ESTUDI COMPARATIU DELS SISTEMES DE REFREDAMENT D'AIGUA

Juny 2010

Generalitat de Catalunya
Institut Català d'Energia

www.gencat.cat/icaen

Aquest estudi ha estat realitzat per l'empresa SGS Tecnos S.A. per encàrrec de l'Institut Català d'Energia

Aquesta obra està subjecta a una llicència Reconeixement-No Comercial-SenseObres Derivades 3.0 de Creative Commons.
Per veure'n una còpia, visiteu http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/
Se'n permet la còpia, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi la font (Institut Català d'Energia) i l'ús concret no inclogui finalitat comercial. S'ha d'informar sobre les condicions sota les que aquest treball pot ser distribuït o comunicat. Tampoc no se'n poden fer obres derivades.

Barcelona, juny del 2010

ESTUDI COMPARATIU DELS SISTEMES DE REFREDAMENT D'AIGUA

ÍNDEX

TECNOLOGIES ANALITZADES 5
CONCLUSIONS DESTACADES DE L'ESTUDI 5
1// INTRODUCCIÓ 7
1.1 // Antecedents 7
1.2 // Objectiu 7
LEGISLACIÓ APLICABLE 8
1.3 // Llista de normativa 8
1.4 // Descripció breu de la normativa 8
2// DESCRIPCIÓ TÈCNICA DE LES TECNOLOGIES I CRITERIS DE SELECCIÓ 12
DESCRIPCIÓ TÈCNICA DE LES TECNOLOGIES 12
2.1 // **TORRE DE REFRIGERACIÓ** 13
2.2 // **CONDENSADOR EVAPORATIU** 16
2.3 // **AEROREFREDADOR (DRY-COOLER)** 17
2.4 // **AEROCONDENSADOR (DRY-CONDENSER)** 19
2.5 // **REFREDADOR ADIABÀTIC** 19
2.6 // **CONDENSADOR ADIABÀTIC** 21
CRITERIS TÈCNICS DE SELECCIÓ DE TECNOLOGIES 22
2.7 // **EXIGÈNCIES DE DISSENY** 22
2.8 // **VIABILITAT TÈCNICA** 25
3// CONSUM ENERGÈTIC I EXIGÈNCIES AMBIENTALS 28
AVALUACIÓ ENERGÈTICA, AIGUA, ESPAIS I ALTRES CRITERIS SIGNIFICATIUS 28
3.1 // CONSUM ENERGÈTIC 29
3.2 // CONSUM D'AIGUA 33
3.3 // ESPAI OCUPAT 36
3.4 // NIVELL DE PRESSIÓ SONORA 38
3.5 // CONTAMINACIÓ BIOLÒGICA 39
3.6 // CONSUM DE REACTIUS 41
3.7 // CONCLUSIONS DE L'ESTUDI MEDIAMBIENTAL 43

4// ESTUDI ECONÒMIC I D'EMISSIONS: COMPARATIVA DE TECNOLOGIES DE REFREDAMENT EN UN SISTEMA DE CLIMATITZACIÓ D'UN EDIFICI D'OFICINES 45

COMPARATIVA SISTEMES DE REFREDAMENT EN EDIFICIS 45

4.1 // BASES DE PARTIDA 45

4.2 // HIPÒTESIS DE COMPARACIÓ 47

4.3 // DEMANDA DE REFRIGERACIÓ 50

4.4 // HIPÒTESI A (SISTEMA SEC): BALANÇ ENERGÈTIC I D'EMISSIONS 57

4.5 // HIPÒTESI B (SISTEMA HUMIT): BALANÇ ENERGÈTIC I D'EMISSIONS 58

4.6 // HIPÒTESI C (SISTEMA HÍBRID): BALANÇ ENERGÈTIC I D'EMISSIONS 60

4.7 // RESULTATS DELS BALANÇOS ENERGÈTICS 62

4.8 // BALANÇ ECONÒMIC 63

4.9 // RENDIBILITAT D'UN SISTEMA DE CLIMATITZACIÓ AMB TORRE DE REFRIGERACIÓ 71

4.10 // REPERCUSSIÓ ENERGÈTICA DE LA LEGISLACIÓ 72

4.11 // CONCLUSIONS 73

ANNEX 1.- AVALUACIÓ DEL MANTENIMENT

INTRODUCCIÓ 74
Torres de refrigeració i condensadors evaporatius 74
Aerorefredadors i aerocondensadors 78
Aerorefredadors i condensadors adiabàtics 80
Conclusions de les exigències de manteniment 82

ANNEX 2.- ESTUDI DE REPERCUSSIÓ DE LA LEGISLACIÓ A LES INSTAL·LACIONS EN ACTIU

INTRODUCCIÓ 83
HISTÒRIC DE LES ENTITATS DE REVISIÓ 83
i. Evolució de l'històric de les entitats de revisió 83
ii. Conclusió 85
EVOLUCIÓ DE LES INSTAL·LACIONS EN ACTIU (GEN.CAT.) 86
iii. Cens de la Generalitat de Catalunya 87
iv. Dades actuals de les instal·lacions en actiu (2008) 89
v. Zones de major disminució de sistemes humits 92
vi. Conclusió 93
CONCLUSIONS GENERALS 94

ANNEX 3.- ALTRES DOCUMENTS

Registre de models de sistemes per REFREDAMENT 96
Registre de models de sistemes per CONDENSACIÓ 98

0// RESUM EXECUTIU

TECNOLOGIES ANALITZADES

L'anàlisi realitzada se centra en les tecnologies més comunes i que es reflecteixen a la taula següent:

	TECNOLOGIA	
	REFREDAMENT	CONDENSACIÓ
Sistemes humits	Torre de refrigeració	Condensador evaporatiu
Sistemes secs	Aerocondensador	Aerocondensador
Sistemes híbrids	Aerorefredador adiabàtic	Aerocondensador adiabàtic

CONCLUSIONS DESTACADES DE L'ESTUDI

- Per a un sol consum energètic, les torres de refrigeració dissipen aproximadament quatre vegades més calor que els sistemes secs i el doble que els sistemes híbrids.
- Els sistemes humits consumeixen aproximadament un 40% més d'aigua que els sistemes híbrids, mentre que els sistemes secs no consumeixen aigua per a funcionar.
- L'espai que ocupen els equips creix amb la potència tèrmica a dissipar, però la ràtio de superfície (m^2/MWt) disminueix. En els sistemes secs però, a partir de 300 kWt, hi ha un fort increment de la ràtio. L'espai ocupat pels sistemes humits (torres de refrigeració) és sempre inferior al de les altres tecnologies.
- La torre de refrigeració és l'equip més silenciós, amb un 9% menys de pressió sonora que els adiabàtics i un 7% menys que els sistemes secs, mentre que els sistemes híbrids són els equips que emeten més soroll.
- Els sistemes humits són els únics que tenen un risc inherent de contaminació biològica. L'acumulació d'aigua i les temperatures de treball generen un ambient idoni perquè hi proliferi la *legionela pneumophila* si no es controlen adequadament els paràmetres fisicoquímics. El bescanvi d'aigua que es produeix pot arribar a generar una emissió d'aerosols que transporti el bacteri alguns metres al voltant (si el separador de gotes no funciona correctament).
- Els sistemes humits són els únics que necessiten un consum continu de productes per tal de controlar els paràmetres químics adequats per al funcionament i també per a contenir el risc biològic.
- L'evolució de les corbes de rendiment energètic indica que en qualsevol potència, els sistemes energèticament més eficients són els sistemes humits, seguits dels sistemes híbrids.
- Analitzant tots els costos, el sistema amb torre de refrigeració té un estalvi econòmic anual important, derivat de l'estalvi energètic. De tota manera, no és el més rendible econòmicament, tot i ser el més eficient energèticament.

- Es detecta una disminució del parc global de sistemes humits (torres de refrigeració i condensadors evaporatius) instal·lats a Catalunya. La substitució massiva de sistemes humits per sistemes secs a Catalunya comporta un increment força important en el consum energètic.
- L'evolució de vendes efectuades durant els darrers anys reflecteix una tendència a la disminució de les torres de refrigeració, i un progressiu increment d'algunes tecnologies alternatives, especialment els aerorefredadors.

1// INTRODUCCIÓ

1.1 // ANTECEDENTS

L'energia és un element imprescindible per al desenvolupament de la societat. Però l'actual model energètic, basat en la dependència dels combustibles fòssils, així com la manca de cultura i recerca en criteris i mecanismes d'estalvi energètic, ha provocat un augment constant i progressiu de la demanda d'energia primària.

En molts sectors està present la dissipació de calor degut a la necessitat de refredar líquids o gasos. És en aquest escenari que les torres de refrigeració prenen un paper preponderant en l'evacuació d'energia tèrmica, en paral·lel amb altres tecnologies d'ús assimilable. Les característiques de tot aquest conjunt de tecnologies, així com l'ús que se'ls dóna repercuteixen de manera destacable sobre l'eficiència energètica de processos i, en conseqüència, sobre els consums d'energia primària del país.

Ara bé, cada tipus de tecnologia està subjecta a un marc normatiu estatal i local, que controla i condiciona la implantació d'algunes d'aquestes tecnologies. Això fa que a vegades la tecnologia escollida no sigui la que té més eficiència energètica, ni la més adient per al procés al qual està associada**.**

1.2 // OBJECTIU

L'Estratègia d'estalvi i eficiència energètica del Pla de l'energia de Catalunya determina les accions necessàries per a vèncer les barreres existents a l'extensió i augment de l'eficiència energètica en un ampli ventall d'àmbits i nivells d'actuació.

Entre les tecnologies més eficients energèticament, destaquen les torres de refrigeració en aplicacions industrials i en grans sistemes de condicionament d'aire.

Aquestes instal·lacions tenen un risc per a la salut a causa dels brots de legionel·la que sorgeixen de tant en tant, sempre que no se'n faci un manteniment correcte, i que és probable que condicionin fortament la implantació d'aquests equips a causa de legislacions que poden ser mal interpretades.

En aquest sentit, aquest estudi avalua la tecnologia de les torres de refrigeració i les seves possibles substitutes, amb objecte de descobrir les barreres que dificulten la implantació d'aquests sistemes i també comprovar el potencial actual d'aquesta i d'altres tecnologies que entren al llarg de la selecció i l'explotació de les instal·lacions de dissipació de calor.

En l'estudi, s'exposa una visió global dels sistemes més importants, amb una valoració comparativa de cadascun dels paràmetres més significatius en una instal·lació d'aquest tipus.

Paral·lelament, mitjançant una situació "tipus" i, partint de dades reals, s'analitzen els resultats d'estalvi energètic, econòmic, i la repercussió d'emissions que pot representar per a Catalunya escollir tecnologies de rendiments energètics inferiors als de les torres de refrigeració.

LEGISLACIÓ APLICABLE

1.3 // LLISTA DE NORMATIVA

Estatal

- Reial decret 1027/2007, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- Reial decret 865/2003, de 4 de juliol, pel qual s'estableixen els criteris higiènics i sanitaris per a prevenir i controlar la legionel·losi.

Autonòmica

- Decret 352/2004, de 27 de juliol, pel qual s'estableixen les condicions higièniques i sanitàries per a prevenir i controlar la legionel·losi.

Municipal

- Ordenança reguladora de la Intervenció Integral de l'administració municipal en activitats i instal·lacions (Ajuntament de L'Hospitalet de Llobregat). *Butlletí Oficial de la Província de Barcelona* núm. 47, 24/02/2009).

Nota: aquesta llista correspon a les normatives més significatives detectades. No es tracta d'una llista exhaustiva ja que no s'han analitzat amb detall tots i cadascun dels municipis de Catalunya.

1.4 // DESCRIPCIÓ BREU DE LA NORMATIVA

a. Reial decret 1027/2007, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).*

Objecte

Estableix les exigències d'eficiència energètica i seguretat que han de complir les instal·lacions tèrmiques als edificis per tal d'atendre la demanda de benestar i higiene de les persones, tant en les fases de disseny, dimensionat i muntatge com al llarg de la seva utilització i manteniment.

Àmbit d'aplicació (estatal)

Aplicat a les instal·lacions tèrmiques dels edificis de nova construcció o a les reformes de les mateixes als edificis ja construïts.
No s'aplica per a instal·lacions tèrmiques de processos industrials, agrícoles, o d'altre tipus.
El RITE també s'aplica a les instal·lacions tèrmiques actuals pel que fa referència al seu manteniment, ús i inspecció.

Descripció

Per a complir l'objectiu, el RITE es troba dividit en dues parts principals:

- Disposicions generals.
- Instruccions tècniques complementàries.

La primera inclou els criteris i les condicions d'aplicació del reglament, mentre que la segona caracteritza i detalla les exigències tècniques que han de complir els equips de calefacció, refrigeració, ventilació, etc. i totes les instal·lacions associades (conduccions, canonades, sistemes de recuperació d'energia, capacitat de regulació i modulació del conjunt...).

Relació amb l'estudi

El RITE indica les condicions que han de complir els equips de fred en edificis, emprats en aquest estudi al capítol 4 en la comparativa en un edifici. Recorda la obligatorietat que les instal·lacions tèrmiques compleixin la normativa de prevenció de legionel·la (RD 865/2003).

b. Reial Decret 865/2003, de 4 de juliol, pel qual s'estableixen els criteris higiènics i sanitaris per a prevenir i controlar la legionel·losi.

Objecte

Establir les condicions estructurals, d'operació, de manteniment i de control químic i biològic que han de complir les instal·lacions amb risc de legionel·losi. D'altra banda, defineix les exigències burocràtiques de les instal·lacions i les responsabilitats dels titulars.

Àmbit d'aplicació (estatal)

Instal·lacions que poden estar associades a l'aparició de legionel·losi i que utilitzin aigua en el seu funcionament, que produeixin aerosols i es trobin ubicades a l'interior o a l'exterior d'edificis d'ús col·lectiu, instal·lacions industrials o mitjans de transport que puguin ser susceptibles de convertir-se en focus per a la propagació d'aquesta malaltia.
S'exclouen les instal·lacions ubicades en edificis dedicats a l'ús exclusiu d'habitatge, excepte les que afectin l'ambient exterior d'aquests edificis.

Descripció

Complementa l'aplicació del RD 865/2003 en l'àmbit autonòmic, definit mitjançant la classificació de les tipologies d'instal·lacions en:

-Instal·lacions d'alt risc.
-Instal·lacions de baix risc.

Estableix les exigències legals (exigències tècniques i de periodicitat) que han de complir cadascuna de les instal·lacions a nivell de disseny, condicions estructurals, requisits de manteniment, controls químics i biològics. També defineix els protocols d'actuació que s'han de dur a terme en cas de detecció de brot en una instal·lació. Paral·lelament, aquesta norma recull la documentació que el titular necessita disposar en cada cas i la comunicació necessària que s'ha de mantenir entre l'Administració i el titular d'una instal·lació d'alt risc.

Relació amb l'estudi

Instrueix quines són les exigències periòdiques obligatòries i opcionals, dels sistemes humits que són objecte del present estudi. Les torres de refrigeració i els condensadors evaporatius (sistemes humits) es troben classificats com a instal·lació d'alt risc en el Reial decret 865/2003.

c. Decret 352/2004, de 27 de juliol, pel qual s'estableixen les condicions higièniques i sanitàries per a prevenir i controlar la legionel·losi.

Objecte

Establir les condicions estructurals, d'operació, de manteniment i de control químic i biològic que han de complir les instal·lacions amb risc de legionel·losi. D'altra banda, defineix les exigències burocràtiques de les instal·lacions i les responsabilitats dels titulars.

Àmbit d'aplicació (autonòmic – Catalunya)

Instal·lacions que poden estar associades a l'aparició de legionel·losi i que utilitzin aigua en el seu funcionament, que produeixin aerosols i es trobin ubicades a l'interior o a l'exterior d'edificis d'ús col·lectiu, instal·lacions industrials o mitjans de transport que puguin ser susceptibles de convertir-se en focus per a la propagació d'aquesta malaltia.

Se n'exclouen les instal·lacions ubicades en edificis dedicats a l'ús exclusiu d'habitatge, excepte les que afectin l'ambient exterior d'aquests edificis.

Descripció

Complementa l'aplicació del RD 865/2003 en l'àmbit autonòmic, concretant quines són les entitats de revisió que poden dur a terme les activitats de control i tractaments d'instal·lacions amb risc de legionel·losi en l'àmbit català.

Relació amb l'estudi

Instrueix quines són les exigències periòdiques obligatòries i opcionals dels sistemes humits que són objecte d'aquest estudi, complementant al RD 865/2003 en l'àmbit de Catalunya. Segons aquest decret, la classificació de les torres de refrigeració i els condensadors evaporatius coincideix amb el RD 865/2003, com a instal·lacions d'alt risc.

d. Ordenança reguladora de la Intervenció Integral de l'administració municipal en activitats i instal·lacions (Ajuntament de L'Hospitalet de Llobregat). Butlletí Oficial de la Província de Barcelona, núm. 47, 24/02/2009)

Objecte

Establir les directrius bàsiques sobre les quals s'han de regir totes les activitats portades a terme dins el terme municipal de L'Hospitalet de Llobregat.

Àmbit d'aplicació (municipal – L'Hospitalet de Llobregat)

Instal·lacions de nova construcció implantades en el terme municipal de L'Hospitalet de Llobregat.

Descripció

Emesa el dia 24 de febrer del present any 2009. El text breu recollit a la pàgina 45, article 4t. i apartat "g", es presenta a continuació:

> "*Tots els sistemes de refrigeració que s'instal·lin al municipi hauran de ser preferentment equips de producció d'aire fred que no basin el seu funcionament en la transferència de massa d'aigua en corrents d'aire amb producció d'aerosols, amb la finalitat de minimitzar els riscos que puguin derivar-se de la multiplicació i difusió de la legionel·la. Els nous projectes tècnics que presentin equips amb descàrrega directa de bio-aerosols hauran de justificar en aquests projectes que no és possible optar a nivell tècnic per equips que no generin aerosols."*

Relació amb l'estudi

Aquesta ordenança és una mostra dels impediments legals que estan sortint en relació amb la implantació de sistemes humits (objecte d'aquest estudi) en certs municipis de Catalunya, conseqüència de la por que inciten com a instal·lacions amb risc biològic (legionel·la).

2// DESCRIPCIÓ TÈCNICA DE LES TECNOLOGIES I CRITERIS DE SELECCIÓ

DESCRIPCIÓ TÈCNICA DE LES TECNOLOGIES

En el mercat actual hi ha molts tipus de sistemes de refredament, alguns dels quals només es troben en alguns sectors industrials molt puntuals. Els factors com la climatologia, la disponibilitat de recursos hídrics, la proximitat o la llunyania de zones residencials, etc., condicionen en gran mesura quin sistema de refredament cal triar. De fet, no es tracta que qualsevol sistema sigui viable per a qualsevol instal·lació.

L'anàlisi realitzada se centra en les tecnologies més comunes en tot el ventall de potències de dissipació de calor que són factibles a la gran majoria d'instal·lacions. La classificació es fa en tres categories segons el principi de funcionament i, posteriorment, segons la tecnologia:

	TECNOLOGIA	
	REFREDAMENT	**CONDENSACIÓ**
Sistemes humits	Torre de refrigeració	Condensador evaporatiu
Sistemes secs	Aerocondensador	Aerocondensador
Sistemes híbrids	Aerorefredador adiabàtic	Aerocondensador adiabàtic

A diferència dels sistemes secs, els sistemes humits es caracteritzen per consumir aigua en el seu funcionament habitual, ja que aquest fluid actua com a element dissipador de calor. Pel que fa als sistemes híbrids, encara que aquests també consumeixen aigua en el seu funcionament, permeten que aquest consum d'aigua sigui opcional o estacional, podent funcionar com un sistema sec quan les condicions de l'ambient exterior són suficients per a dissipar la potència calorífica necessària.

2.1 // TORRE DE REFRIGERACIÓ

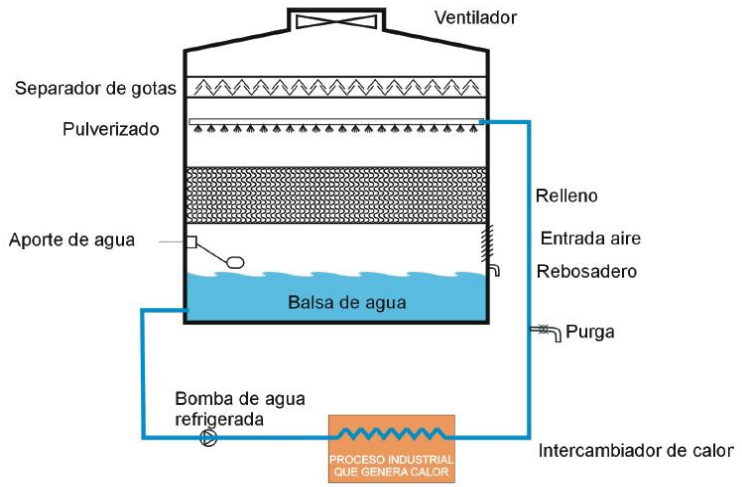
a) Principi físic i tecnològic

Les torres de refrigeració són sistemes mecànics destinats a refredar aigua en processos que utilitzen aquest fluid per a dissipar calor. El principi de refredament d'aquests equips es basa en l'evaporació: l'equip produeix un núvol de gotes d'aigua, ja sigui per polvorització o bé per caiguda lliure, que es posa en contacte amb un corrent d'aire. L'evaporació superficial d'una petita part de l'aigua induïda pel contacte amb l'aire, dóna lloc al refredament de la resta de l'aigua que cau a la bassa a una temperatura inferior a la de polvorització.

Des del punt de vista tècnic, 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. La temperatura límit a la qual es pot refredar l'aigua amb una torre de refredament és la del termòmetre humit de l'aire que entra a la torre.

b) Descripció del procés i equips que el composen

L'aigua que es desitja refredar es bombeja fins a la zona de polvorització de l'aigua de la torre, on, degut a l'estat de l'aigua es produeix una evaporació parcial. Per tal de produir-se aquesta evaporació, s'absorbeix calor i es refreda la resta d'aigua, que caurà a la bassa inferior a una temperatura inferior. L'aigua "refredada" dipositada a la bassa inferior és la que retorna al procés per tornar a refredar i continuar el circuit. L'esquema següent il·lustra una torre de refrigeració i els seus elements, que es descriuen a continuació:



Esquema de torre de refrigeració
Font: *Guia tècnica per a la prevenció i control de la legionel·losi en instal·lacions*

La torre de refredament es composa dels elements principals següents:

- Envoltant
- Zona de material absorbent per a l'intercanvi tèrmic
- Piscina o bassa
- Sistema de circulació d'aire
- Sistema de distribució d'aigua
- Separador de gotes

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

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

El sistema de material absorbent per a l'intercanvi tèrmic és el medi que afavoreix i millora el contacte íntim de l'aigua i l'aire. Hi ha dues maneres de millorar aquest contacte:

- Incrementar el temps de residència de l'aigua en el farciment per a incrementar el temps de contacte amb l'aire. Es coneix amb el nom de farciment de 'degoteig'.
- Distribuir el líquid en grans superfícies per a augmentar el contacte. Conegut com a farciment 'laminar' (*film*).

La piscina o bassa és l'element que recull l'aigua refredada després de passar a través del farciment. És una zona d'alt risc per a la proliferació de legionel·la, ja que sempre hi ha aigua acumulada a unes temperatures força adients perquè s'hi desenvolupi (aprox. 30ºC).

Sistema de circulació d'aire. La circulació d'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 farciment. S'utilitzen els sistemes de distribució següents:

- Canals o safates per gravetat. Basats en canals oberts amb ranures laterals per on passa l'aigua. És un sistema amb una eficàcia molt baixa. S'utilitza bàsicament en torres de tiratge natural.
- Brocals. És el sistema més usat, per la seva elevada eficàcia. Normalment està format per un col·lector central amb braços laterals en què 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%. És un dels elements principals amb rellevància amb vista a la prevenció de legionel·la, ja que en cas de no disposar d'aquest element, una gran quantitat de les gotes d'aigua serien trameses a l'ambient amb el risc d'escampar la legionel·la.

c) Aplicacions principals

L'ús més habitual d'aquests equips està associat a processos que generen calor i aquest ha de ser dissipat a l'atmosfera (per exemple, processos productius de plantes industrials de diferents sectors, refrigeració d'equips com motors o alternadors, refredament de reaccions exotèrmiques, dissipació de calor residual en centrals de producció d'energia elèctrica, etc.).
Un dels sectors on és habitual trobar aquests equips són els sistemes de refrigeració, tant en aire condicionat com en producció de fred (hostaleria, alimentació, laboratoris, etc.).

