de Llobregat (60hm³/any), actualment en construcció, i l'existent a Tordera de 10hm³/any. Nou centre de dessalinització a la costa sud del litoral català – dossier tècnic, DMAiH, desembre 2007.

la Xarxa de Ciutats i Pobles cap a la Sostenibilitat, Diputació de Barcelona, preveu, a part d'exigències per al sector residencial i hotel·ler, que tots els edificis que disposin de més de 100 m² de zona verda incorporin un sistema d'aprofitament d'aigua de pluja per al reg.

Totes aquestes mesures, en tractar-se de sistemes descentralitzats, redueixen - a part del consum d'aigua - el consum de recursos i energia per a potabilitzar l'aigua i el consum d'energia elèctrica per a bombar aigua de xarxa.

9.2. Benchmarking en consum d'aigua

Tot intent de fer una gestió responsable de l'aigua requereix una comptabilitat per conèixer la quantitat d'aigua que s'utilitza i que és subministrada per la xarxa de distribució. De manera semblant a la gestió d'energia, quants més punts de consum es tenen identificats i comptabilitzats, es pot ser més eficient a l'hora d'incidir en millorar els punts febles del sistema.

El consum domèstic per habitant a Catalunya és d'aproximadament 130 litres diaris, que es reparteixen en els casos següents:

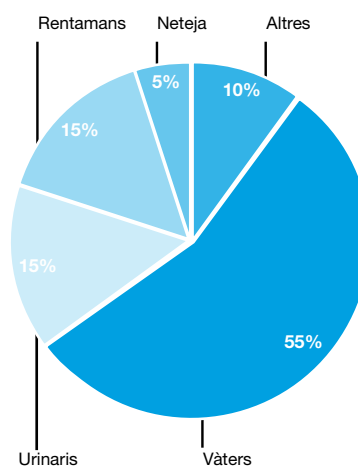
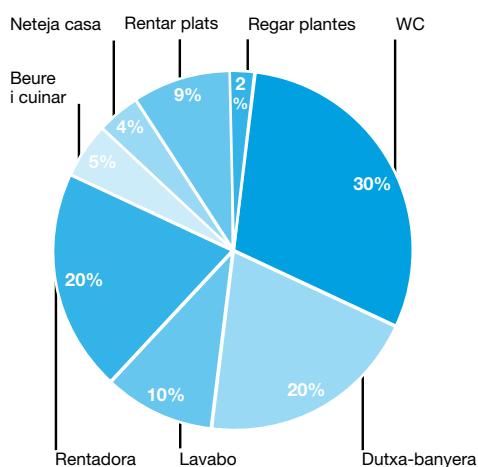


Figura 9.1. Distribució del consum domèstic d'aigua en habitatges de construcció vertical. Font: *Catalunya estalvia aigua*, Elisenda Forés, Generalitat de Catalunya 2006.

Figura 9.2. Usos de l'aigua en una oficina. Font: Pàgina web de l'Ajuntament de Santa Coloma de Gramenet (www.grame.net).

En edificis públics, en canvi, el consum d'aigua varia extremament segons l'ús a què es destina l'edifici: des d'oficines i escoles o centres culturals amb consum, únicament causat per serveis i rentamans (vegeu gràfic 9.2.), a centres d'atenció primària i hospitals amb consums variats, fins a poliesportius amb elevats consums degut a serveis de dutxes o piscines. Una aproximació als consums més habituals dona la taula 9.1.

L'estudi del consum d'aigua als edificis de la regió metropolitana de Barcelona, portat a terme el 2004 amb la col·laboració del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat, analitza el consum d'aigua en diferents tipus d'edificis. Per

exemple, per a edificis d'ensenyament, partint d'una mostra de 30 centres educatius a 15 municipis de la regió, determina 13 litres per persona·dia amb els següents consums específics per a aquest ús d'edifici (vegeu la taula 9.2.).

Coneixent els consums tipus exposats, es poden estimar els consums totals segons els usos dels edificis. Una classificació per a edificis públics podria considerar la de la taula 9.3.

Taula 9.1. Consums mitjans segons dispositiu.

Aplicació	Consum per ús (l)	Freqüència d'ús (dia x persona)	Consum (l/dia x persona)
Vàter, descàrrega convencional	10	5	50
Vàter, descàrrega de sis litres	6	1	6
Vàter, descàrrega de tres litres	3	4	12
Urinari convencional	3	4	12
Urinari sense aigua	0	4	0
Rentamans	5	6	30
Rentamans amb airejadors-difusors	3	6	12
Banyera plena	140	0,5	70
Dutxa convencional	70	1	70
Dutxa amb diferents dispositius d'estalvi	35	1	35
Zona verda (l/m ² ·a)	200-400		

Taula 9.2. Consums específics en centres d'ensenyament a Catalunya.

Aplicació	Consum per activitat (l)	Freqüència per dia·persona (-)	Consum (l/dia·persona)
Dutxa	30	0,14	4,3
Vàter*	7	1,00	7,0
Rentamans	4	0,5	2,0
Total			13,3

*El 43% dels centres analitzats tenen volums de descàrrega de cisterna de 6 litres, el 42% de 9 litres i el 15% de 12 litres.

Taula 9.3. Classificació d'eficiència en l'ús d'aigua potable per a diferents usos d'edificis públics.