2.2 // CONDENSADOR EVAPORATIU

- Principi físic i tecnològic

De manera anàloga a les torres, el funcionament d'aquests equips es basa en l'evaporació d'aigua per a eliminar calor. L'equip produeix un núvol de gotes d'aigua que es posa en contacte amb un corrent d'aire. L'evaporació superficial d'una petita part de l'aigua induïda pel contacte amb l'aire, dóna lloc al refredament de la resta de l'aigua. Aquesta cau sobre el bescanviador per on passa el gas refrigerant i el refreda. Habitualment, en el refredament dels refrigerants hi sol haver un canvi de fase que fa que el refrigerant condensi.

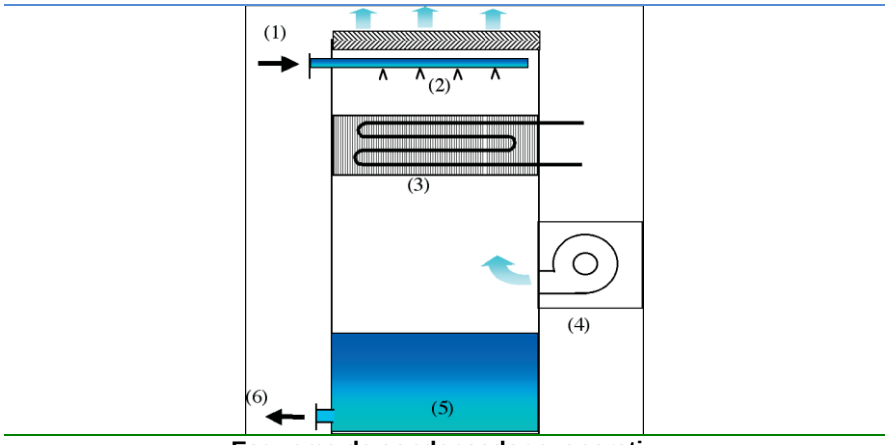
El condensador evaporatiu es pot considerar la combinació d'un equip condensador per aire i una torre de refrigeració. La transferència de calor es produeix per conducció i convecció a través de les aletes del serpentí per on circula el gas (a l'interior) i l'aigua a l'exterior.

La temperatura de condensació d'un condensador evaporatiu està entre 8 i 10ºC per sobre de la temperatura de bulb humit de l'aire.

En comparació amb un condensador refredat per aire, aquests equips tenen l'avantatge de treballar amb temperatures de condensació més baixes, cosa que es tradueix en una millor eficiència energètica i, aproximadament, en un estalvi d'energia elèctrica consumida d'un 35%.

- Descripció del procés i equips que el composen

Són equips similars a la torre de refrigeració en què el farciment se substitueix per un serpentí que realitza la condensació directa del gas refrigerant.



Esquema de condensador evaporatiu
Font: *Guia tècnica per a la prevenció i control de la legionel·losi en instal·lacions*

L'aigua (1) es polvoritza des de la part superior del condensador/ torre a circuit tancat (2) sobre el serpentí (condensador o intercanviador de calor) (3), en l'interior del qual es condensa el refrigerant o es realitza el bescanvi de calor. L'aire s'introdueix només a través del ventilador (4). L'aigua de bassa de la torre (5) s'impulsa (6) per mitjà d'equips de bombament per a reiniciar el cicle (1).

Els components del condensador evaporatiu varien poc respecte als de la torre de refrigeració:

- Envoltant
- Bescanviador o serpentí de refrigerant
- Piscina o bassa
- Sistema de circulació d'aire
- Sistema de distribució d'aigua
- Separador de gotes

A diferència de les torres, el condensador evaporatiu substitueix el farciment pel **bescanviador del gas refrigerant,** a través del qual cau l'aigua polvoritzada i refredada per l'aire, que rep la calor cedida pel gas refrigerant i fa que aquest condensi.

c) Aplicacions

Les aplicacions són similars a les de les torres de refrigeració, però especialment en situacions on la temperatura del focus fred necessària és més baixa, com generalment passa en la producció de fred (hostaleria, alimentació, laboratoris, etc.) i, especialment, en la producció de fred negatiu (processos de congelació per sota de 0ºC).

2.3 // AEROREFREDADOR (DRY-COOLER)

a) Principi físic i tecnològic

La condensació per aire tracta de refredar l'aigua mitjançant el bescanvi tèrmic amb l'aire exterior. El principi de funcionament es basa en que quan el corrent d'aire exterior (de l'ambient) es troba a una temperatura inferior a la de l'aigua que es vol refrigerar, forçant un corrent d'aire a través d'una superfície en contacte amb el fluid calent, es refredarà aquesta superfície i, en conseqüència, el fluid que circula pel seu interior.

Des del punt de vista tècnic es tracta d'un bescanviador que cedeix la calor que conté l'aigua a l'aire exterior, per efecte de la conducció i la convecció forçada. Aquests equips no consumeixen aigua per al seu funcionament, ja que es tracta d'un circuit tancat per la part d'aigua i no hi ha aportació d'aigua a l'exterior. En conseqüència no es troben sotmesos al compliment de les normatives per a la prevenció de la legionel·la.

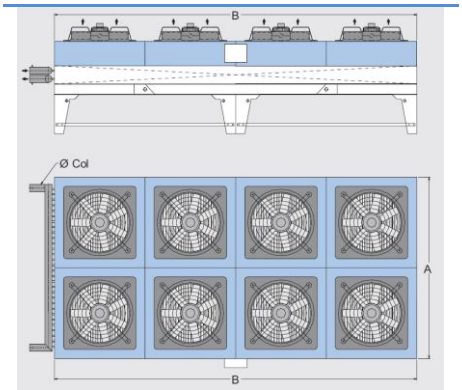
La seva implantació en potències elevades requereix espais físics grans, genera més soroll i consumeix més energia que la resta de sistemes esmentats anteriorment i, en molts casos, és una opció energèticament menys eficient.

D'altra banda, la capacitat de refrigeració d'aquests equips es troba fortament condicionada per la temperatura de l'aire exterior, de manera que la seva capacitat oscil·la de forma considerable al llarg de l'any. Aquest fet fa que sigui necessari sobredimensionar els equips en previsió d'unes condicions climàtiques desfavorables amb la conseqüent pèrdua de rendiment energètic.

b) Descripció del procés i equips que el composen

A continuació es resumeixen els elements que composen un condensador refrigerat per aire:

- Ventiladors
- Bescanviador tèrmic
- Cos de l'aparell



Aerorefredador

Els ventiladors alimentats elèctricament forcen el corrent d'aire a través del bescanviador de calor i fa possible que la calor de l'aigua passi a l'aire que és expulsat novament a l'ambient exterior. L'aigua es refreda i torna a començar el circuit.

El bescanviador de calor és un serpentí, a l'interior del qual circula el fluid calent. El serpentí disposa de moltes aletes metàl·liques d'alta transmitància tèrmica que incrementen la superfície de contacte entre la zona calenta i l'aire, per tal d'augmentar l'eficiència de bescanvi.

El cos de l'aparell agrupa el conjunt en una carcassa que, en potències petites es pot penjar a les façanes i que, en potències grans, es troba unida a una bancada que obliga a ubicar l'aparell sobre una superfície específica per a aquest equip (terrasses, etc.).

c) Aplicacions

Els aerorefredadors es troben àmpliament estesos en aplicacions del sector terciari i residencial (petita i mitjana potència), especialment per a la dissipació de calor en els sistemes de climatització.

2.4 // AEROCONDENSADOR (DRY-CONDENSER)

Els aerocondensadors es basen en el mateix funcionament que els aerorefredadors explicats a l'apartat anterior, amb la diferència que el fluid caloportador no és aigua sinó un gas refrigerant. En aquest cas, però, el fluid no varia gaire la temperatura al seu pas pels condensadors sinó que, en refredar-se, es produeix un canvi de fase, passant d'estat gasós a líquid (procés de condensació, com indica el nom).

2.5 // REFREDADOR ADIABÀTIC

a) Principi físic i tecnològic

El refredament adiabàtic es basa en la naturalesa de l'aire i l'aigua. L'aigua líquida tendeix a saturar l'aire (en funció de la pressió de vapor que tinguin), de manera que, en entrar en contacte, ha de passar d'estat líquid a l'estat de vapor. Per assolir aquest nou estat necessita incrementar la seva energia interna, de manera que absorbeix calor del seu entorn immediat per a poder-se evaporar. Això comporta que l'aire que envolta les partícules d'aigua que s'estan evaporant experimenti un refredament que s'anomena **adiabàtic**.

Amb un principi similar al de l'aerocondensador, el refredador adiabàtic refreda el fluid mitjançant el bescanvi tèrmic amb l'aire exterior prèviament refredat adiabàticament.

Aquest sistema funciona "en sec" a temperatures ambients baixes: 20-21ºC, tal com faria un aerocondensador de la mateixa potència. Ara bé, si la temperatura del fluid a refredar augmenta (normalment aigua glicol·lada), llavors la velocitat dels ventiladors s'incrementa automàticament en funció de la càrrega de refrigeració que es vol assolir. Si la càrrega continua augmentant i cal refredar-la més, llavors s'activa el sistema de polvorització adiabàtic (aigua).
Aquest sistema, a diferència d'altres sistemes adiabàtics, projecta aigua atomitzada a 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 d'altres dipòsits a la superfície dels bescanviadors.
La possibilitat d'activar la polvorització en moments que es necessita una potència de refrigeració extra, es tradueix en una reducció considerable en el consum d'aigua, en comparació amb altres sistemes de bateries humides (p. ex. torres de refrigeració), tot i que s'incrementa el consum energètic en forma d'electricitat.
En aquest cas no necessita cap tractament de l'aigua abans de la polvorització, i tampoc és necessària la utilització de recobriments de materials especials de les aletes de les bateries.
Aquest aparell refreda el refrigerant fins a 3 o 4ºC per sobre de la temperatura de bulb humit de l'aire.

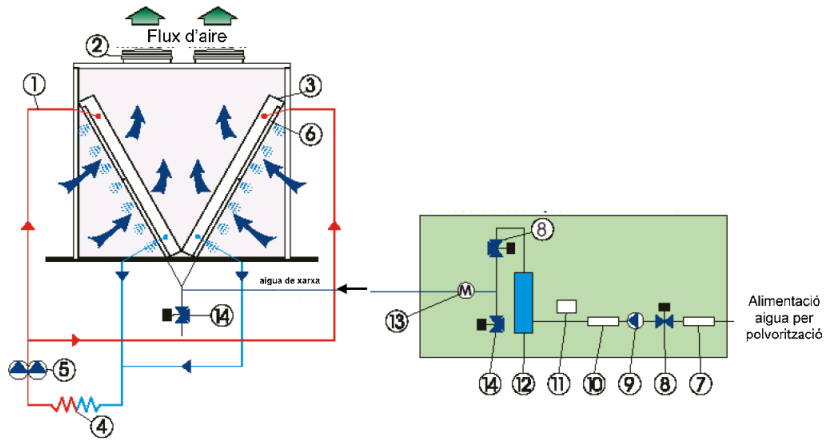
b) Descripció del procés i dels equips que el composen

Els components bàsics d'un condensador adiabàtic són els mateixos que els d'un condensador per aire:

- Ventiladors
- Bescanviador tèrmic
- Cos de l'aparell

Paral·lelament les diferències principals entre els dos sistemes són les següents:

- Cos de l'aparell habitualment en forma de "V"
- Incorporació de variadors de freqüència
- Sistema d'atomització d'aigua



1. Circuit d'aigua
2. Ventilador de velocitat variable.
3. Bateria de refredament
4. Càrrega calorífica
5 Bomba
6. Sistema de distribució per polvorització
7. Filtre
8. Vàlvula de solenoide
9. Bomba de sobrepressió
10. Ionitzador
11. Interruptor de flux
12. Esterilització Ultra-violats
13. Comptador d'aigua
14. Vàlvula solenoide de descàrrega

Condensador adiabàtic
Font: ICAEN

Els **variadors de freqüència** permeten adequar la velocitat de gir dels ventiladors, de manera que s'actua directament sobre el cabal d'aire i, en conseqüència, sobre la potència dissipada. Aquesta modificació permet modular el funcionament de l'equip segons les condicions de l'aire exterior (que en aquest cas actua de fluid secundari). A diferència del condensador per aire convencional, el consum del qual roman constant, la disposició de velocitat variable permet reduir la velocitat de gir i, per tant, el consum energètic en moments en què l'aire exterior és prou fred.

El **sistema d'atomització** d'aigua te la funció de generar la *boira d'aigua* a l'aire que es disposa a passar per les bateries. És opcional la implantació d'un sistema de tractament previ de l'aigua emprada en l'atomització, però només des del punt de vista de la vida útil de l'aparell i no per motius de risc biològic ni sanitari. En els casos en què es disposa d'aigua dura es pot tractar per a fer precipitar les sals minerals de calci i magnesi, per tal de tornar-la tova i disminuir les deposicions de calç a les aletes de la unitat. També es tracta el PH per tal de mantenir-lo neutre i disminuir l'efecte corrosiu.

Aquest sistema també permet estalviar aigua quan el sistema de regulació permet tancar l'atomització quan el refredament per aire aconsegueix dissipar la potència tèrmica que es requereix en aquell moment.

c) Aplicacions

Els condensadors adiabàtics permeten l'optimització dels sistemes de dissipació de calor de mitjana potència, (sector terciari), especialment per a aplicacions de climatització. D'aquesta manera, s'assegura una optimització dels recursos energètics consumits per a refrigerar els ambients sense necessitat de considerar les despeses de manteniment derivades d'instal·lacions amb risc de proliferació de legionel·la.

2.6 // CONDENSADOR ADIABÀTIC

Els condensadors adiabàtics es basen en el mateix funcionament que els refredadors adiabàtics explicats a l'apartat anterior, amb la diferència que el fluid caloportador no és aigua sinó un gas refrigerant. En aquest cas, però, el fluid no varia gaire la seva temperatura al seu pas pels condensadors, sinó que es produeix un canvi de fase en refredar-se, passant d'estat gasós a líquid (procés de condensació, com indica el nom). El refredament adiabàtic previ es porta a terme de la mateixa manera.

CRITERIS TÈCNICS DE SELECCIÓ DE TECNOLOGIES

2.7 // EXIGÈNCIES DE DISSENY

En els estudis d'implantació de sistemes de refredament, l'etapa de disseny és la més important de totes, ja que serà l'etapa que plantejarà les casuístiques de cada instal·lació i finalment recollirà les anàlisis de les diferents opcions per a avaluar la viabilitat tècnica i econòmica, a fi d'escollir la millor opció en termes energètics, sanitaris, mediambientals i econòmics.

Els sistemes d'evacuació de calor o de refrigeració tenen per objectiu dissipar l'energia calorífica produïda o extreta d'un fluid calent a l'ambient. L'evacuació de calor a l'atmosfera és un procés emprat a molts sectors (primari, secundari, terciari) i que, evidentment només s'utilitza quan la calor ja no es pot aprofitar pel procés productiu.
Un cop establerta la quantitat i les condicions (bàsicament temperatures i estat del fluid caloportador) de la calor residual generada pel procés i en veure que no és possible assolir més reducció de calor sobrant, llavors s'haurà de procedir a l'elecció del millor sistema de refrigeració aplicable.

En la fase de disseny d'instal·lacions, la selecció que el projectista o titular de la instal·lació ha de prendre no valora només la viabilitat tècnica i econòmica. Els criteris sota els quals es regeix una selecció tecnològica són:

- **Criteris de viabilitat tècnica:** valora la compatibilitat de la tecnologia amb els condicionants de la instal·lació en què es vol implantar (temperatures de treball, adaptació a càrregues tèrmiques variables, espai disponible, etc.)

- **Criteris d'estalvi i eficiència energètica:** s'ha de procurar que, de les opcions tècnicament viables, es prioritzi la que tingui menys consum energètic.

- **Criteris de minimització d'impacte mediambiental (recursos consumits i emissions):** juntament amb el consum energètic també es consumeixen altres recursos com ara l'aigua, els reactius químics... s'escollirà l'opció que minimitzi aquests consums d'una manera raonable.

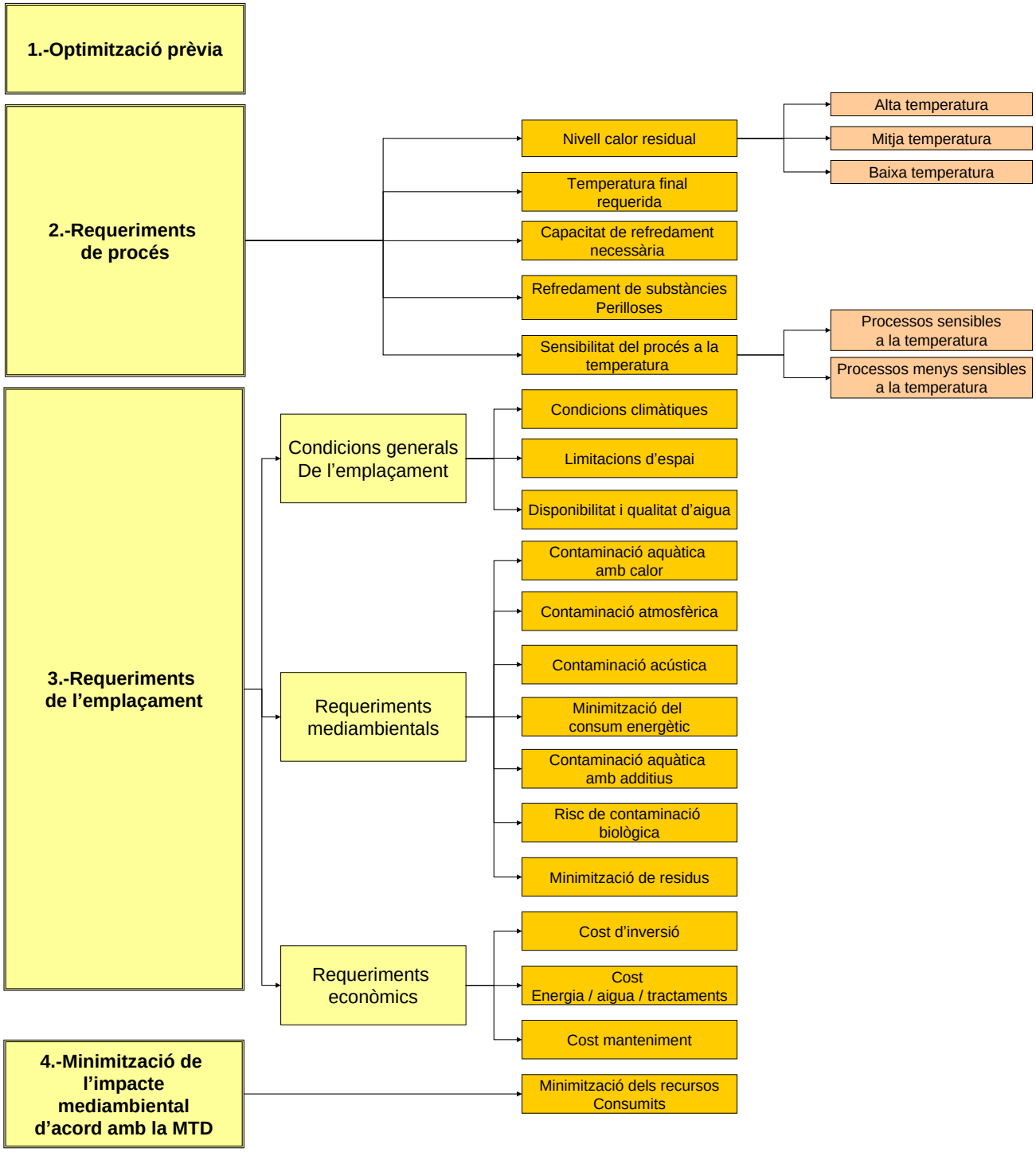
- **Criteris sanitaris i de prevenció de la proliferació de la legionel·losi:** les tecnologies que presentin un risc biològic associat hauran de portar el sistema de monitoratge, tractament i control dels paràmetres que intervenen en aquest risc, per tal de minimitzar-lo.

- **Criteris de minimització de costos d'inversió, operacionals i amortització:** el titular de la instal·lació haurà de fer front a despeses econòmiques inicials i periòdiques, fruit de la implantació i explotació del sistema escollit. Els recursos econòmics disponibles i l'estalvi econòmic d'una tecnologia envers les altres seran criteris d'importància per a la selecció final.

Per tant, la Millor Tecnologia Disponible (MTD) a aplicar serà diferent en cada cas i dependrà del grau d'optimització que s'hagi aconseguit al llarg de l'etapa de disseny. Els passos seguits durant el procés de disseny són els següents:

1. Estudiar la reducció de la quantitat de calor a evacuar.
2. Definir els requisits tècnics del procés que requereix refredament.
3. Considerar les condicions generals de l'emplaçament.
    a. Avaluar les condicions generals de l'emplaçament:
        i. Clima, espai, disponibilitat de recursos...
    b. Avaluar requisits mediambientals:
        i. Opcions per a minimitzar la contaminació tèrmica, aquàtica, atmosfèrica, sonora i biològica.
        ii. Opcions per a la reducció dels consums energètics.
    c. Avaluar els requisits econòmics.
        i. Costos d'inversió, operació i manteniment, compra d'energia...
4. Minimització de l'impacte mediambiental d'acord amb la MTD.

El diagrama de blocs següent recull aquest algoritme de disseny de manera esquemàtica:



2.8 // VIABILITAT TÈCNICA

a) Refredament o condensació

Com s'ha observat a l'apartat de descripció d'equips, per a les tres modalitats de tecnologies hi ha el sistema per *refredament* o el sistema per *condensació*.

Sistemes per *refredament* (sense canvi de fase)

La temperatura ideal mínima a la qual podrà sortir l'aigua del refredador serà:

1. La temperatura seca exterior, en el cas dels sistemes secs.
2. La temperatura de bulb humit exterior, en el cas dels sistemes humits i híbrids.

Per tant, d'una manera simplificada aquests paràmetres permeten delimitar la viabilitat tècnica dels sistemes per refredament, tal com apareix a la taula següent:

Refredament amb sistemes secs	
Condició	Resultat
$T_{focus\ calent} > T_{exterior\ seca}$	Instal·lació viable
$T_{focus\ calent} < T_{exterior\ seca}$	Instal·lació NO viable
Refredament amb sistemes humits i híbrids	
Condició	Resultat
$T_{focus\ calent} > T_{ext.\ Bulb\ humit}$	Instal·lació viable
$T_{focus\ calent} < T_{ext.\ Bulb\ humit}$	Instal·lació NO viable

Sistemes per condensació (amb canvi de fase)

El punt de funcionament dels sistemes per condensació es configura segons les necessitats de cada projecte i segons les condicions climàtiques de la zona d'ubicació (adequant el tipus de refrigerant, la relació de compressió del cicle, sempre dins d'uns límits). Per tant, es pot simplificar que els sistemes per condensació depenen menys de les condicions climàtiques i de les temperatures requerides, un fet que elimina les limitacions per temperatura.

b) Temperatures de treball

La temperatura de la font de calor és un factor important a considerar al llarg de la selecció de la tecnologia. Com més baixa sigui la temperatura de la font, més limitats ens trobem pel que fa a tecnologies adients, ja que més costa evacuar-ne la calor amb sistemes convencionals com un aerocondensador (per poca diferència tèrmica entre l'aire i el fluid calent). A nivell genèric, es pot dir que per a temperatures de la font elevades s'instal·len sistemes refrigerats per aire, mentre que per a temperatures baixes s'instal·len els sistemes evaporatius.