Ús	Molt eficient	Regular	Poc eficient
Escola, sense dutxes ni servei de menjador	l/alumne·dia < 10	10 < l/alumne·dia < 30	30 < l/alumne·dia
Escola, sense dutxes, però amb servei de menjador per al 50% dels alumnes	l/alumne·dia < 12	12 < l/alumne·dia < 35	35 < l/alumne·dia
Poliesportiu sobre la base d'una mitjana actual de 73 litres/usuari·dia	l/usuari·dia < 40	40 < l/usuari·dia < 70	70 < l/alumne·dia
CAP	l/usuari·dia < 30	30 < l/usuari·dia < 60	60 < l/alumne·dia

9.3. Estratègies per a reduir la demanda d'aigua

9.3.1. Reductors de cabal

Els dispositius sanitaris de subministrament d'aigua com aixetes o capçals de dutxes estan dissenyats per a donar servei òptim a una pressió d'aigua de 120 kPa, a excepció dels vàters amb descàrrega pressuritzada que requereixen una pressió mínima de 150kPa. Freqüentment, però, la pressió d'entrada a l'edifici és superior a aquesta pressió. La instal·lació d'un regulador de pressió a l'entrada de l'aigua de xarxa permet reduir la pressió a la sortida d'aigua potable amb una pressió màxima de 250 kPa i, en conseqüència, el funcionament adequat de cada dispositiu sense excés de consum.

9.3.2. Airejadors perlitzadors

Els airejadors perlitzadors són dispositius econòmics i senzills que s'engroscen a dutxes i aixetes existents i que incorporen un mecanisme que barreja aire amb l'aigua, fins i tot quan hi ha baixa pressió, de manera que les gotes d'aigua surten en forma de perles. Substitueixen els filtres habituals de les aixetes i, malgrat que redueixen el consum, l'usuari no té la sensació de rebre menys aigua.

Els airejadors perlitzadors permeten estalviar des d'un 40% d'aigua, en cas de pressions d'aigua de 250 kPa, a un 30%, en cas de pressions d'aigua de 300 kPa, comparat amb aixetes tradicionals.¹⁷

9.3.3. Aixetes termostàtiques

Aquest tipus d'aixetes, generalment adaptades a aixetes de dutxa i bany-dutxa, disposen d'un selector de temperatura amb una escala graduada que permet triar la temperatura desitjada per a l'aigua. Hi ha diferents sistemes en funció del tipus de tecnologia utilitzada, però tots es basen en l'ús de materials termosensibles que es contreuen o expandeixen en funció de la temperatura. S'ha constatat un estalvi de fins al 16% d'aigua respecte dels monocomandaments, per evitar la cerca de la temperatura desitjada de consum mitjançant ajustos manuals.

9.3.4. Aixetes amb polsador temporitzador

Les aixetes temporitzades són les que s'accionen prement un botó i que deixen sortir l'aigua durant un temps determinat, transcorregut el qual es tanquen automàticament. En general, aquestes aixetes són utilitzades en casos de risc que l'aixeta continuï oberta sense aprofitament (l'usuari s'oblida de tancar l'aixeta i deixa córrer l'aigua en la fase d'ensabonament a la dutxa, etc.). En edificis públics, la reducció en el consum s'estima entre un 30 i un 40%.

¹⁷ *Guía para a selección do equipamento e o deseño de edificios con criterios enerxéticos*, Instituto Enerxético de Galicia – Xunta de Galicia, 2007.

Figures 9.3. i 9.4. Urinari sense aigua i esquema de sifó especial. Imatge cedida per: Sinaqua Waterless System GmbH.

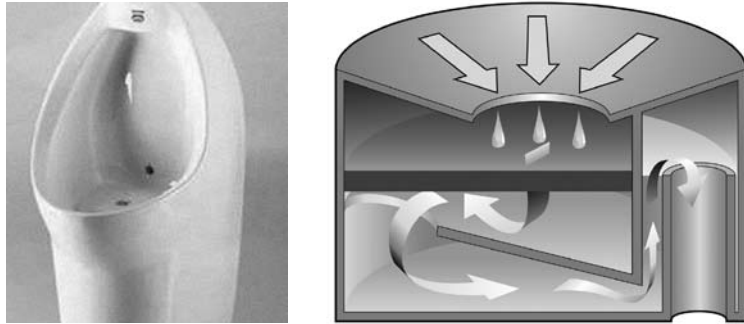


Figura 9.5. Airejadors. Font: Griferias Martí, Guia pràctica per a l'estalvi domèstic d'aigua, Ecològistes en acció.



9.3.5. Aixetes amb sensors infrarojos

De les opcions d'aixetes de tancament automàtic, les electròniques són les que ofereixen les màximes prestacions des del punt de vista de l'higiene i l'estalvi d'aigua. L'obertura s'activa quan es col·loquen les mans sota el tub de sortida d'aigua. Mentre l'usuari té les mans en posició de demanda d'aigua, el flux és constant, però s'atura immediatament en el moment de retirar-les.

9.3.6. Urinaris murals sense aigua

En urinaris murals la descàrrega d'aigua és d'aproximadament tres litres per servei. Hi ha urinaris de ceràmica o políester reforçat de fibra de vidre que, gràcies a una capa d'acabat (gelcoat) eviten l'adhesió de líquid a la seva superfície i faciliten que llisqui pel sifó.