A continuació s'esmenten els principals processos fisicoquímics que es poden trobar en qualsevol sector i que donen lloc a una font de calor que és necessari evacuar. Abans, però, és

necessari fer la distinció entre tres rangs de temperatura que seran d'utilitat per a més endavant trobar l'aplicació de cada tecnologia de refredament:

- Temperatura alta: > 60 ºC
- Temperatura mitjana: 25 - 60 ºC
- Temperatura baixa: 10 - 25 ºC

Procés	Descripció	Mitjana de temperatura de la font de calor
Fricció	Transformació d'energia mecànica en calor	Temperatura mitjana
Combustió	Transformació d'energia química en calor per oxidació	Variable
Reaccions exotèrmiques	Transformació d'energia química en calor sense oxidació	Mitjana o alta
Compressió	Transformació de l'energia interna d'un gas en calor	Alta
Condensació	Cessió d'energia calorífica per un gas durant el procés de condensació	Baixa o alta

Seguidament, es presenta una taula de les tecnologies que se solen implantar segons la temperatura de la font, juntament amb les aplicacions més típiques on es poden trobar:

Rang de temperatura	Sistema de refredament apropiat	Aplicacions habituals
Temperatura baixa (10 – 25 ºC)	- Torres de refrigeració humides (farciment estàndard) - Condensadors evaporatius	- Generació d'electricitat en zones fredes - Processos petroquímics
Temperatura mitjana (25 – 60 ºC)	- Torres de refrigeració humides (farciment especial per Tª>50ºC) - Condensadors evaporatius - Aerocondensadors - Refredadors adiabàtics - Condensadors adiabàtics	- Cicles de refrigeració - Compressors - Refrigeració de maquinària - Plantes d'acer - Plantes de ciment - Generació d'electricitat en zones càlides (Mediterrani)
Temperatura alta (> 60 ºC)	- Torres de refrigeració humides (farciment especial fins Tª≤65ºC) - Condensadors evaporatius - Aerocondensadors - Refredadors adiabàtics - Condensadors adiabàtics - *Sistemes de refrigeració combinada*[1]	- Plantes d'incineració de residus - Refrigeració de motors - Refrigeració de fums de combustió - Processos químics

Aquesta taula reflecteix les aplicacions més habituals, cosa que no implica que no puguin ser viables altres combinacions en la realitat, doncs depenen fortament de les condicions exposades a l'apartat anterior.

[1] En aquests casos, es combinen diverses de les tecnologies esmentades, instal·lades en sèrie.

Com es dedueix de les situacions exposades a l'apartat *4.2.1.-Refredament o condensació*, la limitació d'algunes de les tecnologies estudiades apareix quan la diferència de temperatures entre el focus calent que es vol refredar i l'ambient exterior on es vol dissipar aquesta calor és petita. Per contra, a mesura que aquesta diferència va augmentant (sempre amb T focus calent més gran que l'ambient) el ventall de possibilitats s'amplia i gairebé qualsevol tipologia de sistema permetrà dur a terme la dissipació de calor.

En definitiva, la selecció final d'un sistema en concret dependrà dels condicionants inherents a cada projecte, de manera que el titular haurà d'avaluar el major nombre de possibilitats per tal de prendre una decisió correcta.

c) Capacitat de refredament i condicions de treball

A continuació es presenten les característiques tècniques i termodinàmiques de les diferents tecnologies de refredament per a aplicacions industrials (no generació d'energia):

Sistema de refredament	Medi refrigerant	Principi de refredament preponderant	Capacitat de refredament
Unitats			*(kWt)***
Torre de refrigeració (aplicació directa)	Aire + Aigua	Evaporació*	33 – 25.744
Torre de refrigeració (aplicació indirecta)	Aire + Aigua	Evaporació*	21 – 6.279
Condensador evaporatiu	Aire + Aigua	Evaporació* + Convecció	50 – 6.470
Aerorefredador / aerocondensador	Aire	Convecció	30 – 1.110
Aerorefredador / aerocondensador (adiabàtics)	Aire o Aire + Aigua	Convecció o Convecció + Evaporació	220 – 1.620

*L'evaporació és el principi més important. També hi ha transferència de calor per conducció i convecció, però en menor mesura.

**Aquestes són les capacitats habituals d'una única cel·la de cada tipus d'equip. És a dir, en tots els casos es poden assolir potències més elevades amb la combinació de diverses cel·les (unitats). A banda, també es poden assolir potències inferiors mitjançant la implementació de sistemes de regulació a càrrega parcial, tals com variadors de freqüència i altres sistemes de control/regulació diversos.

3// CONSUM ENERGÈTIC I EXIGÈNCIES AMBIENTALS

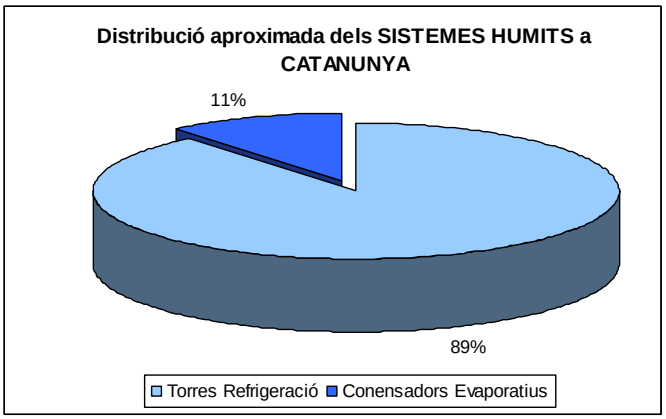
AVALUACIÓ ENERGÈTICA, AIGUA, ESPAIS I ALTRES CRITERIS SIGNIFICATIUS

En aquest capítol s'avaluen l'eficiència energètica, el consum de recursos (aigua) i les despeses econòmiques derivades de la utilització de cadascuna de les tecnologies.

Al capítol anterior s'ha descrit la diferència entre el refredament (sense canvi de fase) o la condensació (amb canvi de fase). Atès que els sistemes que es pretenen estudiar (humits / secs / híbrids) es poden trobar indistintament en qualsevol de les dues versions i que les diferències entre cadascun dels sistemes es mantenen pràcticament constants, s'agafarà com a referència la versió que sigui més habitual en el total de les instal·lacions reals.

A partir de les dades d'inspeccions efectuades a Catalunya per una entitat de revisió en el període 2003-2006, s'ha determinat les tecnologies que tenen més incidència, i que s'analitzen amb més profunditat. A continuació se'n presenten les dades:

Distribució aproximada dels SISTEMES HUMITS a CATALUNYA		
Torres refrigeració	244	89%
Condensadors evaporatius	30	11%
TOTAL	274	100%



Aquestes dades demostren que el parc d'instal·lacions de sistemes humits a Catalunya consta majoritàriament d'equips de torres de refrigeració, amb aproximadament un 90% del total. Per tant, l'estudi energètic i mediambiental es basarà en les instal·lacions per refredament, deixant a banda les de condensació.

	TECNOLOGIA	
	REFREDAMENT	**CONDENSACIÓ**
Sistemes humits	Torre de refrigeració	Condensador evaporatiu
Sistemes secs	Aerocondensador	Aerocondensador
Sistemes híbrids	Aerorefredador adiabàtic	Aerocondensador adiabàtic

3.1// CONSUM ENERGÈTIC

A partir de les dades de 64 equips de diferents fabricants i tecnologies, s'han establert uns rangs que són els que es poden trobar principalment a les aplicacions objecte d'aquest estudi, i que es mostren a la taula següent:

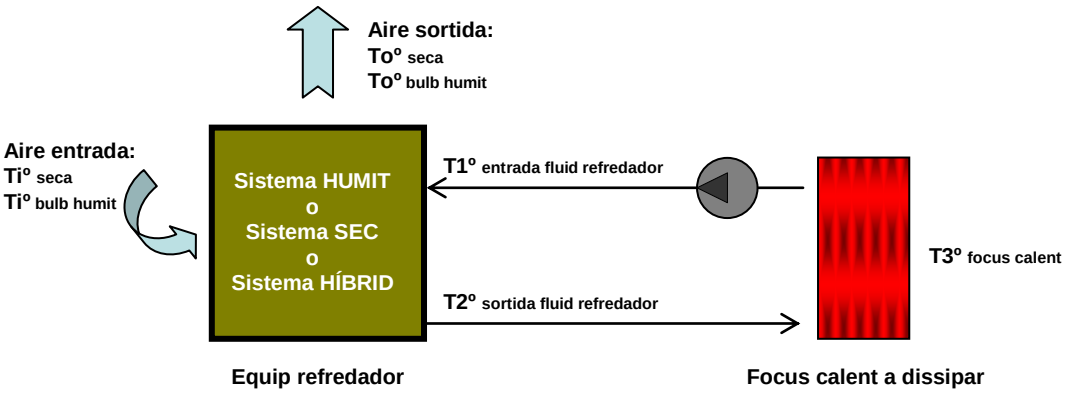
RANGS DE POTÈNCIA	
Potència baixa	50 kWt
Potència mitjana	300 kWt
Potència gran	1000 kWt
Potència molt gran	2500 kWt

Condicions de comparació

La temperatura de l'aire exterior de disseny és, en general, de 35ºC, com a situació més crítica per als equips (considerant temperatures de treball de l'aigua de 45ºC, 40ºC). D'altra banda, les condicions de disseny exterior més habituals a les torres de refrigeració és de 24ºC de bulb humit. Per tal de poder trobar un punt de comparació entre les diferents tecnologies, les condicions de selecció per als models de la base de dades elaborada, han estat 35ºC de temperatura seca, amb un 60% d'humitat relativa (que són equivalents als 24ºC de bulb humit):

CONDICIONS AMBIENTALS DE DISSENY	
Temperatura seca	35 ºC
Humitat relativa	60 %
Temperatura humida	24 ºC

Com ja s'ha comentat en apartats anteriors, els sistemes secs només poden evacuar la calor si la temperatura del fluid es troba per sobre de la T_{seca}, mentre que els Humits utilitzen la T_{humida} com a referència. Això fa que en el punt de funcionament seleccionat (35ºC), els aerorefredadors no puguin treballar amb una temperatura de fluid de 35ºC-30ºC, com fan les torres, i s'hagi d'elevar la temperatura de focus calent fins a 45ºC-40ºC.



Per tant, aquestes seran les característiques de comparació escollides:

PUNT DE FUNCIONAMENT ESCOLLIT	
Salt tèrmic fluid refredador	5 ºC

TEMPERATURES DE TREBALL ESCOLLIDES		
	T1 (ºC)	**T2 (ºC)**
Sistemes humits (TR)	**35**	**30**
Sistemes secs (AR)	**45**	**40**
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	*35*	*30*
	45	**40**

Com podem observar, els sistemes híbrids permeten la comparació també amb les mateixes condicions que les torres de refrigeració (35ºC-30ºC), pel fet que es basen en el refredament evaporatiu. No obstant, per tal de poder comparar-los amb els secs, s'ha calculat la potència de dissipació que tindrien treballant en el mateix punt de funcionament d'aquests (45ºC-40ºC) amb les expressions següents:

$$Q = \dot{m}_{aire} \cdot cp \cdot (\Delta T_{AIRE_entrada-sortida})$$

En què:
Q, és la potència tèrmica dissipada (kWt)
cp, és la calor específica de l'aire (1 kJ/kg·ºK)
m_{aire}, és el cabal màssic d'aire vehiculat (kgr_{aire}/s)
ΔT, és el salt tèrmic de l'aire entre l'entrada i sortida del refredador (Tsortida – $T_{bulb\ humit}$ entrada)

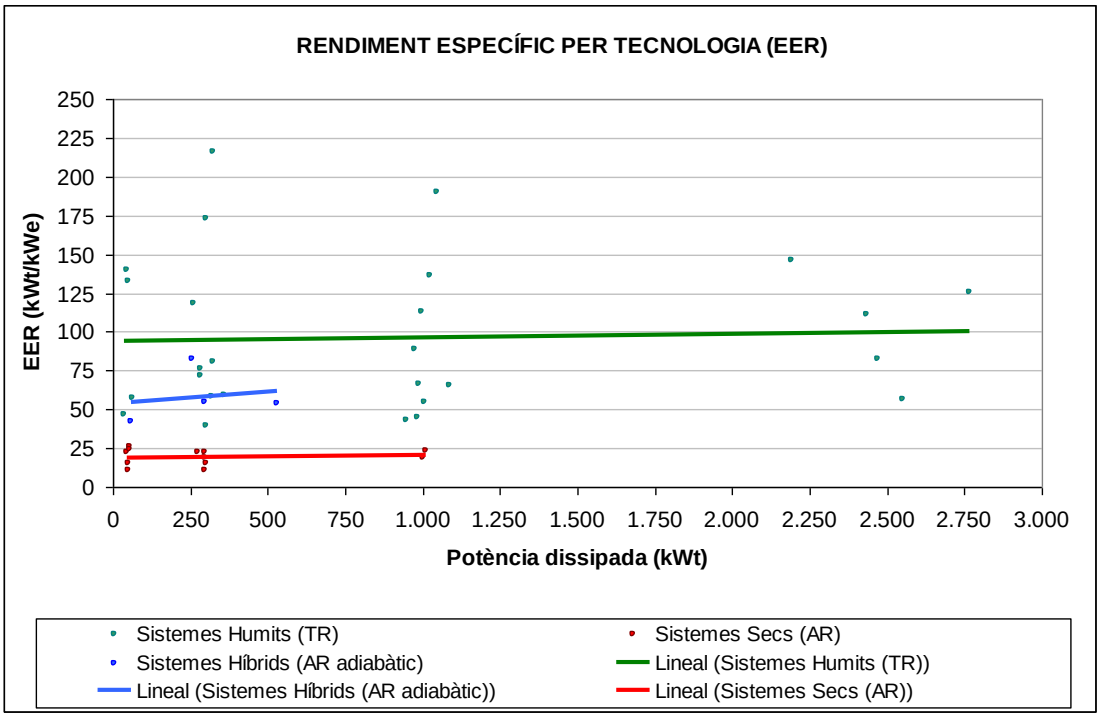
Rendiment energètic (EER)

Les taules següents recullen els valors de "rendiment de dissipació" o EER resultants d'amitjanar els valors de potència de dissipació entre els valors de potència elèctrica instal·lada dels equips seleccionats segons els paràmetres establerts als paràgrafs anteriors:

		RENDIMENT ENERGÈTIC PER TECNOLOGIA EER(kWt/kWe)				
Potència de dissipació	kWt	**50**	**300**	**1.000**	**2.500**	**Mitjana**
Sistemes humits (TR)	kWt/kWe	94,1	99,1	89,1	104,3	**96,6**
Sistemes secs (AR)	kWt/kWe	19,6	18,0	21,0		**19,5**
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	kWt/kWe	41,8	63,6			**52,7**

En tots els rangs de potències, el valor màxim de rendiment energètic s'assoleix amb els sistemes humits. Les mitjanes totals indiquen que els sistemes humits dissipen aproximadament quatre vegades més calor que els sistemes secs per a un mateix consum energètic. D'altra banda, els equips híbrids dissipen aproximadament 1,7 vegades més que els secs, però menys que els humits per a una mateixa unitat de consum elèctric.

La il·lustració següent mostra l'evolució del rendiment energètic de cada tecnologia pels valors de les quatre potències escollides:



Al gràfic s'hi pot veure que no s'han trobat valors per a equips de sistemes secs en potències de 2.500 kWt, com tampoc s'han trobat valors per a sistemes híbrids en potències de 1.000 kWt i de 2.500 kWt. Aquest problema no succeeix amb les torres de refrigeració, amb valors presents a les quatre potències escollides. La taula següent recull les dades principals:

	DISPONIBILITAT VERSIONS ESTÀNDARD			
Tecnologia	**50**	**300**	**1000**	**2500**
Sistemes humits (TR)	1 equip			
Sistemes secs (AR)	1 equip			+ equips
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	1 equip		+ equips	

No obstant, encara que no apareguin al catàleg, tant per als sistemes híbrids com per als secs, és possible incrementar-ne la potència de dissipació afegint unitats més petites en paral·lel, formant una instal·lació múltiple.

Cal esmentar que els sistemes híbrids són una tecnologia que encara es troba en vies de desenvolupament, mentre que els sistemes secs i els humits són una tecnologia madura.
Tal com es veurà més endavant, per motius d'inversió inicial, d'ocupació d'espai, o de compra d'energia, en potències elevades, és més recomanable la implantació de sistemes humits.

Elements consumidors

En els sistemes de refredament s'identifiquen els següents elements consumidors d'energia elèctrica:

ELEMENTS CONSUMIDORS D'ENERGIA			
Principals elements consumidors	**Sistemes humits (TR)**	**Sistemes secs (AR)**	**Sistemes híbrids (AR adiabàtic)**
Ventiladors	**X**	**X**	**X**
Bombes fluid refredador	**X**	**X**	**X**
Bombes de dosificació	**X**	**--**	**--**

Així doncs, cal comentar que en el càlcul de refredament específic no s'ha tingut en compte el consum energètic derivat del sistema de bombament de cada sistema. Si bé el sistema de bombament no forma part de l'equip de refredament com a tal, és necessari considerar que els circuits tancats on el fluid caloportador es troba confinat (sistemes híbrids i secs), en fer circular l'aigua a través del bescanviador de tubs, ha de vèncer les pèrdues de pressió i, per tant, requereixen més pressió al circuit. En el cas dels sistemes oberts (torres de refrigeració), però, el fet d'efectuar-se el bescanvi per gravetat, fa que amb petites pressions de treball i, per tant, amb potències elèctriques baixes, n'hi hagi prou.

Conclusió

L'evolució de les corbes per a cada tecnologia indica que en qualsevol potència, els sistemes energèticament més eficients són els sistemes humits, seguits dels sistemes híbrids. Els sistemes més malbaratadors són els secs, com es recull a la taula següent:

EFICIÈNCIA ENERGÈTICA		
Sistemes humits (TR)	**1r**	96,6 kWt/kWe → Sistema més eficient
Sistemes secs (AR)	**3r**	19,5 kWt/kWe → Sistema menys eficient
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	**2n**	52,7 kWt/kWe → 2n Sistema més eficient

Els sistemes humits (torres de refrigeració) dissipen aproximadament unes quatre vegades més calor que els sistemes secs i el doble que els sistemes híbrids, per a un mateix valor de consum energètic.

3.2// CONSUM D'AIGUA

El consum d'aigua és un dels punts crítics de les tecnologies humides, ja que consumeixen aquest recurs durant el seu funcionament. En zones costaneres o d'elevada abundància d'aigua (pous subterranis, aigua de mar, etc.) els tipus de tecnologies humides solen emprar directament l'aigua de mar o de pou per a refredar. Ara bé, aquest tipus d'instal·lacions solen trobar-se en instal·lacions amb potències elevades, habitualment en indústria de generació d'energia, indústria química, etc.

Per tal de poder efectuar una comparació més fidel a la realitat de les instal·lacions amb potència mitjana, només es consideren les instal·lacions que s'abasten amb aigua de xarxa amb un circuit tancat, i no es consideren les que s'abasten amb aigua de riu, de mar, etc. L'aigua prèviament tractada té un cost variable en funció de la qualitat, zona, disponibilitat... que el titular de la instal·lació ha de considerar al llarg del procés de selecció de tecnologia.
La taula següent resumeix quins són els conceptes pels quals es comptabilitza el consum d'aigua en els tres sistemes analitzats:

	CONSUM D'AIGUA PER TECNOLOGIA	
	Evaporació	Purga
Sistemes humits (TR i CE)	**X**	**X**
Sistemes secs (AR i AC)	**--**	**--**
Sistemes híbrids (AR i AC adiabàtic)	**X**	

Consum d'aigua per evaporació

Aquest tipus de consum es produeix als sistemes humits i als sistemes híbrids, doncs ambdós basen el seu funcionament en el refredament evaporatiu. El fenomen de l'evaporació es produeix per la tendència natural que té l'aigua a saturar l'aire sec. L'evaporació d'aigua fa que l'aire es refredi sensiblement, mantenint constant el nivell energètic de l'aire (entalpia). D'aquesta manera es fa possible disminuir la temperatura seca de l'aire fins a la temperatura de bulb humit, incrementant d'aquesta manera la capacitat dissipativa de l'aire i incrementant a la vegada el rendiment de bescanvi.

Aquest consum depèn principalment de les condicions de l'aire a l'entrada de l'equip (temperatura, sequedat), les condicions de sortida i del cabal d'aire que s'hi vehicula, un fet que queda definit per l'expressió següent:

$$\dot{m}_{H2O} = \dot{m}_{aire} \cdot (w_2 - w_1)$$

En què:

w_2, és la humitat específica de l'aire a la sortida del refredador (kgr_{H2O}/kg_{aire})
w_1, és la humitat específica de l'aire a l'entrada del refredador (kgr_{H2O}/kg_{aire})
m_{aire}, és el cabal màssic d'aire vehiculat (kgr_{aire}/s)

Consum d'aigua per purgues

Aquest tipus de consum es produeix només als sistemes humits, i és conseqüència de reposar l'aigua perduda en les purgues de la bassa de les torres de refrigeració o dels condensadors evaporatius. Els sistemes humits són els únics que acumulen l'aigua de refredament. L'objectiu de la purga és mantenir la conductivitat de l'aigua entre els nivells acceptables de duresa, alcalinitat, clorurs, sulfats, altres..., de manera que no es produeixin fenòmens d'incrustació i/o

corrosió, i creïn les condicions òptimes per a la proliferació de microorganismes, principalment legionel·la. El sistema de purga es pot automatitzar amb una electrovàlvula amb llaç tancat que mesuri en temps real la concentració de sals continguda.

El cabal de purgues es pot aproximar mitjançant l'equació següent:

$$\dot{m}_{purga} = \frac{\dot{m}_{h2o}}{N-1}$$

En què: m_{purga}, és el cabal d'aigua de purga (litres/s)
m_{H2O}, és el cabal d'aigua evaporada (litres/s)
N, és el nombre de cicles de concentració

I el nombre de cicles de concentració es defineix com:

$$N = \frac{C\max}{Crenov}$$

En què: C_{max}, és la màxima concentració de paràmetre permesa a l'aigua (ppm)
C_{renov}, és la concentració de paràmetre a l'aigua de reposició (ppm)

La norma *UNE 112076, prevención de la corrosión en circuitos de agua* estableix els paràmetres més habituals en la gestió de control de purga de torres, així com els valors límit recomanats per a aquestes instal·lacions, essent:

Concentracions limit en torres segons UNE 112076		
Clorurs	500	mg/l
Sulfats	500	mg/l
Conductivitat	2000	µS/cm

Paral·lelament, el Reial decret 140/2003, pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà dóna els paràmetres límit per a l'aigua potable següents:

Concentracions limit en aigua potable segons RD 140/2003		
Clorurs	250	mg/l
Sulfats	250	mg/l
Conductivitat	2500	µS/cm

En el cas que ens afecta, s'ha agafat una qualitat de l'aigua estàndard per a la ciutat de Barcelona, i s'ha calculat el nombre de cicles de concentració (N) corresponent, essent:

Hipòtesi de carcterístiques aigua BCN		
Clorurs	150	mg/l
Sulfats	150	mg/l
Conductivitat	700	µS/cm
Nobre de cicles de concentració		
Clorurs	**3,3**	cicles
Sulfats	3,3	cicles
Conductivitat	2,9	cicles

Nota: aquestes condicions depenen de les característiques de l'aigua de xarxa de la zona, i per tant, es recomana que el càlcul es refaci a cada projecte amb les condicions específiques conegudes.

La taula següent recull els valors mitjans calculats per a una mostra de 62 equips de diferents potències entre les tecnologies estudiades:

	CONSUM ESPECÍFIC D'AIGUA PER TECNOLOGIA		
	Evaporació $\frac{litres}{h \cdot kWf}$	Purga $\frac{litres}{h \cdot kWf}$	**TOTAL** $\frac{litres}{h \cdot kWf}$
Sistemes humits (TR)	1,5	1,0	**2,5**
Sistemes secs (AR)	0,0	0,0	**0,0**
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	1,8	0,0	**1,8**

El cabal específic d'aigua evaporada és més gran en els sistemes híbrids que en els sistemes humits, principalment degut a que en els sistemes híbrids (aerorefredador adiabàtic) es necessita més cabal per a dissipar la mateixa calor. En els sistemes humits (torre de refrigeració), el bescanvi de calor és més proper a l'ideal, ja que els dos fluids (aigua i aire) es troben directament en contacte sense cap material entremig (bescanviador de metall en els híbrids). En disposar d'un millor rendiment d'intercanvi, permet disminuir l'aire necessari, així com l'aigua evaporada i també l'energia consumida.

Conclusió

En aquest apartat es conclou:

- Els sistemes humits consumeixen aproximadament un 40% més que els sistemes híbrids, com a conseqüència de la purga necessària.
- Com el nom indica, els sistemes secs no consumeixen aigua en el seu funcionament.

CONSUM D'AIGUA		
Sistemes humits (TR)	**3r.**	2,5 litres / h i kWt → Sistema més consumidor
Sistemes secs (AR)	**1r.**	0,0 litres / h i kWt → No consumeix aigua
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	**2n.**	1,8 litres / h i kWt → 2n. sistema més consumidor

3.3// ESPAI OCUPAT

Cada tecnologia precisa d'un espai físic de l'equip i dels elements auxiliars que l'acompanyaran en la distribució final. Al llarg de l'estudi s'han identificat diferents models dins de cada tecnologia que permetien una certa optimització de l'espai en planta necessari, com és el cas dels bescanviadors en forma de V en els sistemes tancats (sistemes secs i híbrids).