El sifó porta un líquid especial, d'una densitat inferior que l'aigua, que permet que l'orina traspassi la capa de líquid i desaiigüi cap a la xarxa de clavegueram, mentre que el líquid especial resta al sifó. Atès que no queda orina sobre l'urinari i gràcies al sifó especial, no es produeixen olors, mentre que la inexistència de cantonades o juntes evita l'acumulació de brutícia i el possible creixement de bacteries.

Aquest tipus d'urinaris murals també mostra una sèrie d'altres avantatges davant d'urinaris convencionals: degut a la capa d'acabat de gelcoat no cal netejar-los amb productes químics, sinó - segons fabricant i model - únicament amb aigua o aigua amb desinfectant. Per no influir en el funcionament de l'urinari no es poden utilitzar boles ambientadores. Els conductes d'aigua no s'embossen ja que les incrustacions habituals d'orina només es formen si l'orina entra en contacte amb l'aigua. El líquid especial del sifó és 100% biodegradable i finalment es redueix la càrrega de líquid a les plantes depuradores. En aquest sentit, els urinaris estalvien aigua, productes de neteja i els intervals de recanvi de parts del sistema són superiors als d'urinaris convencionals.¹⁸

¹⁸Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie - www.wupperinst.org.

Els costos i la vida útil són similars als urinaris convencionals, entre 15 i 25 anys, del qual no es dedueix cap sobrecost si s'instal·la en una obra nova o una reforma general. En cas de substituir un urinari existent per un urinari sense aigua, el període d'amortització de la inversió depèn del preu d'aigua i del clavegueram, així com de l'estalvi econòmic en detergents i reducció de serveis de neteja.

Si es calculen uns quatre serveis diaris, l'urinari sense aigua estalvia uns 12 litres per usuari. L'Institut pel Clima, Medi ambient i Energia de Wuppertal xifra l'estalvi per l'ús d'aquests urinaris en 50.000 litres anuals per unitat instal·lada al sector terciari (equivalent a 45 usos diaris). A més, calcula l'estalvi energètic per evitar el subministrament d'aigua en uns quants centenars de kWh anuals.

9.3.7. Cisternes de vàter amb volum reduït de descàrrega i cisternes de doble descàrrega

Hi ha diversos mecanismes per reduir el volum de descàrrega de la cisterna del vàter dels habituals 10-12 litres com, per exemple, cisternes de capacitat reduïda (6 litres), cisternes de doble polsador (un accionant la descàrrega completa - 6 litres - i una altra de més curta-3 litres), o de sistemes de flux interromput: quan es considera que l'aigua descarregada és suficient, es torna a prémer el botó de descàrrega i aquesta s'interromp. Aquests mecanismes, ja molt estesos sobretot en edificis de concurrència pública, poden proporcionar un estalvi de fins a 50% davant de cisternes de vàters convencionals.

9.3.8. Vàters amb descàrrega pressuritzada

Una altra possible mesura d'estalvi d'aigua en vàters consisteix en els sistemes de descàrrega pressuritzada, que no disposen de cisterna sinó que efectuen la neteja del vàter per la important pressió d'aigua directament de la xarxa, efectuada per l'usuari en prémer un sistema d'obertura de vàlvula. D'aquesta manera es possibiliten descàrregues seguides, ja que no és necessari càrregar la cisterna després de l'ús de l'aigua. Amb aquest sistema s'aconsegueixen estalvis similars als que s'aconsegueixen amb vàters amb cisternes de doble descàrrega o interrupció de descàrrega, sempre i quan amb un lleuger accionament del botó no es descarreguin més de tres litres d'aigua, i en prémer el botó un temps superior, l'aigua de descàrrega no superi els 9 litres. Un desavantatge important del sistema és que requereix una pressió de la xarxa d'aigua superior a 150 kPa (enlloc de 100 kPa per a aixetes normals). En conseqüència, aquest sistema necessita un major control de possibles fugues d'aigua i fa difícil combinar-lo amb sistemes de reutilització d'aigües grises o aigua pluvial que, per a aquestes finalitats, haurien de ser equipats amb més potència de bomba per garantir la pressió requerida.

9.3.9. Reg

La precondició per un ús responsable de l'aigua a zones verdes exteriors és seleccionar una vegetació adequada per a la climatologia mediterrània. Els sistemes que minimitzen el consum d'aigua poden ser la micro-irrigació, el reg per degoteig, una xarxa d'aspersors regulats per programador o detectors d'humitat per controlar la

freqüència de reg, sobretot, en dies de pluja. Si no es disposa d'alguna forma de reg automatitzat, és convenient efectuar el reg en hores de mínima evaporació com els matins o els vespres. En qualsevol dels casos, es recomana instal·lar un comptador específic per a aquestes funcions per a controlar el consum.

9.4. Estratègies per a aprofitar i reutilitzar les aigües

Hi ha tres sistemes d'aprofitament i reutilització d'aigües principals: aprofitament d'aigües pluvials, d'aigües sobrants de les piscines o la reutilització d'aigües grises. Totes tres tenen els avantatges que es tracta de recursos descentralitzats, que prescindeixen de transport o xarxa de distribució, són gratuïts i necessiten un tractament mínim. D'altra banda, són recursos no sempre disponibles, irregulars, alguns d'ells amb alta variabilitat estacional i que, en conseqüència, necessiten un subministrament de suport o complementari convencional.