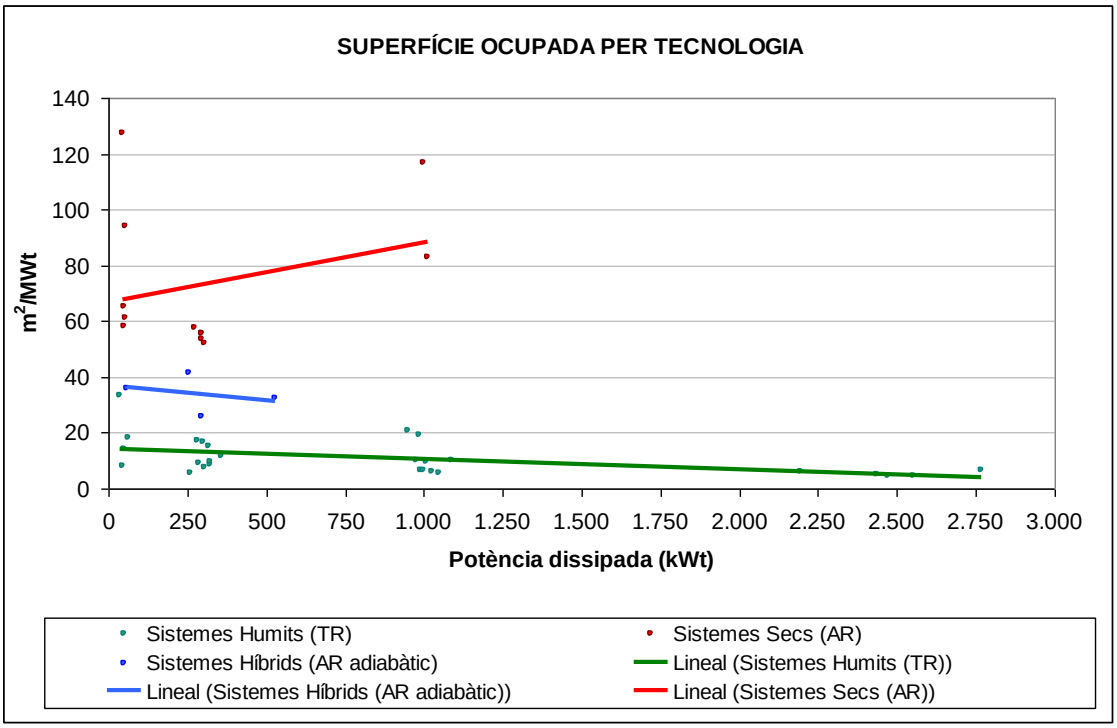
La utilització de ventiladors centrífugs o axials també condiciona l'espai ocupat. En la majoria dels casos, els ventiladors axials es troben en equips on el flux d'aire es desplaça en l'eix vertical, un fet que permet construir equips amb més alçada però de menys superfície en planta.

A la taula següent s'han amitjanat els principals valors d'equips amb disposicions diferents, per tal d'obtenir una valoració general.

A continuació es presenta la ràtio de superfície per calor dissipada (m^2/MWt) segons les tecnologies i les quatre potències "tipus" escollides:

		SUPERFÍCIE OCUPADA PER TECNOLOGIA (m^2/MWt)				
Potència de dissipació	kWt	**50**	**300**	**1.000**	**2.500**	**Mitjana**
Sistemes humits (TR)	m^2/MWt	17,5	11,2	7,8	5,8	**10,6**
Sistemes secs (AR)	m^2/MWt	80,1	54,9	99,8	--	**78,3**
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	m^2/MWt	36,0	33,1	--	--	**34,6**

El gràfic següent permet avaluar l'evolució de la ràtio de superfície per cadascuna de les tecnologies, a mesura que van incrementant les potències:



Nota 1: en aquest estudi s'ha considerat l'espai en planta ocupat pel bastidor de l'equip. L'anomenat *espai de servei* és l'espai que necessita un sistema de dissipació de calor per a evitar recirculacions d'aire. Aquest factor depèn de la mida dels equips i dels murs que n'envolten la ubicació, i s'incrementa amb el cabal impulsat per l'equip, de manera que acostuma a ser més gran en els sistemes secs. En el moment de portar a terme un projecte, amb el dimensionat de la instal·lació ja feta, s'haurà de demanar al fabricant aquesta distància addicional, per a poder comparar amb més exactitud l'espai ocupat.

Nota 2: anàlogament a l'apartat de consum energètic, per a trobar equips secs de 2.500 kWt i equips híbrids de 1.000 i 2.500 kWt és necessària una comanda específica ja que per a potències grans i molt grans és més habitual la implantació de sistemes humits.

Conclusió

De l'estudi de superfície ocupada es conclou:

- L'espai ocupat en planta creix amb la potència tèrmica a dissipar, però la ràtio (m^2/MWt) disminueix. Aquest fet indica que a mesura que creix la potència d'un equip, es produeix una optimització de l'espai perquè l'espai que ocupen els elements comuns que han de ser presents en els equips de qualsevol potència (suports, accessoris, superfície no útil com el marc de l'equip, etc.) tenen menys pes en el total de l'espai ocupat. En els sistemes secs però, a partir de 300 kWt, l'increment de potència dissipada que no es pot assolir amb ventiladors més potents, s'ha d'assolir incrementant la superfície, un fet que provoca un increment de la ràtio.

- En tots els casos, l'espai ocupat pels sistemes humits (torres de refrigeració) és inferior al de les altres tecnologies.

SUPERFÍCIE OCUPADA PER TECNOLOGIA		
Sistemes humits (TR)	**1r**	10,6 m^2/MWt → Sistema menys espaiós
Sistemes secs (AR)	**3r**	78,3 m^2/MWt → Sistema més espaiós
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	**2n**	34,6 m^2/MWt → 2n Sistema menys espaiós

3.4// NIVELL DE PRESSIÓ SONORA

El soroll generat pels equips de refredament és un paràmetre que té una importància especial quan es tracta d'una instal·lació ubicada en un nucli urbà o residencial. Hi ha instal·lacions on la càrrega de dissipació de calor es manté 24 h al dia, com és el cas del fred industrial (cambres de congelació i de conservació), que habitualment es troba en centres comercials, i que és necessari mantenir-los en funcionament fins i tot en període nocturn, caps de setmana i festius. La major part de les instal·lacions urbanes no superen els 1.000 kWt de potència a dissipar. Seguidament s'enumeren els elements o factors que influeixen en l'emissió de soroll per sistema:

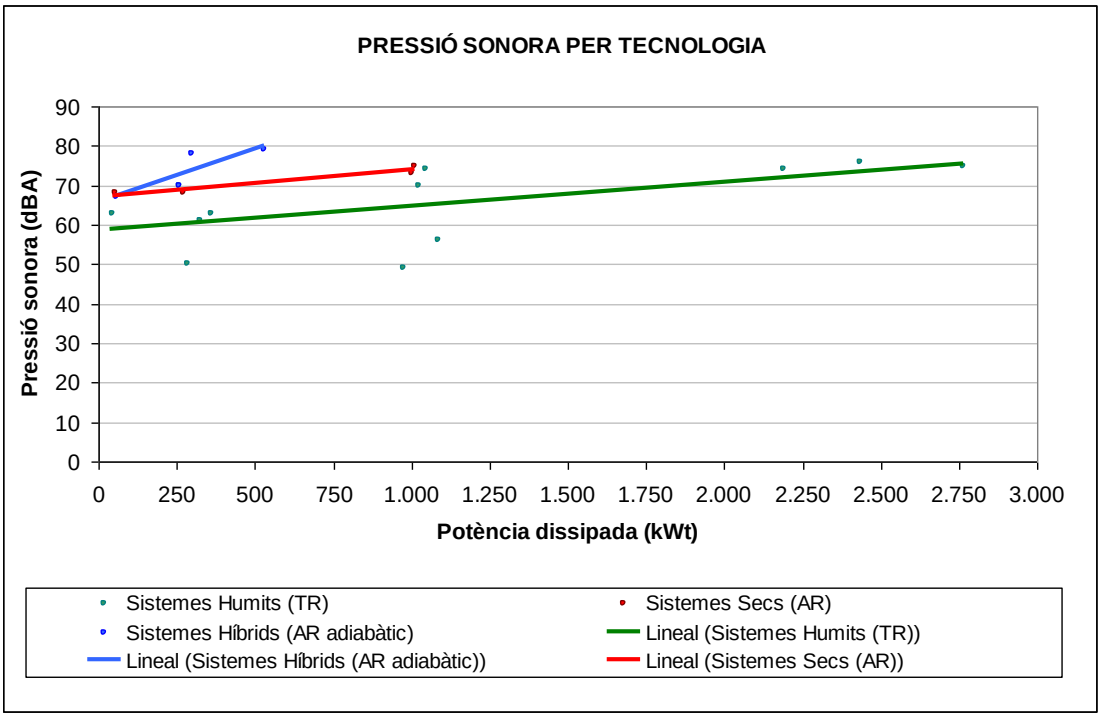
	ORIGEN SOROLL
Sistemes humits (TR i CE)	Ventiladors aire + degoteig d'aigua
Sistemes secs (AR i AC)	Ventiladors
Sistemes híbrids (AR i AC adiabàtic)	Ventiladors + aire a través de panell humit

Cal esmentar que en tots els casos s'ofereixen solucions factibles per a aconseguir l'atenuació del soroll. Per a aconseguir la reducció hi ha opcions d'apantallament de la zona envoltant de l'equip, de manera que es trenqui la dispersió de l'ona sonora en la direcció que es vol evitar.

En aquesta situació, és necessari evitar que l'apantallament disminueixi la ventilació de l'aparell i eviti recirculacions d'aire, doncs el rendiment energètic en quedaria afectat substancialment. Altres sistemes preveuen la instal·lació d'"atenuadors acústics", que es venen com a accessoris per a algunes de les instal·lacions i que poden acoblar-se directament a la descàrrega de l'equip. En algunes ocasions, la implantació d'aquests sistemes pot necessitar més potència de ventiladors, un fet que incrementarà el consum elèctric de l'equip.

Per al present estudi, s'han amitjanat els valors de diferents equips i fabricants que no incorporen cap sistema d'atenuació acústica. Els valors obtinguts són la pressió sonora rebuda a una distància del focus de cinc metres:

		PRESSIÓ SONORA PER TECNOLOGIA (Distància = 5 metres)				
Potència de dissipació		**50 kWt**	**300 kWt**	**1.000 kWt**	**2.500 kWt**	**Mitjana**
Sistemes humits (TR)	**dBA**	63,0	61,0	62,3	75,0	**65,3**
Sistemes secs (AR)	**dBA**	68,0	68,0	74,0	--	**70,0**
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	**dBA**	67,0	75,7	--	--	**71,3**



Conclusió

De l'estudi de pressió sonora s'obtenen les conclusions següents:

- En tots els casos, la pressió sonora emesa pels equips incrementa amb la potència de dissipació.
- La torre de refrigeració és l'equip més silenciós, amb un 9% menys de pressió sonora que els adiabàtics i un 7% menys que els sistemes secs.
- Els sistemes híbrids són els equips que més soroll emeten. Això és degut al fet que al soroll dels ventiladors se li ha d'afegir el soroll que fa l'aire en passar a través del panell humit, en el qual es refreda adiabàticament.
- Hi ha mètodes viables per a la reducció del soroll en tots els tipus d'equips.
-

SUPERFÍCIE OCUPADA PER TECNOLOGIA		
Sistemes humits (TR)	**1r**	65,3 dBA → Sistema menys sorollós
Sistemes secs (AR)	**2n**	70,0 dBA → 2n. sistema menys sorollós
Sistemes híbrids (AR adiabàtic)	**3r**	71,3 dBA → Sistema més sorollós

3.5// CONTAMINACIÓ BIOLÒGICA

El risc de contaminació biològica que impliquen alguns sistemes de refredament es deriva del bescanvi de massa d'aigua al corrent d'aire, amb la conseqüent possibilitat d'arrossegament de gotes d'aigua no evaporades que puguin transportar el bacteri legionel·la spp, sempre que

s'hagin donat prèviament les condicions idònies per a la seva proliferació a la instal·lació. Aquesta situació només es pot donar als sistemes humits (TR i CE), on la gran massa d'aigua és polvoritzada directament al corrent d'aire normalment a contracorrent.

Naturalment, els sistemes secs (AR i AC) no empren aigua en el seu funcionament i, per tant, no hi ha cap possibilitat d'assolir un risc biològic.

D'altra banda, els sistemes que hem anomenat híbrids (AR i AC adiabàtics) tampoc impliquen un risc biològic, perquè no disposen d'acumulació d'aigua que pugui generar les condicions adequades per al desenvolupament microbiològic. L'aigua es troba retinguda en uns panells esponjosos a través dels quals es fa passar l'aire, de manera que no es produeix la generació de microgotes del fluid que puguin desencadenar la dispersió del bacteri. En aquests equips, l'aigua que se'n va amb el corrent d'aire ho fa en forma de vapor i, per tant, la formació i arrossegament de gotes d'aigua queda limitada.

RISC DE CONTAMINACIÓ BIOLÒGICA (PROLIFERACIÓ LEGIONEL·LA)	
Sistemes humits (TR i CE)	**SI**
Sistemes secs (AR i AC)	--
Sistemes híbrids (AR i AC adiabàtic)	--

Des del punt de vista microbiològic, cal considerar que la legionel·la és un bacteri present en multituds de reservoris naturals (llacs, rius, etc.) i no neix espontàniament a la instal·lació, sinó que ha de ser transportada per l'aigua de xarxa. Com que no és perjudicial en concentracions petites, la intenció dels controls és evitar-ne la proliferació fins assolir poblacions que impliquin un risc de contaminació via aèria.

Conseqüentment, la normativa estatal i autonòmica només estableix unes condicions de seguiment i documentació per a les instal·lacions humides, de torres de refrigeració i condensadors evaporatius, que es recullen en el subapartat següent:

DOCUMENTACIÓ I ACTUACIONS LEGISLADES

Torres de refrigeració i condensadors evaporatius:

La normativa sobre la prevenció de legionel·la (RD 865/2003 i D 352/2004) exigeix que el titular de la instal·lació disposi de la documentació següent:

- Plànols actualitzats de la instal·lació
- Programa de tractaments preventius
- Programa de tractaments de xoc
- Programa de controls analítics
- Llibre de registre d'operacions de manteniment, neteja, desinfeccions i controls periòdics
- Certificats de neteja i desinfecció de l'empresa autoritzada

El titular es troba obligat a notificar la implantació de noves instal·lacions de torres o condensadors evaporatius, les modificacions efectuades en instal·lacions ja existents, i també la baixa d'aquest tipus d'instal·lacions.

Distància mínima:

Cal comentar que la *UNE 100030: Prevención de la legionel·la en instalaciones de edificios*, dóna valors sobre la distància mínima entre l'emissió de torres i les zones de risc:

- La descàrrega de l'aerosol estarà a una cota de, com a mínim, 2 m per sobre de la part superior de qualsevol element o lloc a protegir (finestres, presses d'aire, de sistemes de condicionament d'aire o ventilació, llocs freqüentats) i a una distància de 10 m en horitzontal.

Conclusió

- Els sistemes humits són els únics que tenen un risc inherent de contaminació biològica. L'acumulació d'aigua i les temperatures de treball generen un ambient idoni per a la proliferació de la *legionela pneumophila* si no es controlen els paràmetres fisicoquímics adequadament. El bescanvi de massa que es produeix pot arribar a generar una emissió d'aerosols que transporti el bacteri alguns metres al voltant (si el separador de gotes no funciona correctament).
- El bacteri de la *legionela pneumophila* no sobreviu en ambient sec i, per tant, en el moment en què es produeix l'evaporació total de la gota d'aigua, el microorganisme mor.

3.6// CONSUM DE REACTIUS

Els motius que generen la necessitat de reactius es poden dividir en dos blocs:
- Garantir el funcionament de la instal·lació
- Eliminar el risc de proliferació microbiana

Per tant, les instal·lacions que necessitin reactius per a funcionar seran:

a) Les que tinguin una renovació del fluid refredador (aigua) i aquest s'hagi de tractar contínuament (sistemes oberts), com les torres de refrigeració i els condensadors evaporatius, on l'aigua de reposició fa que siguin necessaris additius que ajudin a preservar els elements de la instal·lació.

b) Les que comportin un risc de contaminació biològica i s'hagi de minimitzar.

La taula següent resumeix, de les instal·lacions estudiades, les que requereixen reactius per al control dels conceptes explicats:

	CONSUM DE REACTIUS PER TECNOLOGIA	
	Reactius per garantir funcionament	**Reactius per control biològic**
Sistemes humits (TR i CE)	X	X
Sistemes secs (AR i AC)	--	--
Sistemes híbrids (AR i AC adiabàtic)	--	--

S'observa que els sistemes humits són els únics que necessiten un consum continu de productes per tal de controlar els paràmetres esmentats. A continuació s'explica la tipologia de productes que implica el control de cadascun dels dos conceptes:

Reactius per a garantir el funcionament

a) Antiincrustant: manté en suspensió les sals dissoltes a l'aigua, evitant-ne la precipitació i la formació d'incrustacions a les canonades que disminueixin la secció de pas del fluid.

b) Anticorrosiu: protegeix el material de les canonades de la possible corrosió a la qual es veuen sotmesos degut als propis reactius biològics (clor).

c) Anticongelant: disminueix la temperatura de congelació de l'aigua, evitant-ne la congelació. El percentatge de glicol d'una instal·lació depèn de les condicions extremes de fred a les quals pot arribar la climatologia.

Reactius per control biològic

a) Biocida: producte concentrat, generalment a base de clor, que destrueix els microbis que puguin arribar al volum de control o que s'hagin pogut desenvolupar. Necessita el control en continu, ja que és volàtil i només és efectiu quan es troba en estat lliure residual, sense combinar-se amb altres components.

b) Sosa càustica: és una base forta (NaOH), que permet compensar el PH de l'aigua quan surt dels límits. És necessari controlar el PH dins d'un rang específic per tal de garantir l'eficàcia del biocida.

Nota: el consum de reactius depèn fortament de les característiques fisicoquímiques de l'aigua de la zona, així com del tipus de material de la torre de refrigeració. Per tant, el consum és molt variable i difícil de predir.

Sistema de control automatitzat

En els tres sistemes, la instal·lació pot disposar de centrals de monitoratge i control (SCADA) que permeten rebre informació de l'estat en funcionament dels equips que composen la instal·lació, i permeten ajustar a telecomandat els paràmetres de treball de la instal·lació. En resum, permeten controlar el funcionament global dels equips.

Aquests sistemes de control són un element clau per a mantenir el bon estat dels components, el grau d'eficiència energètica al llarg de la seva vida útil (adaptació a càrregues parcials, detecció de desviacions de consums...), així com controlar de manera continua el risc de proliferació de microorganismes als equips que impliquin risc biològic.

Control del risc biològic

En els sistemes de control automatitzats es disposa de controladors que llegeixen els paràmetres fisicoquímics de l'aigua que conté la bassa, de manera que poden emmagatzemar

aquestes dades i donar ordres als equips que compensen o modifiquen aquests paràmetres. Les lectures més habituals d'aquests controladors són les següents:

1// Índex **RedOx** de l'aigua: permet tenir una lectura directa de la concentració de clor lliure residual i que el sistema decideixi si és necessari afegir-ne més o no. Aquest equip donarà ordre al sistema de dosificació de biocida líquid per arribar a la concentració prefixada al sistema de gestió.

2// **pH**: l'acidesa de l'aigua defineix si es troba dins del rang d'acidesa en què el biocida és eficaç. Fora d'aquest rang la seva capacitat d'eliminació de microorganismes disminueix. Habitualment la instal·lació disposa d'un dipòsit amb una dissolució aquosa de sosa càustica que permet compensar el PH de l'aigua quan aquesta s'acidifica.

3// **Conductivitat**: mesura el nivell de sals i metalls dissolts en l'aigua i que faciliten la dispersió del bacteri al llarg de tot el medi. S'encarrega de controlar el sistema de purga de la bassa de la torre, de manera que l'aigua de reposició que entra compensa l'excés de conductivitat que havia assolit l'aigua recirculada.

Actualment hi ha sistemes de control totalment automatitzats que incorporen:

1. Acumulació d'energia per no perdre la programació en cas de fallada elèctrica.

2. Sistemes automatitzats de telecomunicació i control remot via GSM (telefonia mòbil), Internet, etc. que permeten la comunicació en temps real de possibles fallades al sistema (paràmetres fora de rang, dipòsits de reactius amb nivell baix...).

Totes aquestes tècniques, encara poc implantades, minimitzen el risc de proliferació de legionel·la, evitant quedar-se sense producte o d'altres errades humanes (que habitualment han estat el desencadenant d'alguns positius). D'aquesta manera, el monitoratge o control de la instal·lació fa que aquesta esdevingui molt més segura.

Conclusió:

- Els sistemes humits són els únics que necessiten un consum continu de productes per tal de controlar els paràmetres adequats per al funcionament i també per a la contenció del risc biològic.
- Hi ha noves tècniques de monitoratge i control de la instal·lació a distància i en temps real, que fa que les instal·lacions de torres i condensadors evaporatius esdevinguin molt més segures que fins fa poc. Ara bé, cal considerar que aquests sistemes encareixen la inversió inicial, però també ajuden a disminuir costos de manteniment correctiu i de compra d'energia, minimitzant el temps d'aturada de la instal·lació en cas de fallada.

3.7// CONCLUSIONS DE L'ESTUDI MEDIAMBIENTAL

De les diferents avaluacions desenvolupades al llarg d'aquest apartat, s'extreuen les conclusions següents:

- El principi físic i tecnològic en què es basen els sistemes humits (aprofitament de la temperatura de bulb humit), permet que aquestes tecnologies presentin un rang més ampli de temperatures de funcionament del fluid a refredar i de les condicions climàtiques.

- L'evolució de les corbes de rendiment energètic per a cada tecnologia indica que en qualsevol potència, els sistemes energèticament més eficients són els sistemes humits (torres de refrigeració i/o condensadors evaporatius), seguits dels sistemes híbrids (aerorefredadors adiabàtics i/o aerocondensador adiabàtics). Els sistemes menys eficients energèticament són els secs (aerorefredadors i/o aerocondensadors). Amb el mateix consum elèctric, els sistemes humits (torres de refrigeració) dissipen aproximadament quatre vegades més calor que els sistemes secs i el doble que els sistemes híbrids. Aquesta eficiència es tradueix alhora en estalvi econòmic, conseqüència de l'estalvi en la compra d'energia.
  Ara bé, en el cas de climatització no es pot comparar només els equips de refredament, ja que la implantació de torres implica una modificació de la planta refredadora d'aigua. Aquest cas en particular s'estudia al *Capítol 4.- Estudi econòmic i d'emissions: comparativa de les tecnologies de refredament en el sistema de climatització d'un edifici d'oficines*.

- Els sistemes humits són els que consumeixen més aigua, aproximadament un 40% més que els sistemes híbrids, com a conseqüència de la purga necessària. Els sistemes secs no consumeixen aigua en el seu funcionament.

- En tots els casos, l'espai ocupat pels sistemes humits (torres de refrigeració) és inferior al de la resta de tecnologies.

- La pressió sonora emesa pels equips augmenta amb la potència de dissipació. La torre de refrigeració és l'equip més silenciós, amb un 9% menys de pressió sonora que els adiabàtics i un 7% menys que els sistemes secs. Els sistemes híbrids són els equips que més soroll emeten. No obstant, hi ha mètodes factibles per a la reducció del soroll en tots els tipus d'equips.

- Els sistemes humits són els únics que tenen un risc inherent de contaminació biològica. Per tant, els sistemes humits són els únics que necessiten un consum continu de productes, per tal de controlar els paràmetres adequats per al funcionament i també per a la contenció del risc biològic.

- Hi ha noves tècniques de monitoratge i control de la instal·lació a distància i en temps real que fa que les instal·lacions de torres i condensadors evaporatius esdevinguin molt més segures que fins fa poc. Ara bé, cal considerar que aquests sistemes encareixen la inversió inicial, però també ajuden a disminuir costos de manteniment correctiu i de compra d'energia, minimitzant el temps d'aturada de la instal·lació en cas de fallada.

Nota: al llarg d'aquest estudi s'ha realitzat una avaluació de les necessitats de manteniment de cada tipus de tecnologia, determinant la dedicació que implica cadascuna.

4// ESTUDI ECONÒMIC I D'EMISSIONS: COMPARATIVA DE TECNOLOGIES DE REFREDAMENT EN UN SISTEMA DE CLIMATITZACIÓ D'UN EDIFICI D'OFICINES

COMPARATIVA SISTEMES DE REFREDAMENT EN EDIFICIS

En aquest capítol s'ha efectuat una comparativa en un escenari real que permeti la comparació entre diferents sistemes de refredament implantats en un sistema de climatització del terciari. S'ha considerat un edifici tipus per a realitzar l'estudi. A continuació es presenten les bases de partida de l'escenari de comparació:

4.1 // BASES DE PARTIDA

Ubicació

Barcelona
Alçada sobre el nivell del mar: 0 m
Latitud: 41,28 º Nord
Longitud: 2,18 º Est

Climatologia de la zona

Per tal d'avaluar la demanda tèrmica i fer els balanços energètics, s'ha considerat la següent climatologia de la zona:

Mes		Gen.	Feb.	Març	Abril	Maig	Juny	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Des.	Total
Tmax	ºC	13,4	14,6	15,9	17,6	20,5	24,2	27,5	28	25,5	21,5	17	14,3	20
Tmin	ºC	4,4	5,3	6,7	8,5	12	15,7	18,6	19,3	16,7	12,6	8,1	5,7	11,1
HR	%	73	71	71	71	73	72	69	72	73	75	74	73	72

Les bases de dimensionat de les instal·lacions de refrigeració de l'edifici, segons el projecte base són:

Condicions exteriors de disseny			
		Hivern	Estiu
Temperatura seca exterior de disseny	º C	1,2	32,0
Temperatura humida exterior més probable	º C	--	26,3
Oscil·lació mitjana diària de temp. seques	º C	--	8,4

Condicions interiors de disseny			
		Hivern	Estiu
Temperatura	º C	21	24
Humitat relativa	%	--	50-60

Hipòtesis de funcionament

L'horari de funcionament considerat per l'edifici es presenta a continuació:

Mes		Gen.	Feb.	Març	Abril	Maig	Juny	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Des.	Total
Laborables	dies	20	20	15	20	20	20	15	15	20	20	20	15	220
Hores de funcionament de l'edifici														
Laborables	hores/dia	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Dissabtes	hores/dia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Festius	hores/dia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total mes	hores/mes	180	180	135	180	180	180	135	135	180	180	180	135	1.980

Superfície útil

L'edifici consta de planta baixa, quatre pisos i la planta tècnica, que és on hi ha ubicats els equips de serveis.

		Vestíbul	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Total
Planta baixa	m^2	199	326	221	375	--	1.121
Planta 1	m^2	--	315	283	259	263	1.120
Planta 2	m^2	--	315	283	259	263	1.120
Planta 3	m^2	--	315	283	259	263	1.120
Planta 4	m^2	--	315	287	301	--	903
TOTAL	m^2						**5.384**

La superfície total útil i climatitzada és de 5.384 m2 per a locals i oficines. La planta tècnica no està climatitzada.

4.2 // HIPÒTESIS DE COMPARACIÓ

Sistema de refrigeració

L'aigua freda s'obté mitjançant dues màquines refredadores d'aigua, condensades per aire. A continuació es presenten les principals dades de la instal·lació productora de fred:

	Refredadora 1	Refredadora 2	Total
Potència (kW)	462,1 kW	462,1 kW	924,2 kW
Cabal aigua (l/s)	22,09	22,09	44,18
Cabal aire (m3/s)	27,00	27,00	54,00
Temperatura entrada aigua (ºC)	13,9	13,9	13,9
Temperatura sortida aigua (ºC)	8,9	8,9	8,9
COP (kWf/kWe)	2,63	2,63	2,63

La comparació, doncs, es basarà en un sistema estàndard de planta refredadora de 924,2 kW de potència, condensada per aire i, d'altra banda, una planta refredadora condensada per aigua, dissenyada per a poder acoblar una torre de refrigeració o bé un aerorefredador adiabàtic.

ESCENARIS DE COMPARACIÓ			
Concepte	**Hipòtesi A**	**Hipòtesi B**	**Hipòtesi C**
Sistema de producció de fred	Planta refredadora refredada per **aire**	Planta refredadora refredada per **aigua**	Planta refredadora refredada per **aigua**
Sistema de dissipació de calor	**SEC**	**HUMIT**	**HÍBRID**
	Condensador per aire inclòs en l'equip	Torre de refrigeració addicional a l'equip	Aerorefredador adiabàtic addicional a l'equip

A continuació s'exposen les consideracions prèvies necessàries per a la selecció dels equips:

PARÀMETRES DE DISSENY - CONSIDERACIONS PRÈVIES				
Sistema		**SEC**	**HUMIT**	**HIBRID**
Descripció		Refredadora **condensada per aire**	Refredadora condensada per aigua amb **Torre de Refrigeració**	Refredadora condensada per aigua amb **aerorefredador adiabàtic**
Condicions ambientals de disseny:		Text = 35ºC	Tbh = 26ºC	Tbh = 26ºC
Condicions de treball:				
Planta refredadora (Evaporador)				
Tºaigua sortida	ºC	7	7	7
Tºaigua entrada	ºC	12	12	12
Equip de refredament				
Tºaigua sortida	ºC	Aerocondensador (Tº constant = 45ºC aprox)	30	30
Tºaigua entrada	ºC		35	35
Observacions		Aquest sistema NO pot treballar si la temperatura exterior supera els 42ºC		
Controladors		Els tres sistemes poden incorporar diferents opcions de regulació (VFD, PLC, Termòstats...). La millor opció en tots els casos però, és la incorporació de variadors de freqüència (VFD).		
Regulació		Segons el controlador incorporat	Segons el controlador incorporat	Aquest equip treballa en SEC quan la Text<24ºC i en HUMIT quan la Text>24ºC

La taula següent agrupa les especificacions tècniques dels equips previstos en cada cas.

INSTAL·LACIÓ DE REFRIGERACIÓ PER A CLIMATITZACIÓ				
Planta refredadora				
		Refredada per aire (actual)	**Refredada per aigua**	**Refredada per aigua**
Potència refrigeració	**kWf**	**924**	**924**	**924**
EER	kWf/kWe	2,6	5,1	5,1
Potència elèctrica abs.	kWe	353	182	182
Pot. Elect. Abs. Compressors	*kWe*	*325*	*182*	*182*
Pot. Elect. Abs. Ventiladors	*kWe*	*28*	-	-
ESEER (pond. anual c.parcials)	**kWf/kWe**	**3,8**	**9,0**	**9,0**
Pot. elèctrica abs. Ponderada	**kWe**	**246**	**103**	**103**
Soroll	dB(A)	93	97	97
longitud	mm	9.400	4.825	4.825
amplada	mm	2.260	1.390	1.390
alçada	mm	2.430	2.050	2.050
Superfície ocupada	m^2	21,2	6,7	6,7
Sistema de refredament del condensador de la planta				
Sistema		**SEC**	**HUMIT**	**HÍBRID**
Equip		Condensador per aire inclòs en l'equip	Torre de refrigeració addicional	Aerorefredador adiabàtic
Nº Unidades		-	1	2
Potència refrigeració	**kWt**	**-**	**1.106**	**1.106**
Potència elèctrica abs.	kWe	-	18,5	44,0
Rendiment de dissipació (EER)	kWt/kWe	-	59,8	25,1
Rend. dissipació ponderat (ESEER)	**kWt/kWe**		**105,3**	**44,3**
Potència elèctrica abs. Ponderada	**kWe**	**-**	**10,5**	**25,0**
Soroll	dB(A)	-	75	75
longitud	mm	-	3.680	3.050
amplada	mm	-	2.400	2.400
alçada	mm	-	3.600	2.600
Cabal d'aigua recirculada	litres/s	-	52,8	52,8
Superfície ocupada	m^2	-	8,8	14,6
Sistema de bombament		-	Si	Si
Pèrdua de càrrega del circuit	mcda	-	10,0	10,0
Pèrdua de càrrega equip refredador	mcda	-	2,4	6,8
Pressió total bomba	mcda	-	12,4	16,8
Cabal de recirculació	m^3/s	-	0,0528	0,0528
Coeficient de seguretat	tpu		1,2	1,2
Potència Hidràulica	kW	-	7,7	10,4
Potència elèctrica bomba	kW	-	10,6	14,3

DADES TOTALS DE LA INSTAL·LACIÓ				
Sistema		**SEC**	**HUMIT**	**HÍBRID**
Descripció		Refredadora **condensada per aire**	Refredadora condensada per aigua amb **Torre de Refrigeració**	Refredadora condensada per aigua amb **aerorefredador adiabàtic**
Potència refrigeració	kWf	924	924	924
Potència elèctrica abs.Ponderada	kWe	246	114	128
Rendiment global instal·lació	kWf/kWe	**3,8**	**8,1**	**7,2**
Superfície ocupada	m^2	**21,2**	**15,5**	**21,3**

Nota 1: el consum de bombament fa referència a la recirculació necessària de l'aigua de refrigeració. No s'ha considerat el consum de les bombes de dosificació de reactius, ja que el seu pes respecte les bombes d'aigua és molt petit.

Nota 2: cal no confondre el rendiment estacional de la planta refredadora amb l'estacional global de la instal·lació, que inclou els consums de l'equip de refredament i les bombes de recirculació que té.

Finalment, es procedirà al càlcul aproximat del consum elèctric anual destinat a cobrir la demanda de refrigeració de l'edifici, a fi de poder comparar les tres hipòtesis.

4.3 // DEMANDA DE REFRIGERACIÓ

En el procés d'aproximació de demandes per refrigeració s'han considerat els paràmetres enumerats a continuació:

- Guanys tèrmics per càrrega de tancaments.
- Guanys tèrmics per càrrega d'infiltracions.
- Guanys tèrmics per càrrega de ventilació.
- Guanys tèrmics derivats de la generació interna.

Generació interna

Per al càlcul de la generació interna s'han emprat les mateixes ràtios d'ocupació i càrregues tèrmiques internes que per al dimensionament en la memòria del projecte d'instal·lacions mecàniques de l'edifici, i que es descriuen a continuació.

Local	Ocupació (m^2/p)	Il·luminació (W/ m^2)	Altres Càrregues (W/ m^2)	Ventilació (UNE 100.011) (l/s/p)
Atrio	15	15	-	10
Locals	5	30	-	10
Oficines	10	20	20	10

I, en conseqüència, considerant les superfícies de cada secció de les taules anteriors, i els factors d'emissió de calor sensible i latent per l'activitat metabòlica considerada, obtenim l'ocupació i les generacions internes de l'edifici.

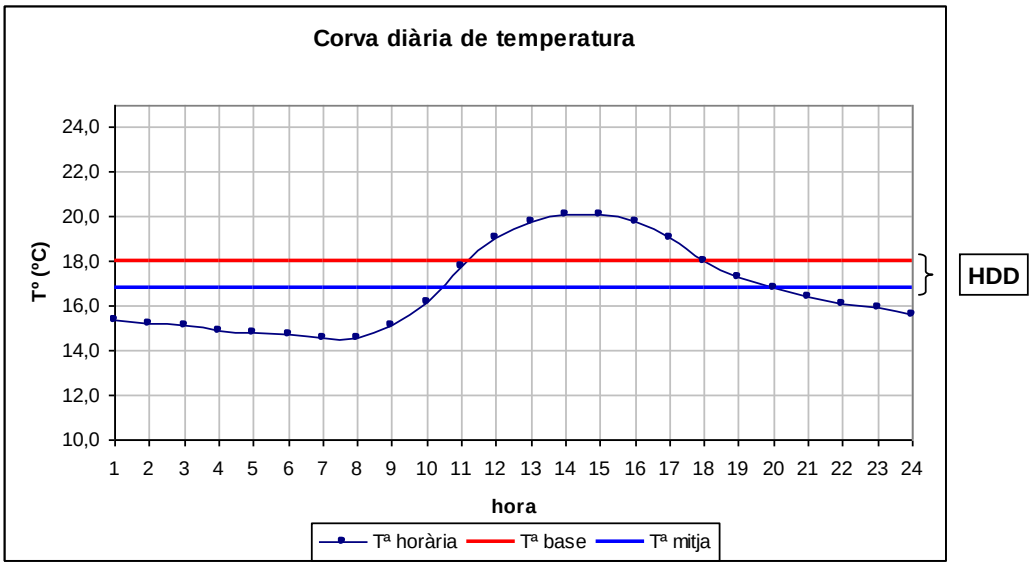
GENERACIÓ INTERNA EDIFICI (ocupació + aparells)								
Sala	Denominació	Superficie (m2)	Nº ocupants	Qsensible unitària (W)	Qlatent unitària (W)	Qsens. gen. int. (W)	Qlat. Gen. int. (W)	
Atrio		**199**						
Ocupants	Oficina promig llegint i escrivint a màquina		0	73	50	0	0	
Aparells	Il·luminació			2.985	0	2.985	0	
	Altres càrregues			0	0	0	0	
Locals		**922**						
Ocupants	Oficina promig llegint i escrivint a màquina		184	73	50	13.369	9.220	
Aparells	Il·luminació			27.660	0	27.660	0	
	Altres càrregues			0	0	0	0	
Oficines		**4.263**						
Ocupants	Oficina promig llegint i escrivint a màquina		426	73	50	30.907	21.315	
Aparells	Il·luminació			85.260	0	85.260	0	
	Altres càrregues			85.260	0	85.260	0	**TOTAL**
			611			245.441	30.535	275.976 W
						245	**31**	**276 kW**

Potència frigorífica necessària per a compensar les càrregues internes, que més endavant, mitjançant l'horari d'ocupació de l'oficina considerat, podrem afegir a la resta de potències frigorífiques.

Guanys tèrmics per càrregues de tancaments, ventilació i infiltració

El càlcul de consums s'ha fet mitjançant el concepte dels graus-dia de calefacció (HDD, *heating degree days*) i els graus-dia de refrigeració (CDD, *cooling degree days*), que aporten la suma de les diferències diàries de temperatura de tots els dies de l'any en què la temperatura exterior mitjana del dia és inferior (en el cas d'hivern) o superior (en el cas d'estiu) a la temperatura base utilitzada.

Exemple de graus-dia de calefacció (HDD) d'un dia tipus d'un mes qualsevol:



Podem observar que els graus-dia acumulats per aquest dia tipus són iguals a la diferència entre la Tª base escollida (18ºC), que seria assimilable a la temperatura de confort, i la temperatura mitjana del dia (16,8ºC), que dóna un valor d'1,2 ºC. Si el mes considerat té 30 dies, direm que els graus dia d'aquell mes equivalen a:

$$HDD_{mes\ exemple} = 1{,}2 \times 30 = 36\ ºC$$

Les temperatures base emprades en aquest cas han estat 21-21 per a l'estiu[2].

L'expressió matemàtica emprada per al càlcul de les pèrdues o guanys anuals és la següent,

$$Pèrdues/Guanys_anuals = UA \cdot DDanuals \cdot u \cdot i \cdot 3600\left(\frac{s}{h}\right) \cdot 24\left(\frac{h}{dia}\right)$$

- En què UA és el sumatori dels productes de l'àrea de l'edifici pel coeficient de transferència de calor dels diferents tancaments de l'edifici més un terme d'infiltracions.
- DDanuals és el valor total dels graus dia al llarg de tot un any.

[2] Els graus-dia corresponents a aquestes temperatures base han estat extrets del document *Els graus-dia de calefacció i refrigeració de Catalunya*, un estudi monogràfic de l'ICAEN.

- "i" i "u" són els coeficients d'ús (dies) i d'intermitència (hores) en funció del tipus d'edifici. En el nostre cas en concret, el coeficient u=0,85 i el coeficient i=0,70.

Els graus-dia per a la zona de Barcelona, segons la base de dades de l'ICAEN són:

	CDD 21/21	HDD 18/18
Gener	0	246
Febrer	0	195
Març	0	154
Abril	0	117
Maig	5	40
Juny	44	0
Juliol	118	0
Agost	135	0
Setembre	52	0
Octubre	0	46
Novembre	0	125
Desembre	0	205
	354	**1128**

És important considerar que tot i ser "0" els valors de CDD en els mesos d'hivern, això no implica que no hi hagi demanda de refrigeració degut a les càrregues internes que, en ocasions, són majors que la demanda de calefacció i es necessita l'aportació de fred. Per a considerar aquest factor, en el cas que ens ocupa s'ha calculat també la demanda de calefacció en horari d'oficina per comparar-la amb les càrregues internes. En els mesos en què les càrregues internes han superat la demanda de calefacció, s'ha considerat la diferència com a demanda frigorífica que, posteriorment, s'ha introduït a la taula de demanda frigorífica (valors en color verd).

Els valors de partida considerats al llarg del procés de càlcul són,

Època	Producte UA (W/K)	Cabal infiltracions (m^3/h)	Cabal ventilació (m^3/h)
Hivern	29.240	1.910	21.985
Estiu		1.060	21.985

Nota: en relació amb el mètode de càlcul emprat, val a dir que hi ha programes de càlcul exhaustiu de càrregues tèrmiques que donen valors més exactes de la demanda de fred i calor d'un edifici perquè en consideren les inèrcies tèrmiques i les especificacions dels tancaments de l'envoltant. Per a l'objectiu d'aquest estudi, la valoració amb el mètode graus-dia es considera una aproximació correcta.

<u>Tancaments</u>
El producte UA s'ha aproximat a partir de la potència tèrmica real de calderes de l'edifici (579 kWt), i les condicions establertes per la memòria tècnica de les instal·lacions mecàniques, segons l'equació següent:

$$UA = \frac{Q}{(T_{interior} - T_{exterior})} = \frac{579}{(21-1{,}2)} = 29{,}240 \frac{kWt}{^{o}C}$$

Ventilació: El valor de ventilació s'ha calculat amb la ràtio de la UNE 100.011 de 10 litres/segon i persona, i l'ocupació calculada a la taula de "generació interna de l'edifici".

VENTILACIÓ	Locals	Oficines	TOTAL	unitats
Ocupants	184	426	611	
Rati ventilació	10	10		litres/segon i persona
Cabal de ventilació	1.844	4.263	6.107	litres/segon
	6.638	15.347	**21.985**	***m³/h***
UA ventilació	2,213	5,116	7,328	kW/ºC
	2212,8	5115,6	7328	W/ºC

Infiltracions: Aquests s'han calculat a partir de les taules del *Manual de Aire Acondicionado de Carrier* de manera separada per a l'estiu i l'hivern, degut. S'ha seguit la mateixa metodologia que la memòria del *Projecte d'instal·lacions mecàniques de l'edifici*.

INFILTRACIONS PORTA	hivern	estiu	unitats
Tipus porta	vidre		
Grau d'utilització	mig		
Valor taula	183	659	m^3/h i m^2
Velocitat aire (taula manual)	12	24	m/s
Velocitat aire suposada	18	18	m/s
Factor correcció velocitat aire	1,5	0,8	
Reducció per vestíbul	0,7	0,7	
Superfície porta (2,4 x 2,3m)	5,5	5,5	m^2
Cabal d'infiltració	**1.061**	**1.910**	**m^3/h**
UA infiltracions	0,354	0,637	kW/ºC
	354	637	W/ºC

-S'ha aproximat un 30% de reducció de les infiltracions en disposar de vestíbul.

Estiu: la principal causa d'entrada d'aire exterior a l'interior de l'atri és l'acció del vent sobre la façana. El conegut "efecte xemeneia" provocat per la diferència de densitats entre l'aire interior i exterior es considera menyspreable degut a la poca diferència de densitats:

Condicions de disseny (estiu)		Interior	Exterior
Temperatura seca	º C	24	32
Humitat relativa	%	50	68
Densitat	kg/m^3	1,17	1,12

L'acció del vent sobre la façana és, doncs, el factor a considerar per a determinar el cabal d'aire infiltrat en el volum de l'atri, a través de les portes que hi ha per a accedir-hi.

TABLA 41 c - PUERTAS EN UNA FACHADA O EN DOS FACHADAS ADYACENTES

DESIGNACIÓN	m³/h por m² de superficie ****		m³/h	
	No utilizada	Utilización media	Constantemente abierta	
			Sin vestíbulo	Con vestíbulo
Puerta giratoria - funcionamiento normal	14,5	95	-	-
paneles abiertos	-	-	2040	1530
Puerta de cristal - Rendija 5 mm	82,0	183	1190	850
Puerta de madera (2,1 × 0,9 m)	18,0	119	1190	850
Pequeña puerta de fábrica	14,0	119	-	-
Puerta de garage o de carga	36,5	82	-	-
Rampa de garage	36,5	124	-	-

Taula d'infiltracions d'estiu per a velocitat de vent de 12 km/h

S'han realitzat els supòsits següents a l'hora de determinar el cabal:

- Atesa la situació protegida de la façana s'ha considerat una velocitat d'aire de 5m/s (18 km/h) i una incidència perpendicular sobre aquesta.
- Pèrdues per infiltració per sobrepressió a la façana oposada a l'accés i per depressió a la façana d'accés, nul·les.

Hivern: els principals causants de les entrades furtives d'aire exterior a l'interior de l'atri són l'acció del vent sobre la façana i el conegut "efecte xemeneia", provocat per la diferència de densitats de l'aire interior i exterior:

Condicions de disseny (hivern)			
		Interior	Exterior
Temperatura seca	º C	21	1,2
Humitat relativa	%	60	85
Densitat	kg/m^3	1,18	1,28

Ambdós efectes es combinen i resumeixen a la taula següent, per a velocitats de vent de 24 km/h:

TABLA 43 c - PUERTAS EN FACHADA O DOS FACHADAS ADYACENTES EXPUESTAS

DESIGNACIÓN	m³/h POR m² DE SUPERFICIE ****				
	Utilización poco frecuente	Utilización media			
		Inmueble de una o dos plantas	Inmueble alto (m)		
			15	30	60
Puerta giratoria	29	192	230	260	316
Puerta de vidrio - rendija 5 mm	165	549	659	741	900
Puerta de madera (2,1 × 0,9 m)	37	238	284	320	393
Pequeña puerta de fábrica	27	238			
Puerta de garage o de carga	73	165			
Puerta de garage	73	247			

Taula d'infiltracions d'hivern per a velocitat de vent de 24 km/h

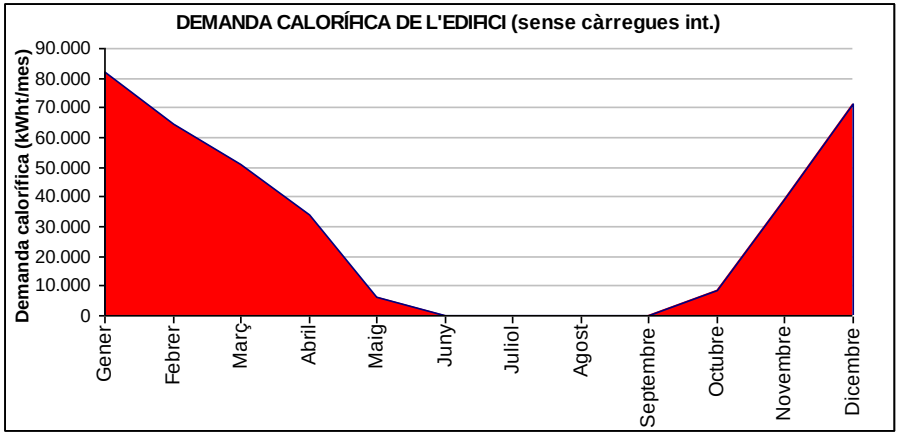
-S'han considerat les mateixes suposicions que per al cas d'estiu.

Demanda de calefacció

Com s'ha explicat prèviament, és necessari calcular la demanda de calefacció per comparar-la amb la generació interna de calor i determinar si és necessària l'aportació de fred els mesos d'entretemps o fins i tot d'hivern. La mesura de graus-dia s'ha pres amb base 18-18 del document *Els graus-dia de calefacció i refrigeració de Catalunya*, un estudi monogràfic de l'ICAEN. En aquest cas, però, s'han corregit els valors limitant-los a l'horari d'oficina, ja que la màxima demanda de calefacció es dóna en horari nocturn, en què l'edifici està tancat.