Una alternativa a la recollida d'aigües pluvials, sobrants de piscines i/o l'aprofitament d'aigües grises consisteix en la connexió a la xarxa municipal de proveïment d'aigua no potable, sempre i quan sigui possible.

9.4.1. Aprofitament de l'aigua pluvial

L'aigua pluvial pot contribuir de forma important a satisfer les necessitats d'aigua no potable, com l'aigua per a rec i cisternes de vàters o dipòsits contra incendis. El sistema de captació d'aigües pluvials ha de constar d'una superfície captadora, canalitzacions exteriors (canals) de conducció de l'aigua de pluja, un sistema de decantació o filtrat d'impureses i un aljub o dipòsit d'emmagatzematge.

Com a superfície de captació són especialment adequades les cobertes dels edificis, ja que es tracta de superfícies altament impermeables, sent aquesta la funció essencial de les cobertes. En aquest sentit, la major part d'un sistema d'aprofitament de l'aigua pluvial ja existeix com a part íntegra de l'edifici, amb una taxa d'absorció d'aigua baixa que afavoreix el màxim aprofitament de la pluja incident. De la mateixa manera, ja hi ha també els conductes i canalitzacions, sovint independents de les aigües usades fins al clavegueram. Altres avantatges importants del fet d'utilitzar les cobertes com a superfícies captadores consisteixen en la seva exposició al Sol, que afavoreix l'esterilització natural de les superfícies, així com el fet que normalment no són transitades i raonablement netes sense acumulació de residus.

El decantador i el filtre tenen per funció recollir qualsevol resta arrossegada per l'aigua com ara sorra, pinassa, fullaraca. D'aquesta manera se n'evita la decantació al fons dels dipòsits, garantint, d'aquesta manera, la bona conservació de l'aigua i evitant realitzar un manteniment freqüent dels equips. Una vàlvula de derivació inclosa en el decantador permet derivar les aigües procedents de les primeres pluges després d'un llarg període de sequera, evitant que la brutícia pugui corrompre les reserves d'aigua. Una vàlvula de fons permet mantenir una reserva mínima d'aigua que garanteixi continuar amb les tasques automatitzades que estiguin programades. Aquesta reserva es podrà proveir amb aigua de xarxa o bé, en el cas d'haver-n'hi, amb aigua de pou.

El dipòsit d'emmagatzematge és, preferentment, d'un material no porós com el polièster reforçat amb fibra de vidre, que garanteix una millor qualitat de l'aigua, alhora que en facilita la neteja i el manteniment. El dipòsit ha de comptar amb un

sobreeixidor i un equip de bombeig que proporcioni la pressió i el cabal necessari per a cada ús. El soterrament del dipòsit possibilita la perfecta integració en l'entorn i preserva l'aigua de la insolació i les altes temperatures, contribuint a preservar les aigües emmagatzemades en condicions òptimes.

9.4.2. Aprofitament de l'aigua sobrant de piscines

Per garantir les condicions d'higiene a les piscines públiques, es renova diàriament una quantitat mínima de l'aigua. Degut als volums importants dels vasos de les piscines aquesta renovació d'un petit percentatge d'aigua implica el rebuig d'un important volum d'aigua.

Aquesta aigua es pot utilitzar per a les mateixes aplicacions que la pluja; ara bé, per al reg es fa necessària una declaració prèvia de l'aigua. El sistema per a aprofitar l'aigua sobrant de piscines és idèntic al de l'aprofitament de l'aigua de pluja.

9.4.3. Reutilització d'aigües grises

Les aigües que provenen de la dutxa, la rentadora o el rentamans (aigües grises) es poden reutilitzar per a les cisternes del vàters. Per a aquest sistema cal preveure una segona xarxa de canonades independents per a les aigües de la dutxa, banyera o rentamans cap a una instal·lació de tractament i dipòsit d'emmagatzematge, des d'on es bomba l'aigua tractada cap als vàters mitjançant una xarxa pròpia. Per al cas que les aigües grises no abasteixin l'aigua necessària per a les cisternes dels vàters, el dipòsit d'emmagatzematge disposa d'una alimentació de l'aljub d'aigües pluvials o de la xarxa de proveïment. En tot cas, el sistema ha d'impedir que puguin posar-se en contacte les aigües de tots dos orígens. Igualment s'ha de revisar periòdicament les condicions sanitàries de l'aigua emmagatzemada. Un sobreeixidor es condueix cap al sistema d'evacuació d'aigües residuals.

9.4.4. Dimensionament dels dipòsits d'aigües no potables

El disseny de les instal·lacions i dels sistemes d'aigües pluvials/aigües sobrants de piscines o aigües grises reutilitzades ha de garantir en tot cas que l'aigua dipositada no es pugui confondre amb l'aigua potable i que sigui impossible de contaminarne el subministrament. Per tant, és necessari un sistema de doble seguretat per no barrejar aquesta aigua amb la potable o bé la instal·lació d'un sistema d'interrupció de flux.

El càlcul del volum del dipòsit d'aigua depèn directament del consum d'aigua no potable previst i de la quantitat d'aigües pluvials, sobrants de piscines o grises que es puguin recollir. Per al cas d'aigua sobrant de les piscines, l'aigua a disposició depèn directament del volum de la piscina i del percentatge de renovació establert. Per la reutilització d'aigües grises és necessari estimar la quantitat d'aigua procedent de dutxes, banyeres i rentamans. Per al cas de l'aigua pluvial, el volum del dipòsit s'estableix com el resultat d'un polinomi que integra la demanda d'aigua per a cisternes de vàters i rec de zones verdes, la precipitació i la superfície de captació amb el coeficient corresponent a la porositat del material captador. Diferents ordenances de municipis catalans prescriuen, a més a més, un volum mínim del dipòsit d'emmagatzematge, sovint en funció del tipus d'edifici.

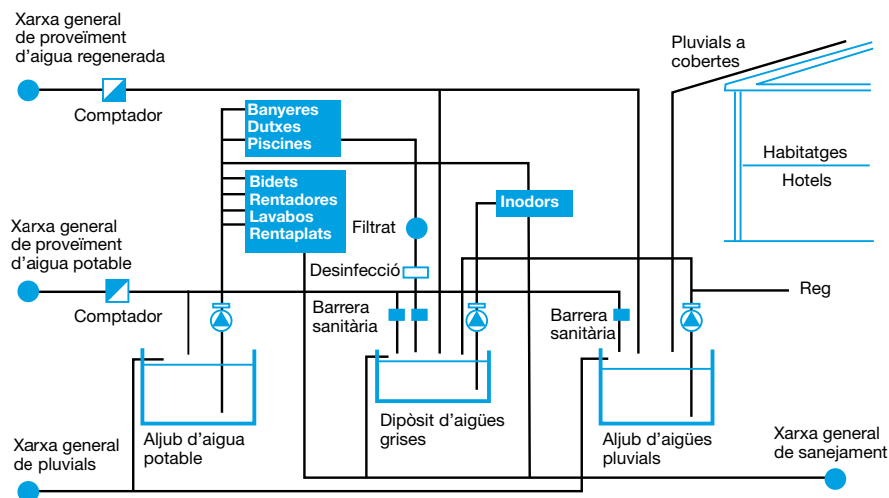
El consum d'aigua no potable previst per a l'edifici es determina directament en funció del nombre d'usuaris, equipaments existents (dutxes, piscines, zones verdes, etc.). A la taula 9.1. hi apareixen valors aproximats.

La quantitat d'aigua que es pugui captar depèn de la superfície captadora en projecció horitzontal, la seva extensió i rugositat. Les cobertes que tenen una resposta més ràpida a la pluja i amb més eficiència i netedat són les metàl·liques, normalment de xapa, per la pràctica absència de rugositat i punts de retenció de residus arrossegats per l'aigua; altres cobertes, com les de teules, són més lentes i de menor eficiència, però igualment aptes per a la captació.

Les dades pluvials mensuals de les 148 estacions meteorològiques de Catalunya es poden consultar gratuïtament al Servei Meteorològic de Catalunya¹⁹. Com a base fiable de les precipitacions a preveure per a cada indret, s'utilitza la mitjana de precipitació mensual d'un període de deu anys.

Figura 9.6. Esquema d'instal·lació d'aigües grises regenerades i pluvials en habitatges i hotels. Font: Ordenança tipus d'estalvi d'aigua de la Xarxa de Sostenibilitat, Diputació de Barcelona.

Esquema d'instal·lació d'aigües grises, regenerades i pluvials en habitatges i hotels



Taula 9.4. Factor d'eficiència de captació en funció de la superfície de coberta.

Tipus de superfície de coberta	Factor d'eficiència de captació
Coberta metàl·lica	0,9
Teules	0,8 - 0,85
Coberta invertida (amb grava)	0,7 - 0,8
Formigó	0,6 - 0,8
Paviment ceràmic	0,5 - 0,6
Terra amb pendent < 10%	0,0 - 0,3
Superfícies rocoses	0,2 - 0,5

¹⁹ Servei Meteorològic de Catalunya: www.meteo.cat.

La capacitat de captació d'aigua de pluja es determina segons els paràmetres següents:

$$\text{Capacitat de captació d'aigua pluvial (m}^3\text{)} = \frac{\text{Mitjana anual de precipitació (mm)} \times \text{superfície de captació en projecció horitzontal (m}^2\text{)} \times \text{factor d'eficiència de captació}}{1.000}$$

Exemple

En un municipi amb 540 mm de precipitació anual i una superfície aprofitable de 200 m² amb una coberta plana invertida, la capacitat de captació d'aigua de pluja es determina en: 540 x 200 x 0,75 = 81 m anuals.

A partir d'aquest valor, hi ha diferents mètodes de càlcul per a determinar el volum del dipòsit, basant-se només en el valor mitjà anual o tenint en compte el període bimensual de més pluviositat fins a càlculs exactes del nivell de l'aigua a l'interior del dipòsit a dimensionar. En qualsevol cas, és determinant el valor inferior entre demanda i possible captació com a base del càlcul. A grans trets, es pot estimar el volum del dipòsit com entre una sexta i quarta part de la capacitat de captació, en l'exemple esmentat anteriorment equivalent a entre 15-20 m³.