DEMANDA CALORÍFICA														
Mes	*Unitats*	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Septembre	Octubre	Novembre	Dicembre	**Anual**
Dies treball		20	20	15	20	20	20	15	15	20	20	20	15	220
Hores treball		180	180	135	180	180	180	135	135	180	180	180	135	1.980
Calefacció activada?	si/no	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	
HDD (BASE 18/18)		246	195	154	117	40	0	0	0	0	46	125	205	1.128
HDD (BASE 18/18) en horari oficina		129	102	80	50	4	0	0	0	0	8	60	115	547
Demanda calorífica														
Tancaments ext.	kWht	53.825	42.430	33.600	20.930	1.726	0	0	0	0	3.236	24.896	47.947	228.590
Infiltracions	kWht	2.237	1.773	1.400	1.064	364	0	0	0	0	418	1.136	1.864	10.255
Ventilació	kWht	25.744	20.407	16.116	12.244	4.186	0	0	0	0	4.814	13.081	21.453	118.045
Càrregues internes	kWht	-49.676	-49.676	-37.257	-49.676	-49.676	-49.676	-37.257	-37.257	-49.676	-49.676	-49.676	-37.257	-546.432
TOTAL sense càrregues internes	**kWht**	81.806	64.609	51.117	34.237	6.276	0	0	0	0	8.468	39.114	71.264	**356.890**
TOTAL amb càrregues internes	**kWht**	32.130	14.934	13.860	**-15.438**	-43.400	-49.676	-37.257	-37.257	-49.676	**-41.208**	**-10.562**	34.007	-189.542

Potència calorif. Mitjana	kWt_{jt}	454	359	379	190	35	0	0	0	0	47	217	528	180



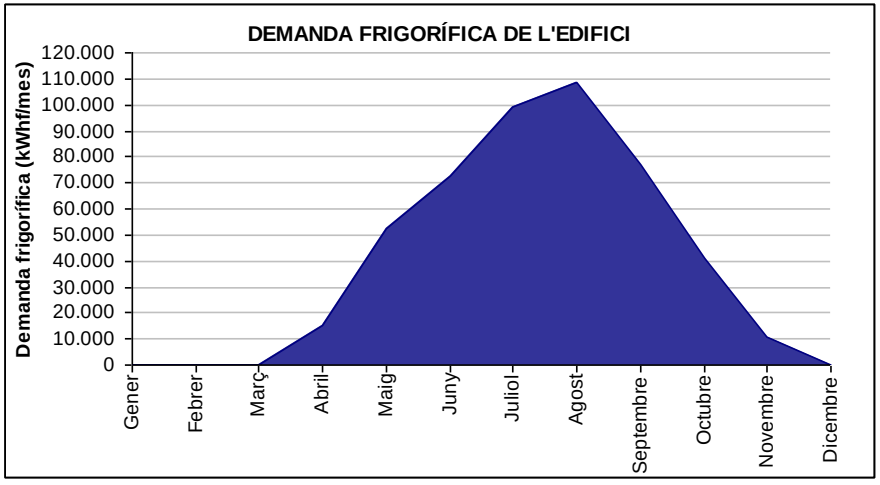
En el "TOTAL amb càrregues internes" s'ha marcat amb color verd els valors on la calor de generació interna és superior a la demanda de calefacció i, per tant, la diferència serà el valor de demanda de fred a afegir a la taula de demanda frigorífica. Els valors dels mesos de maig a setembre no s'han marcat perquè aquestes càrregues internes ja s'han considerat a la taula de demanda frigorífica.

Demanda de refrigeració

En aquest cas la temperatura de confort a l'estiu són 24ºC. Cal comentar que la mesura de graus-dia s'ha pres amb base 21-21 directament de la base de dades de l'ICAEN. El fet de ser una base baixa (3ºC menys que si fos 24) proporciona uns valors de CDD superiors i, per tant, es podrien considerar implícits els guanys per radiació.

DEMANDA FRIGORÍFICA														
Mes	*Unitats*	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Septembre	Octubre	Novembre	Dicembre	**Anual**
Dies treball		20	20	15	20	20	20	15	15	20	20	20	15	220
Hores treball		180	180	135	180	180	180	135	135	180	180	180	135	1.980
Refrigeració activada?	si/no	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	
CDD (BASE 21/21)		0	0	0	0	5	44	118	135	52	0	0	0	354
Demanda frigorífica														
Tancaments ext.	kWhf	0	0	0	0	2.088	18.372	49.271	56.369	21.712	0	0	0	147.812
Infiltracions	kWhf	0	0	0	0	25	222	595	681	262	0	0	0	1.786
Ventilació	kWhf	0	0	0	0	523	4.605	12.349	14.128	5.442	0	0	0	37.046
Càrregues internes	kWhf	0	0	0	0	49.676	49.676	37.257	37.257	49.676	0	0	0	223.540
TOTAL	**kWhf**	0	0	0	**15.438**	52.312	72.874	99.471	108.434	77.092	**41.208**	**10.562**	0	**477.392**

Potència frig. Mitjana	kWf	0	0	0	86	291	405	737	803	428	229	59	0	241

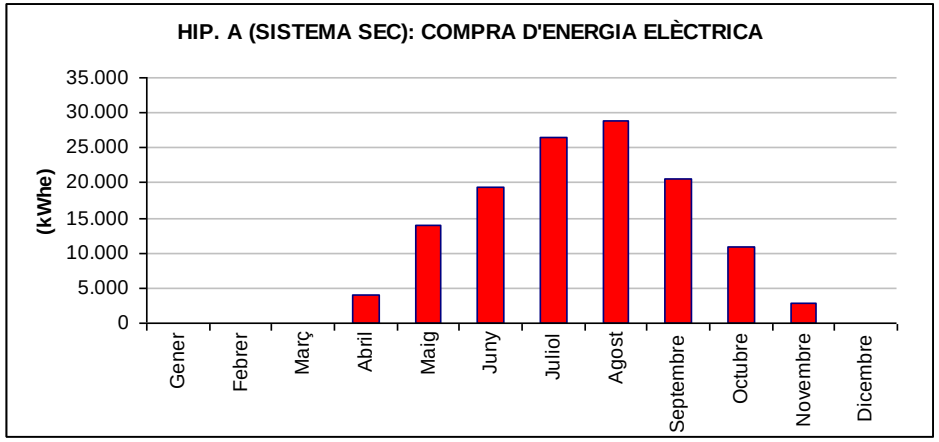


El consum de refrigeració es reparteix als mesos estivals i d'entretemps, que van des de l'abril fins al novembre, i té una demanda màxima al juliol i agost, en tant que són els mesos més calorosos. S'ha marcat en verd els valors de demanda frigorífica resultants de la generació interna en els mesos d'abril, octubre i novembre.

4.4 // HIPÒTESI A (SISTEMA SEC): BALANÇ ENERGÈTIC I D'EMISSIONS

HIP. A:	DADES SISTEMA SEC	
Descripcio sistema	Refredadora condensada per aire	
Potència frigorífica	924	kWf
Potència elèctrica abs. (ponderada)	246	kWe
ESEER (Rendiment Ponderat)	**3,8**	**kWf/kWe**
Rati consum d'aigua	0,0	litres / h i kWht

COMPRA D'ENERGIA														
Mes	*Unitats*	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Septembre	Octubre	Novembre	Dicembre	**Anual**
Demanda frigorífica	(kWhf)	0	0	0	15.438	52.312	72.874	99.471	108.434	77.092	41.208	10.562	0	477.392
Demanda electricitat	**(kWhe)**	**0**	**0**	**0**	**4.106**	**13.913**	**19.381**	**26.455**	**28.839**	**20.503**	**10.959**	**2.809**	**0**	**126.966**
Emisions	($kgCO_2$)	0	0	0	1.690	5.725	7.975	10.886	11.867	8.437	4.510	1.156	0	52.246
Potència electrica. Mitjana	kWe	0	0	0	23	77	108	196	214	114	61	16	0	64
Rati d'utilització	%	0%	0%	0%	9%	31%	44%	80%	87%	46%	25%	6%	0%	26%
Calor dissipat condensador (aprox.)	(kWht)	0	0	0	19.544	66.225	92.256	125.926	137.273	97.595	52.167	13.371	0	604.358
Consum d'aigua	**m^3**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**

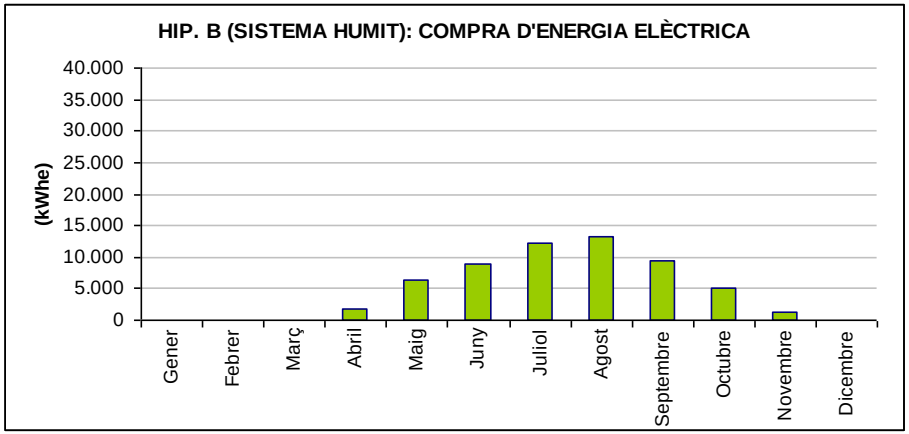


4.5 // HIPÒTESI B (SISTEMA HUMIT): BALANÇ ENERGÈTIC I D'EMISSIONS

HIP. B:	DADES SISTEMA HUMIT	
Descripcio sistema	Refredadora condensada per aigua amb Torre de Refrigeració	
Potència frigorífica	924	kWf
Potència elèctrica abs.	114	kWe
ESEER (Rendiment Ponderat)	**8,1**	**kWf/kWe**
Rati consum d'aigua	2,5	litres / h i kWht

COMPRA D'ENERGIA														
Mes	*Unitats*	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Septembre	Octubre	Novembre	Dicembre	**Anual**
Demanda frigorífica	(kWhf)	0	0	0	15.438	52.312	72.874	99.471	108.434	77.092	41.208	10.562	0	477.392
Demanda electricitat	**(kWhe)**	0	0	0	1.896	6.426	8.952	12.219	13.320	9.470	5.062	1.297	0	**58.644**
Emisions	($kgCO_2$)	0	0	0	780	2.644	3.684	5.028	5.481	3.897	2.083	534	0	24.132
Potència electrica. Mitjana	kWe	0	0	0	11	36	50	91	99	53	28	7	0	30
Rati d'utilització	%	0%	0%	0%	9%	31%	44%	80%	87%	46%	25%	6%	0%	26%
Calor dissipat condensador (aprox.)	(kWht)	0	0	0	17.335	58.738	81.826	111.691	121.755	86.562	46.270	11.859	0	536.035
Consum d'aigua	**m^3**	**0**	**0**	**0**	**43**	**145**	**202**	**276**	**301**	**214**	**114**	**29**	**0**	**1.324**

ESTALVI ENERGÈTIC I D'EMISIONS (SEC --> HUMIT)														
Mes	*Unitats*	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Septembre	Octubre	Novembre	Dicembre	**Anual**
Estalvi energètic	**(kWhe)**	0	0	0	2.209	7.487	10.429	14.236	15.519	11.033	5.897	1.512	0	**68.322**
Estalvi energètic	**%**													**54%**
Estalvi d'emisions	**($kgCO_2$)**	0	0	0	909	3.081	4.292	5.858	6.386	4.540	2.427	622	0	**28.115**

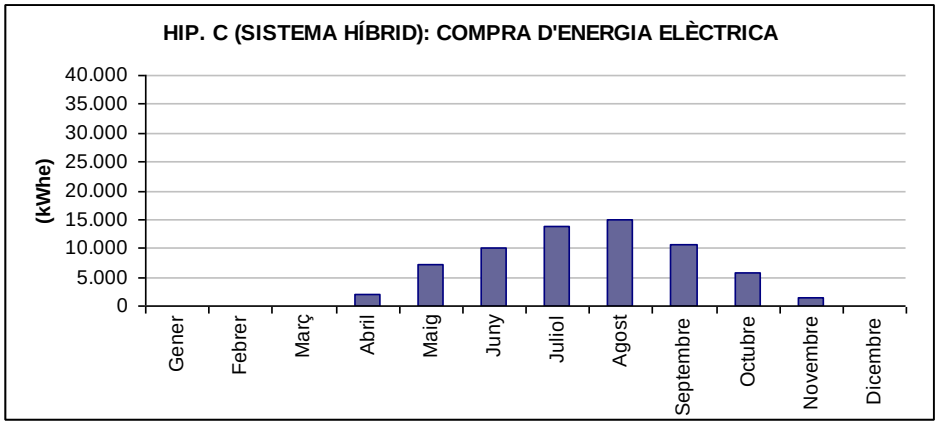

HIP. B (SISTEMA HUMIT): COMPRA D'ENERGIA ELÈCTRICA
(kWhe)
40.000
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
Gener
Febrer
Març
Abril
Maig
Juny
Juliol
Agost
Septembre
Octubre
Novembre
Dicembre

4.6 // HIPÒTESI C (SISTEMA HÍBRID): BALANÇ ENERGÈTIC I D'EMISSIONS

HIP. C:	DADES SISTEMA HÍBRID	
Descripcio sistema	Refredadora condensada per aigua amb aerorefredador adiabàtic	
Potència frigorífica	924	kWf
Potència elèctrica abs.	128	kWe
ESEER (Rendiment Ponderat)	**7,2**	**kWf/kWe**
Rati consum d'aigua	1,8	litres / h i kWht

COMPRA D'ENERGIA														
Mes	*Unitats*	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Septembre	Octubre	Novembre	Dicembre	**Anual**
Demanda frigorífica	(kWhf/mes)	0	0	0	15.438	52.312	72.874	99.471	108.434	77.092	41.208	10.562	0	477.392
Demanda electricitat	**(kWhe/mes)**	0	0	0	2.138	7.245	10.093	13.777	15.018	10.677	5.707	1.463	0	**66.118**
Emisions	($kgCO_2$)	0	0	0	880	2.981	4.153	5.669	6.180	4.394	2.349	602	0	27.208
Potència electrica. Mitjana	kWe	0	0	0	12	40	56	102	111	59	32	8	0	33
Rati d'utilització	%	0%	0%	0%	9%	31%	44%	80%	87%	46%	25%	6%	0%	26%
Calor dissipat condensador (aprox.)	(kWht)	0	0	0	17.577	59.557	82.967	113.248	123.452	87.769	46.915	12.025	0	543.510
Consum d'aigua	**m^3**	**0**	**0**	**0**	**32**	**107**	**149**	**204**	**222**	**158**	**84**	**22**	**0**	**978**

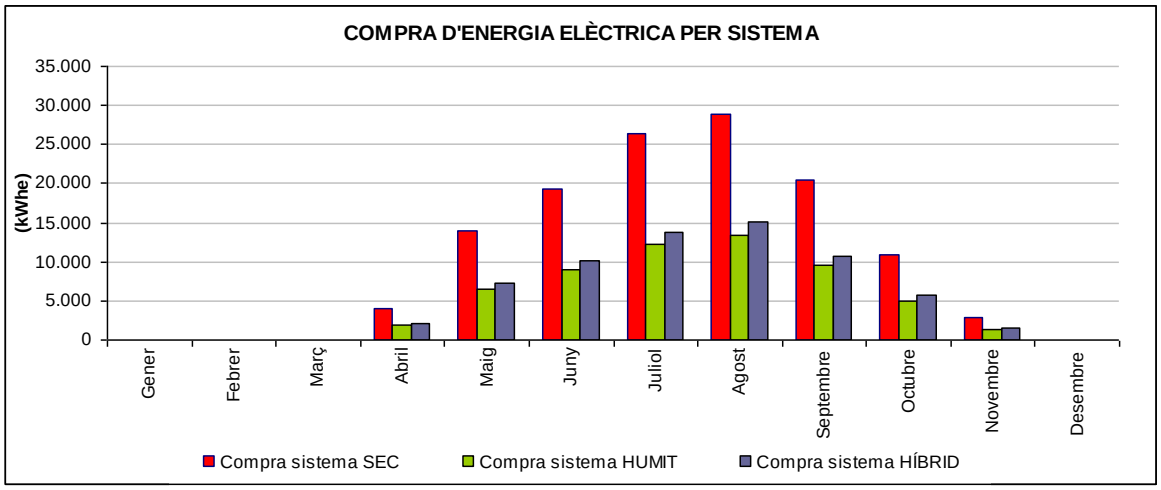
ESTALVI ENERGÈTIC I D'EMISIONS (SEC --> HÍBRID)														
Mes	*Unitats*	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Septembre	Octubre	Novembre	Dicembre	**Anual**
Estalvi energètic	**(kWhe)**	0	0	0	1.968	6.668	9.289	12.679	13.821	9.826	5.252	1.346	0	**60.848**
Estalvi energètic	**%**													**48%**
Estalvi d'emisions	**($kgCO_2$)**	0	0	0	810	2.744	3.822	5.217	5.687	4.043	2.161	554	0	**25.039**


HIP. C (SISTEMA HÍBRID): COMPRA D'ENERGIA ELÈCTRICA
(kWhe)
40.000
35.000
30.000
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
Gener
Febrer
Març
Abril
Maig
Juny
Juliol
Agost
Septembre
Octubre
Novembre
Dicembre

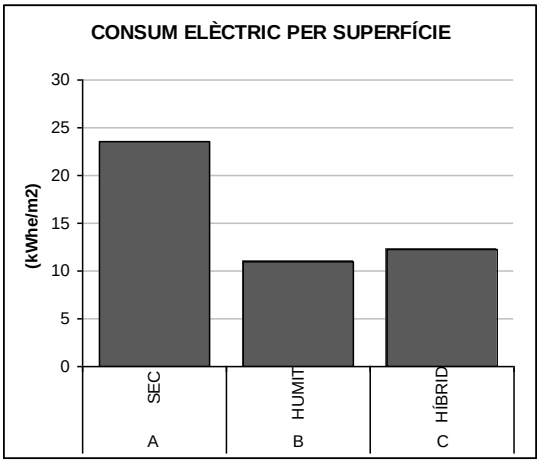
4.7 // RESULTATS DELS BALANÇOS ENERGÈTICS

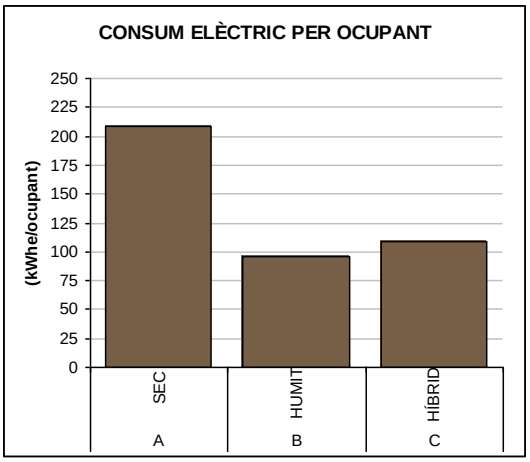
La taula següent recull els resultats de l'estalvi energètic que s'obté en els casos estudiats, així com l'increment de consum d'aigua que comporta la implantació de cada sistema i l'estalvi d'emissions de CO_2. Per als tres conceptes s'han calculat les ràtios per superfície climatitzada i per ocupants de l'edifici estudiat.

INTAI·LACIÓ DE REFRIGERACIÓ PER A CLIMATITZACIÓ				
RESULTATS				
Hipòtesis Sistema		**A** **SEC**	**B** **HUMIT**	**C** **HÍBRID**
Descripció		Refredadora **condensada per aire**	Refredadora condensada per aigua amb **Torre de Refrigeració**	Refredadora condensada per aigua amb **aerorefredador adiabàtic**
Potència refrigeració	kWf	924	924	924
Potència elèctrica abs. Ponderada	kWe	246	114	128
Rendiment global instal·lació	kWf/kWe	3,8	8,1	7,2
Superfície ocupada	m^2	21	16	21
Consum frigorífic	kWhf/any	477.392	477.392	477.392
Consum elèctric	kWhe/any	126.966	58.644	66.118
Consum d'aigua	m^3/any	0	1.324	978
Emisions CO_2	tonCO_2/any	52,2	24,1	27,2
Estalvi energètic	kWhe/any	**0**	**68.322**	**60.848**
Estalvi d'aigua	m^3/any	**0**	**-1.324**	**-978**
Estalvi emissions	tonCO_2/any	**0**	**28,1**	**25,0**
RATIS				
Superfície climatitzada	m^2	5.384	5.384	5.384
Comsum elèctric per superfície	kWhe/m^2	**23,6**	**10,9**	**12,3**
Comsum d'aigua per superfície	m^3/m^2	0,00	0,25	0,18
Emissions CO_2 per superfície	kgCO_2/m^2	9,7	4,5	5,1
Ocupació aproximada	Ocupants	611	611	611
Comsum elèctric per ocupant	kWhe/ocup	**207,9**	**96,0**	**108,3**
Comsum d'aigua per ocupant	m^3/ocup	0,00	2,17	1,60
Emissions CO_2 per ocupant	kgCO_2/ocup	85,6	39,5	44,6



Amb els gràfics de ràtios energètiques corresponents:





D'aquest apartat, podem concloure el següent:

- L'opció energèticament menys eficient és la hipòtesi A *sistema sec – aerocondensador*.
- L'opció energèticament més eficient és la hipòtesi B *sistema humit – torre de refrigeració*, perquè és la que implica més estalvi en compra d'energia al titular de la instal·lació (reducció del 54% aproximadament), així com una reducció en l'impacte ambiental de la instal·lació, estalviant 28,1 tn CO_2/any.
- La hipòtesi C *sistema híbrid – aerorefredador adiabàtic* resulta ser l'opció intermèdia, generant un estalvi energètic anual d'un 48%, així com una reducció d'emissions respecte l'opció A de 25,0 tn CO_2/any.

4.8 // BALANÇ ECONÒMIC

Després de l'avaluació energètica, es fa el balanç econòmic de les tres hipòtesis tant en el moment de la implantació com al llarg de la seva explotació. Per tal d'entendre els costos que entren en joc en un projecte de refredament, a continuació s'enumeren els conceptes de despeses que s'hi generen:

Despeses puntuals:

- Inversió: esforç econòmic inicial per a comprar, instal·lar i posar en marxa els equips.

Despeses periòdiques (o d'explotació):

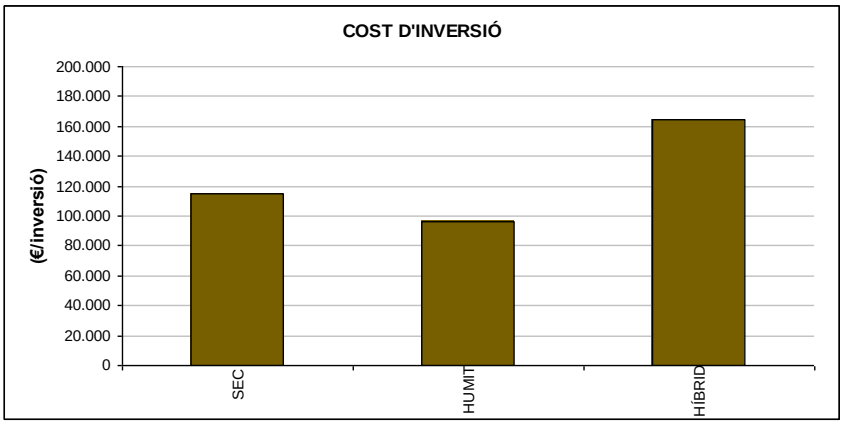
- De compra d'energia i aigua: es refereix a la necessitat de compra de l'energia elèctrica necessària per a fer funcionar l'equip segons les demandes previstes, i també a la compra de l'aigua que consumeix l'equip, si escau.
- D'exigències mecàniques: fa referència al manteniment preventiu i correctiu, encaminat a garantir el correcte funcionament dels components de la instal·lació. Es poden aproximar emprant els valors aproximats següents:

- D'exigències de la normativa: consisteix en les tasques que s'han de portar a terme amb objecte de minimitzar el risc biològic, que es troben imposades per la normativa estatal i/o comunitària.

1// COST D'INVERSIÓ

A continuació s'exposen els valors d'inversió necessaris per a la implantació dels tres sistemes, tant de la planta refredadora necessària com del sistema de dissipació de calor en els casos en què es tracta d'un equip independent.

INVERSIÓ SISTEMA DE PRODUCCIÓ DE FRED - CLIMATITZACIÓ EDIFICI				
Planta refredadora				
Hipòtesis		**A**	**B**	**C**
Tipus		Condendasa per aire	Condensada per aigua	Condensada per aigua
Potència refrigeració	kWf	924	924	924
Potència elèctrica abs.	kWe	353	182	182
EER	kWf/kWe	2,6	5,1	5,1
Cost aproximat	€	115.155	82.808	82.808
Sistema de refredament del condensador de la planta				
Sistema		**SEC**	**HUMIT**	**HÍBRID**
Equip		Condensador per aire inclòs en l'equip	Torre de refrigeració addicional	Aerorefredador adiabàtic
Unitats		-	1	2
Potència refrigeració	kWt	-	1.106	1.106
Cost aproximat	€	-	13.770	82.080
DADES TOTALS DE LA INSTAL·LACIÓ				
Cost total aproximat	**€**	**115.155**	**96.578**	**164.888**
	%	100%	84%	143%



Nota: els preus han estat facilitats pels fabricants dels equips, amb models reals escollits segons les necessitats de l'edifici.