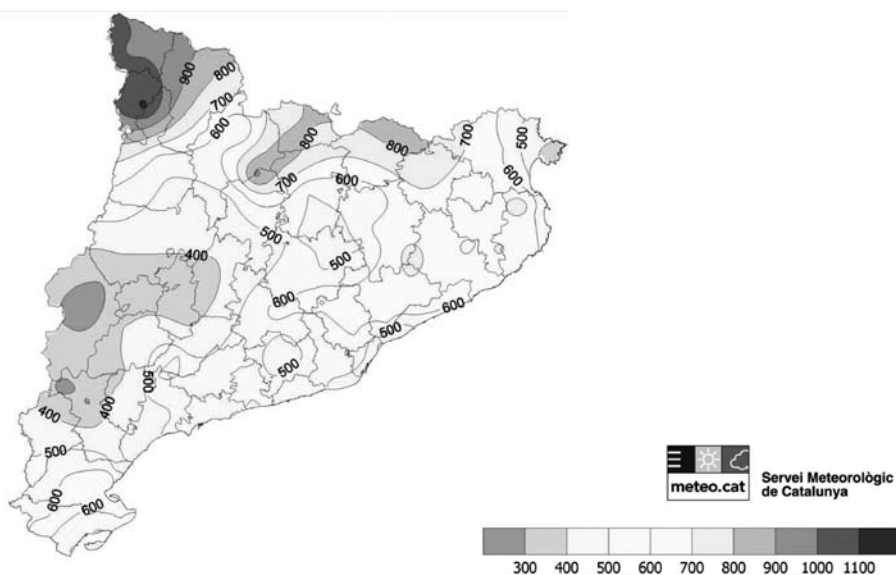


Figura 9.7. Precipitació acumulada durant l'any pluviomètric setembre 2006 - agost 2007.

9.5. Recomanacions

9.5.1. Sistema

- Aplicar sistemes de reducció de la demanda en aixetes i dutxes.
- Comprovar la possibilitat d'instal·lació d'urinaris sense aigua i cisternes de vàters de baix consum. Aquestes mesures són sobretot indicades quan es poden fer coincidir amb una renovació de l'equipament sanitari per altres motius (envelliment, malfuncionament, etc.).
- Comprovar la possibilitat d'instal·lar un sistema de captació pluvial: superfície captadora, possibles usos (necessitat de reg), dificultats d'instal·lar una segona canonada per alimentar cisternes dels vàters, espai per al dipòsit, etc.
- Comprovar la possibilitat d'instal·lar un sistema de reaprofitament d'aigües grises: capacitat de captació, espai per a filtratge i dipòsit, usos.

9.5.2. Manteniment

El manteniment per tenir les instal·lacions d'estalvi d'aigua i aprofitament d'aigües grises i pluvials en perfecte estat de funcionament - amb una aigua incolora i inodora inclou, amb especial atenció els sistemes de reutilització d'aigües:

- Neteges periòdiques dels filtres, amb un mínim de dues vegades l'any i llur reposició quan se n'esgoti la vida útil.
- Buidat anual del decantador.
- Neteges periòdiques dels dipòsits d'emmagatzematge d'aigua, amb un mínim d'una vegada a l'any.
- Manteniment dels equips de bombatge segons indicacions del fabricant.

L'ordenança tipus sobre l'estalvi d'aigua esmentada anteriorment preveu, a més a més, per a totes les instal·lacions d'aigües grises, l'obligatorietat d'un contracte de manteniment que contempli la revisió del sistema de depuració amb una freqüència mínima de dues vegades l'any.

9.5.3. Ús

Conscienciar el personal del potencial d'estalvi d'aigua mitjançant un ús responsable dels dispositius, com ara evitar l'ús del vàter com a paperera.



10. El CAP Roger de Flor un edifici exemplar

10.1. Antecedents

El disseny i construcció del Centre d'Atenció Primària Roger de Flor de Barcelona, han tingut com a objectius l'estudi, la integració i la promoció de criteris d'edificació sostenible en edificis sanitaris.

Aquesta iniciativa de la Generalitat de Catalunya, de caràcter multidepartamental, fomenta l'ús de materials de baix impacte ambiental, l'estalvi energètic i l'aplicació de sistemes eficients en edificis, així com l'aprofitament de l'energia solar i dels recursos hídrics locals.

Es preveu que els criteris constructius i les mesures aplicades permetran un estalvi tèrmic i elèctric d'aproximadament 285.000 kWh anuals. La reducció del consum d'aigua s'estima en un 35% i es preveu l'estalvi de 400 m³ anuals, gràcies a l'aprofitament de les aigües pluvials i la reutilització de les aigües grises.

El projecte vol contribuir també al desenvolupament de la política i la legislació energètica europea en matèria d'edificació sostenible, així com la penetració de tecnologies sostenibles innovadores en el mercat, mitjançant un monitoratge molt extens de les innovacions aplicades i la difusió dels resultats.

Un disseny de baix consum energètic, la utilització de materials i elements de baix impacte ambiental, la instal·lació de sistemes de climatització eficients, l'aprofitament de fonts d'energia renovables o l'aplicació de sistemes de control energètic són mesures que permeten reduir els requisits globals d'energia dels edificis, sense que això comporti reduir el confort o encarrir el preu final de l'obra per sobre del 5%.

Aquests han estat els criteris aplicats en el disseny i construcció del Centre d'Atenció Primària Roger de Flor de Barcelona, una actuació que ha tingut com a objectius principals l'estudi, la integració i la promoció de criteris d'edificació sostenible en edificis sanitaris, analitzant la viabilitat, tant tècnica com econòmica, de noves solucions aplicables. La iniciativa introdueix materials reciclats i sostenibles, concepcions arquitectòniques innovadores, tecnologies energèticament eficients i que aprofiten les energies renovables i un sistema automàtic de gestió d'energia, exemples de mesures que proposa el Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015 per a una nova edificació més sostenible.

Aquesta actuació s'emmarca en el projecte europeu SARA –Sustainable Architecture Applied to Replicable Public Access Buildings- que té com a objectiu principal la construcció d'edificis públics de demostració que siguin, a la vegada, sostenibles, econòmicament viables, amb un rendiment energètic alt i que puguin ser replicables en la seva metodologia de treball a gran escala a qualsevol lloc d'Europa.

El projecte SARA va començar el juny de 2004 i va finalitzar el maig 2008. Inclou una mostra de set edificis públics altament sostenibles i replicables en sis estats

membres de la Unió Europea (Àustria, Espanya, França, Itàlia, Regne Unit i Eslovènia) i a l'Uzbekistan. Hi ha quinze entitats participants en el projecte: promotors, administracions i organitzacions científiques i de recerca.

Per tal d'ampliar els coneixements sobre el comportament energètic dels edificis i obtenir una integració tecnològica eficient de les innovacions aplicades, s'ha establert un sistema de monitoratge a distància dels edificis enllaçant els grups d'experts als diferents centres de recerca.

Altres participants treballen en paral·lel en temes de desenvolupament tecnològic d'integració del sistema de gestió de l'edifici (BMS-Building Management System), d'estudis socioeconòmics, de difusió via Internet i de formació, per tal de crear sinergies en els diferents aspectes del projecte.

10.2. Disseny de l'edifici

El disseny arquitectònic respon als diferents requisits energètics de confort d'estiu i d'hivern, i ha tingut una cura especial amb els tancaments de l'edifici, tant per la seva qualitat com per la quantitat i disposició de les obertures de les façanes. Un pati interior i l'alta permeabilitat a la planta baixa fomenten la ventilació natural i la penetració de la llum natural als espais interiors.

Alguns dels materials de baix impacte ambiental emprats en la construcció de l'edifici han estat els següents:

- Aïllament natural de suro a la façana, amb un coeficient de transmissió tèrmica de $0,45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
- Vidres de baixa emissivitat i una transmissió tèrmica d' $1,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

No s'han utilitzat materials de PVC ni pintures amb dissolvents.

10.3. Sistema de climatització

El sistema de climatització (calefacció i refrigeració) consisteix en panells radiants integrats als sostres amb un coeficient d'eficiència energètica (COP - Coefficient Of Performance) superior a 4.

Aquest sistema permet treballar a temperatures del circuit del fluid de climatització més properes a les temperatures de confort. D'aquesta manera, les temperatures del sistema de refrigeració són de $15\text{-}17^\circ\text{C}$ enlloc dels 7°C d'un sistema de climatització convencional, i les de calefacció són de 35°C enlloc dels $45\text{-}70^\circ\text{C}$. Aquesta reducció de nivells de fred o calor a aportar per part del sistema comporta un estalvi energètic estimat d'uns 33.000 kWh/any .

El disseny de l'edifici preveu instal·lar plaques fotovoltaiques connectades a xarxa. Els 99 mòduls ocupen una superfície de 126 m^2 i tenen una producció elèctrica estimada de 12.000 kWh/any . S'han incorporat també 12 captadors solars tèrmics amb una superfície total de 24 m^2 i una producció tèrmica estimada de 22.000 kWh/any , una energia que equival al 65% de la demanda tèrmica per a l'escalfament de l'aigua sanitària.

10.4. Ventilació

El sistema de climatització per superfícies radiants requereix ventilació independent i un tractament de l'aire que ajusti la humitat per tal d'evitar condensacions.



CAP Roger de Flor. Producció prevista de 12.000 kWh/any d'energia elèctrica per instal·lació solar fotovoltaica.

CAP Roger de Flor. Aïllament natural de suro de 6 cm a la façana amb una transmissió tèrmica de 0,45 W/m²·K.

CAP Roger de Flor. Ventilació natural mitjançant l'obertura de la planta baixa i la introducció d'un pati interior.

S'ha optat per un sistema basat en clorur de liti, que a més té propietats desinfectants de l'aire.

Amb l'objectiu de minimitzar encara més la demanda energètica per a la climatització, s'hi han incorporat bescanviadors d'aire per recuperar la calor de l'aire de retorn i preescalfar l'aire d'entrada a l'hivern o per disminuir la temperatura de l'aire d'entrada en l'època d'estiu. La disposició general de les obertures i el pati interior permeten a més a més la climatització natural en èpoques intermèdies (primavera i tardor), dirigit pel sistema de gestió de l'edifici.