Com es pot observar, el sistema que requereix menys inversió inicial és el sistema humit.

2// COST D'ENERGIA I AIGUA

Tal com ha resultat del balanç energètic, es deriva un estalvi econòmic com a conseqüència de la disminució en la quantitat d'energia elèctrica que s'ha de comprar anualment, al qual se li ha de restar el sobrecost corresponent a la compra d'aigua. A fi de poder donar una estimació de l'estalvi econòmic, s'ha considerat el preu mitjà elèctric de l'any 2008 en edificis tipus similars al d'aquest estudi.

Preu mig electricitat 2008 (sense IVA)			
Tensió	V	400	400
Mercat		tarifa	tarifa
Any		promig 2008	promig 2008
Tarifa		3.0.2	3.0.2
Tipus DH (períodes)		2	2
Pot. Contractada	kW	554	500
Rati anual cost electricitat (Sense IVA)	€/kWhe	0,1183	0,1204

	Preu mig electricitat (sense IVA)
2008	**0,1194 €/kWhe**
2010 (+15%)	**0,1373 €/kWhe**

Nota: per tal de considerar la situació l'any 2010, s'ha incrementat el preu mitjà obtingut en un 15%.

D'altra banda, amb l'objecte de considerar el sobrecost que comporta el consum d'aigua dels sistemes humits i híbrids, s'ha considerat el preu mitjà del metre cúbic d'aigua de l'any 2008 per a edificis similars.

	Preu mig aigua (sense IVA)
2008	2,75 €/m^3
2010 (+5%)	**2,89 €/m^3**

Nota: Per tal de considerar la situació l'any 2010, s'ha incrementat el preu mitjà obtingut en un 5%.

La taula següent recull l'estalvi econòmic en cada cas:

INTAI·LACIÓ DE REFRIGERACIÓ PER A CLIMATITZACIÓ				
RESULTATS				
Hipòtesis Sistema		**A** **SEC**	**B** **HUMIT**	**C** **HÍBRID**
Descripció		Refredadora **condensada per aire**	Refredadora condensada per aigua amb **Torre de Refrigeració**	Refredadora condensada per aigua amb **aerorefredador adiabàtic**
Potència refrigeració	kWf	924	924	924
Potència elèctrica abs. Ponderada	kWe	246	114	128
Rendiment global instal·lació	kWf/kWe	3,8	8,1	7,2
Superfície ocupada	m^2	21	16	21
Consum frigorífic	kWhf/any	477.392	477.392	477.392
Consum elèctric	kWhe/any	126.966	58.644	66.118
Consum d'aigua	m^3/any	0	1.324	978
Emisions CO_2	tonCO_2/any	52,2	24,1	27,2
Estalvi energètic	kWhe/any	**0**	**68.322**	**60.848**
Estalvi d'aigua	m^3/any	**0**	**-1.324**	**-978**
Estalvi emissions	tonCO_2/any	**0**	**28,1**	**25,0**
Estalvi econòmic…				
en compra d'energia		0	9.379	8.353
en compra d'aigua		0	-3.823	-2.825
TOTAL estalvi econòmic	€/any	**0**	**5.556**	**5.528**

En la hipòtesi A (sistema sec), per tractar-se del sistema de referència, en la comparació no s'enregistra cap estalvi econòmic. En canvi, es determina que el major estalvi econòmic correspon a la hipòtesi B (torre de refrigeració), amb una quantia anual de 5.556 €.
A aquest estalvi, resultat del balanç energètic i d'aigua, se li haurà de restar les despeses de manteniment corresponents, com s'estudia a l'apartat següent.

3// Cost d'operació i manteniment

Els costos d'explotació derivats de les exigències mecàniques es poden aproximar amb els valors següents:

COST ANUAL DEL MANTENIMENT PREVENTIU I CORRECTIU						
Tecnologia	Equips amb més necessitat de manteniment					% sobre inversió
	Nombre de ventiladors	Nombre de compressors	Panell humit	Gran superfície d'intercanvi	Controlador "sec/humit"	
Hip A. Sistema sec	20	4	No	Si	No	**4 %**
Hip B. Sistema humit	1	4	No	No	No	**3 %**
Hip C. Sistema híbrid	8	4	Si	Si	Si	**5 %**

Nota: per a sistemes de climatització es considera el 4% com a ràtio estàndard per aproximar les despeses de manteniment correctiu i preventiu d'un equip, valor de partida que s'ha emprat en el cas del sistema sec. El valor per als sistemes híbrids s'ha incrementat ja que, segons la taula anterior, a banda de l'elevat nombre de motors (12), s'hi afegeix el manteniment del panell humit i dels equips que comanden l'equip per tal que treballi en règim sec o en règim humit. D'altra banda, la taula indica que la torre té menys manteniment mecànic (no normatiu, considerat apart més endavant) que el sistema sec, motiu pel qual el valor s'ha disminuït en un punt. Ara bé, aquests valors són orientatius i poden variar en cada cas particular. En el moment de portar a terme l'estudi exhaustiu, es recomana demanar aquests valors al fabricant de cada equip.

Paral·lelament, els costos unitaris d'explotació derivats de les exigències de la normativa de prevenció de legionel·la (només aplicables als sistemes humits) es recullen a la taula següent:

COST UNTARI DE LES EXIGÈNCIES DE LA NORMATIVA (només sistemes humits)				
Raó	**Tipus d'acció**	**Preu unitari (€/execució)**	**Execucions anuals**	**Observacions**
Exigències Normativa	Paràmetres micriobiològics aigua: Tº, PH, conductivitat, terbolesa, ferro total Aerobis totals en la bassa	85,0	8	
	Recompte de *Legionella sp*	117,5	4	Inclou també els paràmetres microbiològics de l'aigua anteriors
	Revisió oficial	200,0	1	
	Neteja i desinfecció	1750,0	2	
	Formació obligatòria	350,0	Preu del curs cada 5 anys per persona	

De manera que, en el cas que ens afecta, els costos d'explotació totals anuals quedaran com es presenten a les taules següents per a les tres hipòtesis de comparació.

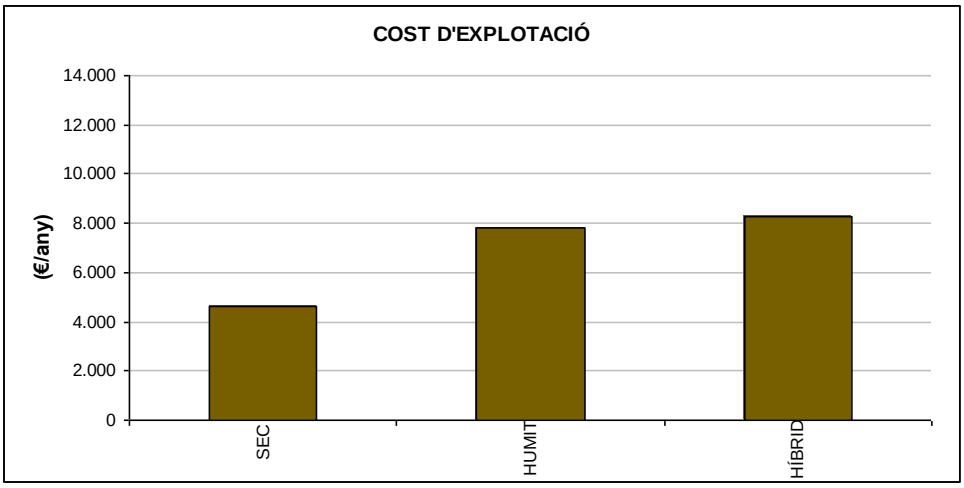
HIPÒTESIS "A": AEROCONDENSADOR							
DESPESES PUNTUALS							
							Cost (€)
Inversió							**115.155**
DESPESES PERIÒDIQUES							
Raó	**Tipus d'acció**	**Diari**	**Mensual**	**Trimestral**	**Semestral**	**Anual**	**Preu anual (€/any)**
Exigències Mecàniques	4% inversió						4.606
						TOTAL ANUAL	**4.606**

HIPÒTESIS "B": TORRE DE REFRIGERACIÓ							
DESPESES PUNTUALS							
							Cost (€)
Inversió							96.578
DESPESES PERIÒDIQUES							
Raó	Tipus d'acció	Diari	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Preu anual (€/any)
Exigències Mecàniques	3% inversió						2.897
Exigències Normativa	Paràmetres microbiològics aigua:						
	Tº, PH, conductivitat, terbolesa, ferro total		X				
	Aerobis totals en la bassa		X				680
	Recompte de *Legionella sp*			X			470
	Revisió oficial					X	200
	Neteja i desinfecció				X		3.500
	Formació obligatòria	X (Prorateig del cost del curs cada 5 anys: 350€)					70
						TOTAL ANUAL	7.817

HIPÒTESIS "C": AEROREFREDADOR ADIABÀTIC							
DESPESES PUNTUALS							
							Cost (€)
Inversió							164.888
DESPESES PERIÒDIQUES							
Raó	Tipus d'acció	Diari	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Preu anual (€/any)
Exigències Mecàniques	5% inversió						8.244
						TOTAL ANUAL	8.244

Com a resultat de les justificacions anteriors, la taula següent resumeix els costos d'explotació per a cada sistema comparat:

COST D'EXPLOTACIÓ DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓ DE FRED - EDIFICI CLIMATITZAT				
Sistema		**SEC**	**HUMIT**	**HIBRID**
Equip		Condensador per aire inclòs en l'equip	Torre de refrigeració addicional	Aerorefredador adiabàtic
Cost manteniment	€/any	4.606	7.817	8.244
Cost mant. relatiu		**0**	**3.211**	**3.638**



En aquest cas, es determina que els costos d'operació i manteniment de la torre de refrigeració són més elevats que en el sistema sec, especialment degut a les exigències que estableix la normativa de prevenció de legionel·la, tal com queda desglossat a la pàgina anterior. La complexitat i l'elevat nombre de peces mecàniques és el que encareix el manteniment del sistema híbrid.

Ara bé, l'estalvi anual per compra d'energia (menys el sobrecost d'aigua), en el cas de la torre de refrigeració arriba aproximadament als 5.500 € en consumir menys electricitat, un fet que implica que anualment el balanç d'entrades i sortides entre explotació i beneficis sigui el següent:

BALANÇ ECONÒMIC ANUAL - EDIFICI CLIMATITZAT				
Sistema		**SEC**	**HUMIT**	**HÍBRID**
Equip		Condensador per aire inclòs en l'equip	Torre de refrigeració addicional	Aerorefredador adiabàtic
Estalvi relatiu d'explotació (Mant.)	€/any	0	-3.211	-3.638
Estalvi econòmic…				
en compra d'energia	€/any	0	9.379	8.353
en compra d'aigua	€/any	0	-3.823	-2.825
Estalvi econòmic anual	€/any	**0**	**2.345**	**1.890**

Es conclou que, en aquest cas, tot i el sobrecost derivat de la compra d'aigua i les despeses per complir la normativa de prevenció de legionel·la, **el sistema amb torre de refrigeració registra un estalvi anual de 2.345 €,** en tant que l'estalvi energètic assolit és més de la meitat i esdevé molt important.

4.9 // RENDIBILITAT D'UN SISTEMA DE CLIMATITZACIÓ AMB TORRE DE REFRIGERACIÓ

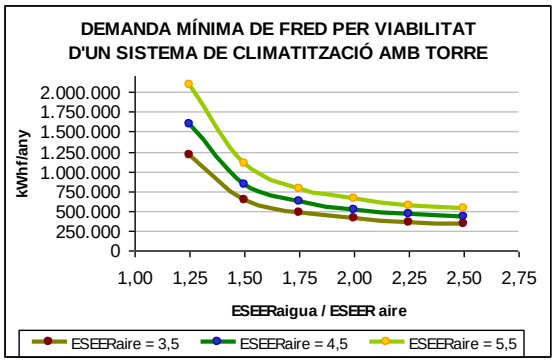
En l'estudi realitzat s'ha determinat que, per a l'edifici objecte escollit, s'assoleix un estalvi econòmic important, amb la implantació d'un sistema de climatització amb torre de refrigeració. Per als casos de climatització, l'estalvi energètic radica en que un sistema humit com la torre de refrigeració (o bé híbrid) permet substituir la convencional planta refredadora condensada per aire de l'edifici, per una planta refredadora condensada per aigua que, en la majoria dels casos, presenten un rendiment energètic més elevat. Com més s'incrementi el rendiment de producció de fred, menys consum frigorífic anual serà necessari perquè el sistema amb torre surti a compte. També es dedueix, per tant, que no en tots els casos el sistema de climatització amb torre de refrigeració serà el més rendible, doncs dependrà dels dos factors següents:

- Increment previst en el rendiment del sistema de producció de fred.
- Consum frigorífic anual de l'edifici considerat.

Per tal de poder aproximar si pot resultar més rendible la implantació d'un sistema de climatització amb torre de refrigeració, prèviament a la realització d'un estudi de detall del mateix, s'ha elaborat la taula següent, on s'indica quina és la demanda frigorífica mínima que ha de tenir l'edifici per tal que el sistema humit sigui més rendible. Aquests valors dependran, tal i com s'ha explicat, del rendiment del sistema de producció de fred condensat per aire amb què es vol comparar i de l'increment previst amb la implantació del sistema condensat per aigua ($ESEER_{H2O}/ESEER_{AIRE}$).

La taula següent permet que el titular de la instal·lació o el projectista, s'ajudi d'aquesta eina per a esbrinar en quins casos és molt recomanable realitzar un estudi de viabilitat del sistema de climatització amb torre de refrigeració.

DEMANDA MÍNIMA DE FRED PER OBTENIR RENDIBILITAT D'UN SISTEMA DE CLIMATITZACIÓ AMB TORRE DE REFRIGERACIÓ, EN FUNCIÓ DEL RENDIMENT DEL EQUIPS DE PRODUCCIÓ DE FRED (kWhf/any)				
$ESEER_{H2O}$ / $ESEER_{AIRE}$	$ESEER_{AIRE}$ (AEROCONDENSADOR)			OBSERVACIONS
	3,5	4,5	5,5	
1,00	∞	∞	∞	El sistema amb torre no surt mai a compte.
1,25	1.200.000	1.600.000	2.100.000	Valors anuals de demanda de fred a partir dels quals el balanç d'explotació d'un sistema de climatització amb torre de refrigeració registra estalvi econòmic positiu. *(per a punts intermitjos fer interpol·lació lineal)*
1,50	640.000	840.000	1.100.000	
1,75	480.000	620.000	780.000	
2,00	400.000	520.000	650.000	
2,25	360.000	460.000	570.000	
2,50	330.000	420.000	530.000	



A mode d'exemple, en l'edifici objecte del present estudi, que parteix de les dades següents:

$ESEER_{H2O}$ = 9,0[3]
$ESEER_{AIRE}$ = 3,8
$ESEER_{H2O}$ / $ESEER_{AIRE}$ = 2,38

Realitzant les interpolacions corresponents amb les dades de la taula anterior, obtenim un resultat de demanda mínima de **387.000 kWhf/any**, la qual cosa indica que si a l'edifici de l'estudi la demanda fos inferior a aquest valor, probablement el sistema amb torre no sortiria rendible. Actualment, el valor de demanda frigorífica és de **477.000 kWhf/any**, motiu pel qual s'obté un benefici com a resultat de l'elevat estalvi energètic obtingut, així com una reducció de les emissions atmosfèriques.

4.10 // REPERCUSSIÓ ENERGÈTICA DE LA LEGISLACIÓ

Tal com s'ha constatat a l'apartat d'estudi d'evolució del cens de la Generalitat de Catalunya, es detecta una disminució del parc global de sistemes humits (torres de refrigeració i condensadors evaporatius) instal·lats a Catalunya. Esdevé important, aleshores, avaluar la repercussió energètica i mediambiental que ha desencadenat aquest fet.
A continuació es parteix de la hipòtesi de substituir les torres implantades a Catalunya al sector terciari, per aerorefrigerants.

Amb aquesta hipòtesi, es pot preveure l'increment de consum energètic en l'àmbit català i una repercussió ambiental important, recollits a continuació per als nombres de substitucions següents:

1. Escenari 1: 50 torres
2. Escenari 2: 100 torres
3. Escenari 3: 1.000 torres
4. Escenari 4: 5.000 torres

És necessari recordar que la cobertura actual del cens de la Generalitat no és del 100% i, per tant, no és esbojarrat pensar que el nombre de substitucions al llarg d'aquest any ha superat amb diferència el nombre real d'instal·lacions que hi havia abans de l'entrada en vigor de la normativa actual.

PROBLEMÀTICA ACTUAL DETECTADA --> SUBSTITUCIÓ DE SISTEMES HUMITS PER SISTEMES SECS						
IMPACTE AMBIENTAL RESULTANT PER A CATALUNYA						
Nº de substitucions	nº	1	50	100	1.000	5.000
Increment de consum energètic	kWhe/any	68.322	3.416.119	6.832.239	68.322.388	341.611.939
	MWhe/any	**68**	**3.416**	**6.832**	**68.322**	**341.612**
Increment d'emissions	tonCO_2/any	**28**	**1.406**	**2.811**	**28.115**	**140.573**

Es conclou que l'impacte energètic i mediambiental de la substitució de torres de refrigeració per sistemes secs de dissipació de calor és molt important. A més, cal considerar que hi ha

[3] **Nota:** aquest $ESEER_{H2O}$ = 9 és el rendiment estacional de la planta refredadora d'aigua, donat pel fabricant (vegeu l'apartat *planta refredadora* de la taula de la pàgina 6 d'aquest capítol). No s'ha de confondre amb el valor de rendiment estacional del global de la instal·lació $ESEER_{GLOBAL}$ = 8,1 , on també s'hi ha afegit el consum de l'equip de refredament i el seu sistema de bombament (vegeu l'apartat *dades totals de la instal·lació* a la taula de la pàgina 6).

sistemes de dissipació de calor de molta més potència que la instal·lació per climatització "tipus" considerada i que també s'estan substituint per sistemes secs.

4.11 // CONCLUSIONS

D'aquest apartat, es conclou que:

- Per al cas estudiat, l'opció energèticament menys eficient és la hipòtesi A *Sistema sec – aerocondensador incorporat a la planta*.

- Per al cas estudiat, l'opció energèticament més eficient és la hipòtesi B *Sistema humit – torre de refrigeració*, perquè és la que implica un estalvi més gran en compra d'energia al titular de la instal·lació (reducció del 54% aproximadament), així com una reducció en l' impacte ambiental de la instal·lació, estalviant 28,1 tn CO_2/any.

- El sistema que requereix menys inversió inicial és la hipòtesi B *Sistema humit – torre de refrigeració*, amb aproximadament un 26% menys d'inversió. El sistema més car, correspon a la hipòtesi C.

- Per al cas estudiat, s'assoleix un estalvi econòmic d'aproximadament 2.345 €/any amb la substitució per un sistema de refrigeració condensat per aigua (amb torre de refrigeració). A més, per a situacions de consums frigorífic més grans que els considerats, els costos fixos de manteniment (com mostrejos, desinfeccions...) no s'incrementen, i sí que ho fan els estalvis. Per tant, quan més consum energètic hi hagi, més rendible surt l'alternativa amb torre.

- Especialment a les instal·lacions de mitjana o gran potència frigorífica, la instal·lació d'un sistema de climatització amb torre de refrigeració contribueix a l'estalvi energètic, econòmic i d'emissions. La taula de l'apartat *1.9-Rendibilitat d'un sistema de climatització amb torre de refrigeració* permet determinar per a cada cas concret quin és el consum frigorífic mínim a partir del qual s'assoleixen els estalvis esmentats amb un sistema amb torre.

- La substitució massiva de sistemes humits per sistemes secs a Catalunya comporta un increment en el consum energètic força important i, paral·lelament, un increment de la repercussió mediambiental d'aquestes instal·lacions.

ANNEX 1. AVALUACIÓ DEL MANTENIMENT

INTRODUCCIÓ

El manteniment és un factor molt important a tenir en compte en la selecció d'una tecnologia, doncs la seva bona aplicació condiciona en gran mesura el nivell d'optimització de la instal·lació al llarg de tota l'explotació. L'entitat de manteniment agafa pes en tant que la seva correcció permet estalviar energia, aigua, reactius, així com disminuir el soroll dels components mecànics i el risc de contaminació biològica.

Les tasques de manteniment necessàries per a garantir el correcte funcionament dels equips varia segons el tipus de tecnologia escollida, en tant que la classe d'elements que composen la instal·lació no són els mateixos, tal com s'ha exposat a l'apartat de descripció tècnica. En aquest cas, el factor mediambiental més important que condiciona fortament el nivell de manteniment amb què s'ha de portar una instal·lació és el risc de contaminació biològica.

A continuació es fa una breu descripció de les necessitats de manteniment que implica cadascuna de les tecnologies de l'estudi, juntament amb una taula de periodicitats elaborada en cada cas a fi de comparar-les entre elles.

TORRES DE REFRIGERACIÓ I CONDENSADORS EVAPORATIUS

Els requisits de manteniment d'una instal·lació amb torre de refrigeració en la fase de vida útil es pot dividir en les tres categories següents:

1// Revisions periòdiques:

a) **Revisió dels components de la instal·lació:** avalua les condicions estructurals, de conservació i neteja, amb la finalitat de detectar la presència de sediments, incrustacions, productes de la corrosió, llots, algues i qualsevol altra circumstància que pugui alterar el bon funcionament de la instal·lació.

PERIODICITAT DE LES REVISIONS SEGONS EL RE 865/2003		
Elements de la instal·lació		**Periodicitat**
Safata: és necessari comprovar que no presenta brutícia general, algues, llots, corrosió o incrustacions. L'aigua ha d'estar clara i neta.		Mensual
Farciment: és necessari verificar l'absència de restes de brutícia, algues, llots, etc. Tanmateix, se n'ha de comprovar la integritat.		Semestral
Canonades i condensador: per tal de facilitar la inspecció és convenient disposar d'algun punt desmuntable que permeti revisar les superfícies interiors, com a mínim, en un punt com a representació del conjunt de les canonades.		Semestral
Separador de gotes: no ha de presentar restes de brutícia, algues o llots i ha d'estar correctament col·locat sobre el marc suport. Atesa la importància que té, cal assegurar-ne una correcta instal·lació i integritat després de cada neteja i desinfecció.		Mínim anual (recomanat semestral)
Filtres i altres equips de tractament d'aigua: revisar que es troben correctament instal·lats i en bones condicions higièniques.	Filtre ompliment	Semestral
	Filtre recirculació	Mensual
	Altres equips	Mensual
Exterior de la unitat: no ha de patir corrosió i ha de presentar una bona integritat estructural		Anual

b) **Control de la qualitat fisicoquímica de l'aigua:** avalua les condicions d'operació de la instal·lació mitjançant els paràmetres fisicoquímics de l'aigua, per tal de prevenir desviacions i punts de funcionament no desitjables, que incrementin el risc de proliferació de legionel·la.

PARÀMETRES DE CONTROL DE LA QUALITAT DE L'AIGUA		
Paràmetre	**Mètode d'anàlisi**	**Periodicitat**
Nivell de clor o biocida utilitzat	Segons principi actiu	Diari
Temperatura	Termòmetre d'immersió de lectura directa	Mensual
PH	Mesurador de PH de lectura directa o colorimètrica	
Conductivitat	Sonda electroquímica de lectura directa	
Terbolesa	Mesurador de terbolesa	
Ferro total	Espectrofotomètric o colorimètric	
Recompte total d'aerobis en aigua de la bassa	Segons norma ISO 6222. Qualitat de l'aigua. Enumeració de microorganismes cultivables. Recompte de colònies per sembra en medi de cultiu d'agar nutritiu	Mensual
Legionel·la spp	Segons Norma ISO 11731 Part 1. Qualitat de l'aigua. Detecció i enumeració de legionel·la	Adequada al nivell de perillositat de la instal·lació segons l'algorisme d'avaluació de risc. Mínim: trimestral Aproximadament 15 dies després de la realització de qualsevol tipus de neteja i desinfecció

2// Neteja i desinfecció:

a) **Neteja i programa de desinfecció de manteniment:** fa referència als programes de tractament continu de l'aigua, en els quals s'utilitza el clor com a biocida habitual. L'addició de biocida s'ha de fer de manera automàtica, amb una bomba dosificadora en continu a l'aigua de recirculació, o bé amb la mateixa bomba comandada per algun sistema de mesurament directe de la concentració de clor lliure residual.