10.5. Il·luminació

Mitjançant lamel·les horitzontals de protecció solar s'aconsegueix el control d'il·luminació natural al pati i a les sales d'espera a l'interior, i amb elements verticals i horitzontals es regula la relació entre protecció solar i il·luminació natural a la façana sud-est de l'edifici. Les lluminàries són fluorescents amb balast electrònic i un sistema de control lumínic a les sales d'espera ajusta la intensitat de la llum artificial a la llum natural amb un estalvi d'electricitat previst d'un 50%.

10.6. Sistema de gestió de l'edifici

Per optimitzar el funcionament de climatització i il·luminació dels espais, s'hi ha instal·lat un sistema de gestió centralitzada, que té un nombre elevat de sensors d'il·luminació, temperatura, humitat i de presència. La lectura de la informació numèrica es realitza en línia, cosa que permet contrastar les dades de l'estudi amb les reals de l'edifici i millorar els algorismes de control.

10.7. Estalvi d'aigua

L'edifici incorpora mesures per a reduir el consum d'aigua i l'aprofitament de l'aigua de pluja i de les aigües grises. Així, disposa de cisternes de vàter de doble descàrrega i aixetes d'obertura en fred (monocomandament) amb airejadors per a les piques dels serveis i amb limitadors de cabal i temperatura per a les consultes i les dutxes. Una cisterna subterrània amb una capacitat de 15 m³ recull l'aigua de pluja per ser utilitzada a les cisternes de vàter, així com també les aigües grises una vegada han estat sotmeses a una depuració físico-química (filtratge i cloració).



11. Referències

Publicacions

- **Código Técnico de la Edificación.** 2006.
- **Guía técnica de eficiencia energética en iluminación.** IDAE 2001.
- **Guía Técnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios.** IDAE 2005.
- **Calidad y uso racional de la energía eléctrica.** Josep Balcells Sendra, Circutor S.A.
- **Manual teòric-pràctic d'instal·lacions de Baixa Tensió.** Ramon Royo Badia. Schneider electric.
- **Tejados fotovoltaicos - energía solar conectada a la red eléctrica,** SEBA. Jaime Serrasolses, Sevilla 2004.
- **Engineering Manual of Automatic Control for Commercial Buildings,** Honeywell Inc. 1997.
- **Modern Control Systems,** Richard C. Dorf Addison Wesley 1974.
- **Estudi del consum d'aigua als edificis de la regió metropolitana de Barcelona. Situació actual i possibilitats d'estalvi,** Fundació AGBAR / Departament de Medi Ambient i Habitatge / Fundació Abertis / ICDA, Barcelona, juliol 2004.
- **Paràmetres de sostenibilitat.** Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, 2003.
- **Manual de climatización.** E. Torrella, J. Navarro, R. Cabello, F. Gómez. Madrid Vicente Ediciones.
- **Operations & Maintenance Manual for Energy Management,** James E. Piper, Sharpe Professional.
- **Air Conditioning Principles & Systems.** An Energy Approach. Edward G. Pita.

Entitats

- **ETAP Lighting** (www.etaplighting.com).
- **International Electrotechnical Commission** (www.iec.ch).

Normativa

- **Ordenança municipal per a l'estalvi d'aigua de Sant Cugat del Vallès,** 2002.
- **Ordenança tipus sobre l'estalvi d'aigua, grup de treball Nova Cultura de l'Aigua.** Xarxa de Ciutats i Pobles cap a la Sostenibilitat - Barcelona desembre 2005. Ministeri de Medi Ambient i Seguretat Nuclear d'Alemanya.



12. Agraïments

SARA

Aquesta guia rep el cofinançament de la Comissió Europea (DG TREN) en el marc del projecte SARA – Sustainable Architecture Applied to Replicable Public Access Building – Arquitectura sostenible aplicada a edificis públics replicables, del 6è. Programa Marc, contracte TREN/04/FP6EN/S07.31838/503118.

Més informació a: www.sara-project.net

Eco-building

Els projectes Eco-building tenen com a objectiu una nova aproximació al disseny, construcció i operació d'edificis nous i/o rehabilitats, que es basa en la millor combinació de la doble aproximació: reduir substancialment la demanda de calefacció, refrigeració i il·luminació i proporcionar l'energia necessària de la manera més eficient i basada, tant com sigui possible, en fonts d'energia renovables i en la poligeneració.

Més informació a: <http://www.ecobuildings.info/>

La Campanya per l'Energia Sostenible a Europa 2005-2008

La Campanya per l'Energia Sostenible a Europa 2005-2008 és una iniciativa de la Comissió Europea dins el marc del programa Energia Intel·ligent – Europa (2003-2006), que té com a objectiu crear una consciència pública i promoure la producció i l'ús d'energia sostenible entre individus, organitzacions, companyies privades i organismes públics, agències professionals i de l'energia, associacions industrials i ONG a tota Europa. SARA és un membre oficial de la campanya.

Més informació a: <http://www.sustenergy.org/>

Mereixen un agraïment especial les persones que van donar suport a alguns apartats específics: Francisco García Marco, Joan Vidal Rull, Jordina Vidal, Marc Gabarró, Miquel Rius, Sergi Cantos, Manel Eroles Miralles, José M. Martínez Lunaga, Josep Negre Canut i Joan Escardó.