Des del punt de vista de les neteges puntuals, la llei exigeix efectuar-les en les situacions recollides a la taula següent:

Periodicitat mínima segons RD 865/2003	
Neteja i desinfecció	Semestral

Situacions extraordinàries de neteja obligatòria
Quan es posi en funcionament per primera vegada
Després d'una aturada de la instal·lació amb durada superior a 1 mes
Després d'una reparació o modificació estructural
Quan ho aconselli una revisió general de la instal·lació
Per determinació de l'autoritat sanitària

b) **Neteja de desinfecció i de xoc:** es tracta d'un tractament d'hipercloració preventiu que s'ha de fer amb periodicitat semestral, preferiblement en els canvis estacionals de primavera i tardor, que consisteix en elevar la concentració habitual de clor (2 mg/l) a 5 mg/l i mantenir aquesta concentració durant 3 hores en el cas de torres que funcionen només en un període estacional, i durant 4 hores en torres de funcionament continu, de manera que qualsevol bacteri pugui ser eliminat. Habitualment s'ha d'afegir també un líquid anticorrosiu, en els casos en què els components de la instal·lació són sensibles a la corrosió. El tractament de xoc sempre ha d'anar acompanyat d'una neteja física completa dels components de la instal·lació. Les peces accessibles i desmuntables s'han de netejar i submergir en una solució amb 15mg/l de biocida.

c) **Neteja de desinfecció en cas de brot:** en cas d'un positiu en la identificació de *legionela pneumophila*, és necessari la mesura immediata d'una hipercloració per a eliminar el brot desenvolupat. Consisteix en elevar la concentració habitual de clor (2 mg/l) a 20 mg/l i mantenir aquesta concentració durant 3 hores, de manera que s'ataqui agressivament la presència de bacteris de legionel·la. Seguidament es neutralitza el biocida, es buida el circuit i es procedeix a una neteja a fons de tota la instal·lació amb detergent. Les peces accessibles i desmuntables s'han de netejar i submergir en una solució amb 15mg/l de biocida. Finalment, es torna a repetir el procés d'hipercloració, però aquesta vegada amb una duració de 2 hores.

Consideracions importants:

a) La contractació d'un servei de manteniment, control i/o desinfecció extern no eximeix el titular de la instal·lació de la seva responsabilitat davant l'aparició d'algun brot de legionel·la.

b) El personal que realitzi operacions de manteniment higiènic i sanitari ha de disposar d'un nivell de coneixements suficient per a realitzar una prevenció efectiva dels riscos per a la salut, de manera que han d'acudir a les entitats acreditades per donar aquesta formació, realitzar un curs i obtenir un diploma que, després s'ha de renovar cada 5 anys.

3// Taula de periodicitats:

TORRES DE REFRIGERACIÓ I CONDENSADORS EVAPORATIUS								
Raó	**Tipus d'acció**	**Acció**	**Diari**	**Mensual**	**Trimestral**	**Semestral**	**Anual**	**Observacions**
Exigències mecàniques	Comprovació i ajustament	Nivell d'operació i reposició d'aigua		X				
		Purga (o drenatge)		X				
		Escalfador de bassa				X		
		Tensió corretges		X				
		Alineació motor					X	
		Rotació ventiladors i bombes						
		Voltatge i corrent del motor					X	
		Sorolls o vibracions estranyes		X				
		Consignes de treball						
	Inspecció i monitorització	Condicions generals		X				
		Secció de transferencia de calor				X		
		Canonada de distribució i boquilles				X		
		Separador de gotes						
		Repartició de l'aigua (replè)						
		Eix del ventilador				X		
		Revisió general del sistema					X	
	Lubricació	Coixinets eixos ventilador			X			
	Neteja general	Neteja acumulació de brutícia 1	**Segons normativa**					
		Neteja acumulació de brutícia 2						
Exigències Normativa	Documentació	Documentació específica de la instal·lació	**Necessària**					
		Històric de dades i intervencions	**Necessària**					
	Condicions higièniques	Safata (o bassa)		X				
		Replè				X		
		Tuberies (i condensador si se'n disposa)				X		
		Separador de gotes					X	
	Paràmetres fisico-químics aigua	Clor	X					
		Tº, PH, conductivitat, terbolesa, ferro total		X				
	Paràmetres micriobiològics aigua	Aerobis totals en la bassa		X				
		Recompte de *Legionella sp*			X			I 15 dies després de qualsevol neteja o desinfecció
	Revisió periòdica oficial	Revisió oficial					X	*(feta per empresa acred. segons D352/2004)*
	Neteja i desinfecció	Neteja i desinfecció (*empresa ROESP - D352/2004*)				X		I en reparacions o aturades superiors a 1 mes
	Formació obligatòria	Coneixements especifics	**Necessària,** actualitzada cada 5 anys *(impartit per empresa acred. Per Institut d'Estudis de la Salut - D352/2004*)					

Nº Tasques mecàniques: 13
Nº Tasques oblicació llei: 13

X: la creu vermella indica que són tasques que en la majoria dels casos s'externalitzen i, per tant, tenen un cost addicional, segons queda reflectit a l'apartat de costos del present document.

Es pot observar que aquestes tecnologies són les úniques que tenen exigències de normativa (segons el RD 865/2003), les quals impliquen la necessitat d'acumular un fons documental, efectuar revisions periòdiques, neteges i desinfeccions, i formar als tècnics encarregats de la instal·lació amb els coneixements específics sobre la matèria.

AEROREFREDADORS I AEROCONDENSADORS

Els requisits de manteniment d'una instal·lació amb un condensador refredat per aire es poden resumir principalment en els aspectes següents:

1// Revisions periòdiques

a) **Revisió estructural:** avalua les condicions estructurals i de conservació general de l'aparell, però principalment els elements mecànics com ventiladors i motors (engreixament dels eixos, prevenció de la corrosió...), i també dels elements de control de l'equip, com la comprovació de les consignes de treball i de les sondes de temperatura.

b) **Revisió higiènica:** un dels factors principals és la superfície aletejada, ja que és propensa a l'acumulació de pols i greix que impedeixen el pas de l'aire a través del bescanviador i incrementa la resistència tèrmica de les parets del condensador i, en conseqüència, disminueix el rendiment de la instal·lació.

2// Taula de periodicitats

AEROREFREDADORS I CONDENDENSADORS (AIRE)								
Raó	**Tipus d'acció**	**Acció**	**Diari**	**Mensual**	**Trimestral**	**Semestral**	**Anual**	**Observacions**
Exigències mecàniques	Comprovació i ajustament	Nivell d'operació i reposició d'aigua						
		Purga (o drenatge)						
		Escalfador de bassa						
		Tensió corretges						
		Alineació motor						
		Rotació ventiladors i bombes						
		Voltatge i corrent del motor			X			
		Sorolls o vibracions estranyes		X				
		Consignes de treball						
	Inspecció i monitorització	Condicions generals			X			
		Secció de transferencia de calor		X				
		Canonada de distribució i boquilles						
		Separador de gotes						
		Repartició de l'aigua (replè)						
		Eix del ventilador						
		Revisió general del sistema						
	Lubricació	Coixinets eixos ventilador						
	Neteja general	Neteja acumulació de brutícia 1		X				
		Neteja acumulació de brutícia 2						
Exigències Normativa	Documentació	Documentació específica de la instal·lació	**No existeig legislació específica**, fora de les normatives CE comunitàries i de respecte mediambiental que ha de complir qualsevol aparell					
		Històric de dades i intervencions						
	Condicions higièniques	Safata (o bassa)						
		Replè						
		Tuberies (i condensador si se'n disposa)						
		Separador de gotes						
	Paràmetres fisico-químics aigua	Clor						
		Tº, PH, conductivitat, terbolesa, ferro total						
	Paràmetres micriobiològics aigua	Aerobis totals en la bassa						
		Recompte de *Legionella sp*						
	Revisió períodica oficial	Revisió oficial						
	Neteja i desinfecció	Neteja i desinfecció						
	Formació obligatòria	Coneixements especifics						

Nº Tasques mecàniques: 5
Nº Tasques oblicació llei: 0

Els sistemes secs de refredament no disposen de cap obligació legal pel que fa al manteniment, doncs no impliquen cap risc biològic i els requisits de manteniment pretenen solament garantir el correcte funcionament de l'equip.

AEROREFREDADORS I CONDENSADORS ADIABÀTICS

Les necessitats de manteniment d'aquest tipus d'equips és la mateixa que per als aerocondensadors, però afegint els equips de regulació dels ventiladors i polvorització d'aigua.

1// Revisions periòdiques:

c) **Revisió estructural:** avalua les condicions estructurals i de conservació general de l'aparell, però principalment els elements mecànics com els ventiladors i els motors (engreixament dels eixos, prevenció de la corrosió...).

d) **Revisió de regulació:** comprovació del rang de regulació dels variadors de freqüència i de la intensitat absorbida a les fases durant la regulació de la velocitat dels motors. Comprovació que els sortidors del circuit d'atomització d'aigua no es troben obturats i que no hi hagi fuites a la resta de l'entramat.

e) **Revisió higiènica:** un dels factors principals és la superfície aletejada, ja que és propensa a l'acumulació de pols i greix que impedeixen el pas de l'aire a través del bescanviador i incrementa la resistència tèrmica de les parets del condensador i, en conseqüència, disminueix el rendiment de la instal·lació.

2// Taula de periodicitats

AEROREFREDADORS I CONDENDENSADORS ADIABÀTICS (HÍBRIDS)								
Raó	**Tipus d'acció**	**Acció**	**Diari**	**Mensual**	**Trimestral**	**Semestral**	**Anual**	**Observacions**
Exigències mecàniques	Comprovació i ajustament	Nivell d'operació i reposició d'aigua			X			Comprovació del cabal d'aigua del pre-refredament
		Purga (o drenatge)				X		
		Escalfador de bassa						
		Tensió corretges						
		Alineació motor						
		Rotació ventiladors i bombes				X		
		Voltatge i corrent del motor						
		Sorolls o vibracions estranyes			X			
		Consignes de treball			X			Punt de funcionament del controlador adiabàtic
	Inspecció i monitorització	Condicions generals			X			
		Secció de transferencia de calor				X		
		Canonada de distribució i boquilles				X		
		Separador de gotes						
		Repartició de l'aigua (replè)			X			Estat del medi humit
		Eix del ventilador						
		Revisió general del sistema						
	Lubricació	Coixinets eixos ventilador			X			
	Neteja general	Neteja acumulació de brutícia 1			X			Neteja en concret del medi humit
		Neteja acumulació de brutícia 2				X		Neteja del drenatge d'aigua
Exigències Normativa	Documentació	Documentació específica de la instal·lació	**No existeig legislació específica**, fora de les normatives CE comunitàries i de respecte mediambiental que ha de complir qualsevol aparell					
		Històric de dades i intervencions						
	Condicions higièniques	Safata (o bassa)						
		Replè						
		Tuberies (i condensador si se'n disposa)						
		Separador de gotes						
	Paràmetres fisico-químics aigua	Clor						
		Tº, PH, conductivitat, terbolesa, ferro total						
	Paràmetres micriobiològics aigua	Aerobis totals en la bassa						
		Recompte de *Legionella sp*						
	Revisió períodica oficial	Revisió oficial						
	Neteja i desinfecció	Neteja i desinfecció						
	Formació obligatòria	Coneixements especifics						

Nº Tasques mecàniques: 12
Nº Tasques oblicació llei: 0

Els sistemes híbrids de refredament tampoc disposen de cap obligació legal pel que fa al manteniment, per absència de risc biològic. Els requisits de manteniment pretenen solament garantir el correcte funcionament i regulació de l'equip.

CONCLUSIONS DE LES EXIGÈNCIES DE MANTENIMENT

La taula següent resumeix el nombre de tasques de manteniment preventiu atribuïdes a cada tecnologia, i que queden detallades als apartats anteriors. S'ha diferenciat entre les tasques destinades a la conservació de les condicions mecàniques i operatives, i les tasques obligatòries que estableix la normativa en cada cas (destinada principalment al control i la prevenció del risc biològic):

Tecnologia	FREQÜÈNCIA DE MANTENIMENT PREVENTIU					
	Diari	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual	Total
Sistemes humits (TR i CE)						
Tasques mecàniques	0	5	1	4	3	13
Tasques obligació llei	1	3	1	3	2	13
Total	**1**	**8**	**2**	**7**	**5**	**26**
Sistemes secs (AR i AC)						
Tasques mecàniques	0	3	2	0	0	5
Tasques obligació llei	0	0	0	0	0	0
Total	**0**	**3**	**2**	**0**	**0**	**5**
Sistemes híbrids (AR i AC ad.)						
Tasques mecàniques	0	2	5	5	0	12
Tasques obligació llei	0	0	0	0	0	0
Total	**0**	**2**	**5**	**5**	**0**	**12**

- Si considerem com a manteniment d'alta freqüència el diari i mensual, observem que l'únic que comporta alguna tasca diària són els sistemes humits (control biocida). En el mensual, els sistemes humits comporten aproximadament el triple de les tasques que requereixen els sistemes secs i híbrids.

- Els sistemes secs i els híbrids, no es troben sotmesos a legislació de prevenció de risc biològic, amb la conseqüent absència de tasques d'aquest caire.

- En definitiva, amb relació al gruix de manteniment total en el període anual, la tecnologia que, amb diferència, comporta més implicació de manteniment són els sistemes humits ja que requereixen un elevat nombre d'actuacions per assegurar el funcionament correcte, als quals cal afegir-hi les actuacions dedicades al control i la prevenció del risc de contaminació per legionel·la. Els sistemes humits també requereixen una atenció periòdica més freqüent que els altres dos grups.

ANNEX 2. ESTUDI DE REPERCUSSIÓ DE LA LEGISLACIÓ A LES INSTAL·LACIONS EN ACTIU

INTRODUCCIÓ

Aquesta secció del document centra la seva atenció en determinar de quina manera s'ha comportat o s'està comportant el parc de les instal·lacions en actiu que han disposat de sistemes de refredament de tipus humit (torres de refrigeració i condensadors evaporatius) al llarg de la seva activitat. El capítol té per objecte avaluar de quina manera han reaccionat i estan reaccionant els titulars de les instal·lacions amb sistemes humits davant l'estímul que va presentar, des del moment que es van aprovar, i que presenta l'actual normativa en vigor sobre la prevenció d'instal·lacions amb risc de proliferació de legionel·la, així com els diferents brots de legionel·la que s'han anat donant al llarg del temps.
Com s'ha determinat, les tecnologies humides (en la majoria dels casos, torres de refrigeració) són les més eficients des del punt de vista energètic i, en la seva selecció i explotació, hi intervé tota la llista de paràmetres que s'han avaluat al llarg d'aquest document.

Per tots aquests motius, es vol esbrinar si els positius de legionel·la i la normativa associada s'estan convertint en una barrera per a la implantació de noves instal·lacions, o també en el cas de renovació d'equips vells.

Per a desenvolupar aquesta tasca s'han avaluat les evolucions de les instal·lacions en actiu des de dos punts de vista, enumerats a continuació:

- Evolució de l'històric d'una entitat de revisió.
- Evolució del cens de les instal·lacions en actiu.

Ambdós vessants es troben desenvolupats en dos apartats diferenciats presentats a continuació.

HISTÒRIC DE LES ENTITATS DE REVISIÓ

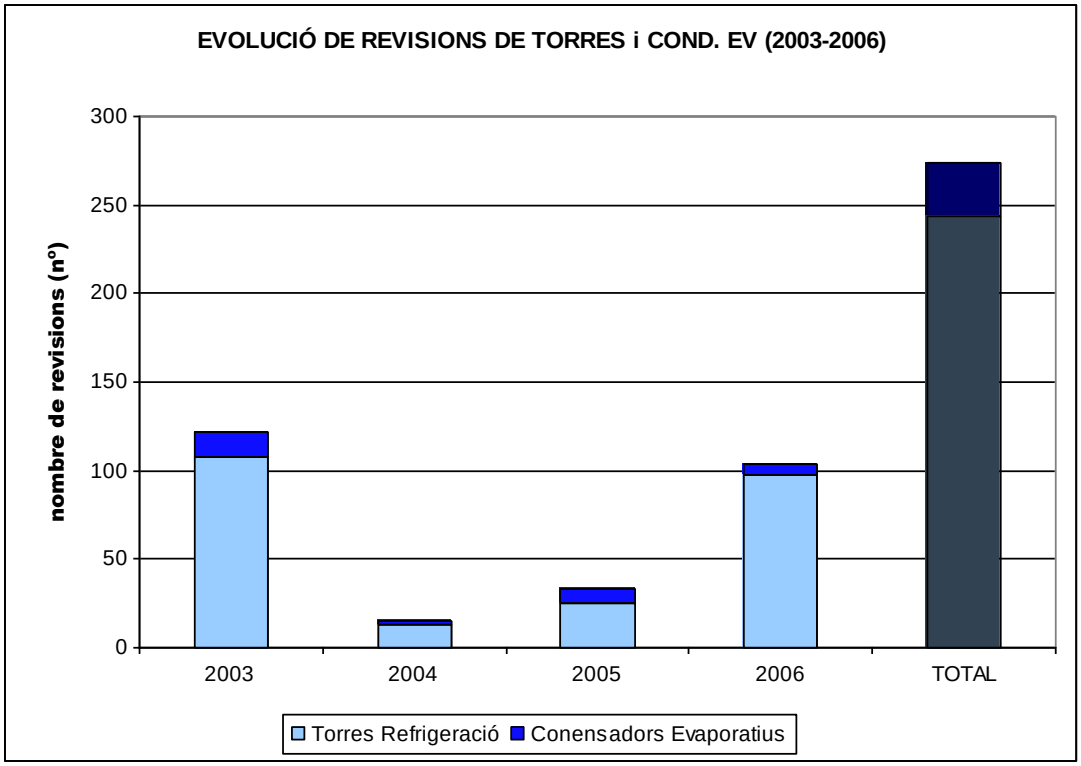
1// Evolució de l'històric de les entitats de revisió

El Decret 352/2004, de 27 de juliol (decret de Catalunya), pel qual s'estableixen les condicions higièniques i sanitàries per a la prevenció i el control de la legionel·losi, és l'únic decret que estableix que les revisions anuals de les instal·lacions d'alt risc de tipus A (torres de refrigeració i condensadors evaporatius) s'han de portar a terme per part d'una empresa acreditada (el Reial decret 865 no ho preveu). Per tant, a la resta de comunitats, si la legislació autonòmica o local no ho exigeix, no és necessari que s'externalitzin les revisions anuals. La taula següent resumeix aquesta disposició del Decret 352/2004:

Periodicitat de revisions segons el Decret 352/2004	
Instal·lacions d'alt risc	**Freqüència de revisió**
A: instal·lacions que afecten l'ambient exterior dels edificis (torres de refrigeració i condensadors evaporatius).	Anual
B: instal·lacions que afecten l'interior dels edificis: centrals humidificadores industrials que generen aerosols.	Cada 2 anys
C: sistemes d'aigua calenta sanitària amb acumulador i circuit de retorn.	Cada 4 anys
D: instal·lacions termals.	
E: sistemes d'aigua climatitzada amb agitació constant i recirculació, amb raigs d'alta velocitat o injecció d'aire (balnearis, jacuzzis, piscines, vasos o banyeres terapèutiques, banyeres d'hidromassatge, tractaments amb raigs a pressió i d'altres).	

A continuació es presenta el nombre de revisions anuals efectuades per una entitat de revisió en l'àmbit de Catalunya, i la seva evolució des de l'any 2003 fins 2006:

	Torres ref.	Condensadors ev.
2003	108	14
2004	13	2
2005	25	8
2006	98	6
TOTAL	**244**	**30**



L'elevat nombre de revisions efectuades l'any 2003 indica l'entrada en vigor de la normativa, de manera que les revisions esdevenen obligatòries per a totes les instal·lacions amb torres de

refrigeració i condensadors evaporatius que s'hagin donat d'alta a l'ajuntament corresponent i, per tant, es trobi censada per la Generalitat de Catalunya.

Si bé l'any 2003 va ser el primer, el preu mitjà que cobraven les entitats de revisió era d'uns 300€ per revisió. L'aparició de competència el 2004 va fer baixar preus fins aproximadament disminuir al 50% de l'import l'any 2006, assolint valors per sota dels 150€ per revisió. Per tant, l'aparició de més entitats de revisió es percep com un fet positiu pels clients titulars d'instal·lacions.

D'altra banda, en aquest període es va detectar una certa especulació amb l'emissió de certificats sobre la bondat de les instal·lacions, com són les opinions discrepants sobre una mateixa instal·lació entre diferents entitats de revisió. Els criteris de validació de la instal·lació que permetien que s'emetés el certificat d'aprovació eren i són establerts per la llei. No obstant, es van detectar molts casos en què algunes entitats de revisió emetien el certificat de validació sense que la instal·lació complís les condicions establertes per la llei. A més d'aquest fet, la manca d'informació dels titulars d'algunes instal·lacions va fer que es canviés d'entitat de revisió enlloc d'adequar les instal·lacions, amb l'estalvi econòmic derivat de no realitzar les modificacions pertinents.

Es creu que aquest és un dels factors que ha propiciat l'aparició de certs brots de legionel·la en instal·lacions que es trobaven aparentment censades i amb les revisions aprovades, quan en realitat l'estat de la instal·lació no complia els requisits de prevenció de legionel·la.
Per tant, és lògic creure que amb aquest registre, molts dels titulars que, des de llavors, s'han plantejat modificacions als equips de refredament de les seves instal·lacions, tinguin certa por als sistemes humits, fruit de la manca d'informació i dels successos esmentats.

2// Conclusió

Per concloure, dels motius exposats en aquest apartat, es pot deduir que:

- Actualment, els costos de revisions de les instal·lacions no esdevenen un impediment per a l'elecció de sistemes humits.

- El paràmetre més crític segons la percepció dels titulars de les instal·lacions humides és la responsabilitat davant la llei que comporta assumir el risc de patir un brot de legionel·losi.

- La qualitat de les revisions oficials, dutes a terme per les entitats acreditades, és un paràmetre importantíssim i que influeix proporcionalment en l'aparició del risc de proliferació del bacteri. De la mateixa manera, però més indirectament, la correcció d'aquestes influeixen en la sensació de por percebuda pels titulars d'instal·lacions.

Nota: només s'ha considerat les dades de les revisions portades a terme a Catalunya d'una entitat, ja que la llei no obliga a externalitzar les revisions a la resta de comunitats.

EVOLUCIÓ DE LES INSTAL·LACIONS EN ACTIU (GEN.CAT.)

L'objecte d'aquest capítol és avaluar la repercussió que ha tingut en el parc en actiu de sistemes humits (torres de refrigeració i condensadors evaporatius), l'entrada en vigor de la normativa de prevenció de legionel·losi. En l'actualitat, aquestes normatives estableixen les exigències necessàries per al manteniment d'aquestes instal·lacions, així com les responsabilitats que recauen sobre els titulars que en disposin.

Tal com s'ha comprovat en aquest estudi, els sistemes humits, en aquest cas les torres de refrigeració, són les tecnologies energèticament més eficients de les disponibles al mercat. És possible que l'elevat nivell d'exigència s'estigui convertint en una barrera per a la implantació i desenvolupament d'aquesta tecnologia, tant en noves instal·lacions com en la renovació d'equips vells.

Per tal d'avaluar aquesta repercussió, s'ha optat per estudiar l'evolució del *Cens de torres de refrigeració i condensadors evaporatius* de què disposa la Generalitat de Catalunya des de l'any 2003.

1// Cens de la Generalitat de Catalunya

A continuació es presenta l'evolució anual del cens de sistemes humits des de l'any 2003 fins al 2008. Les dades són oficials i han estat facilitades per l'Agència de Protecció de la Salut (APS) de la Generalitat de Catalunya. El nombre d'instal·lacions es presenta per les divisions territorials amb què aquest departament treballa, que seguidament s'explica quines àrees cobreixen:

CENS D'INSTAL·LACIONS EN ACTIU AMB TORRES DE REFRIGERACIÓ I CONDENSADORS EVAPORATIUS Agència de Protecció de la Salut (APS) - GENERALITAT DE CATALUNYA							
Any	BARCELONA	ASPB	GIRONA	LLEIDA	TARRAGONA	TERRES DE L'EBRE	CATALUNYA
2003	1.444	817	304	461	119	47	3.192
2004	1.814	814	296	507	259	70	3.760
2005	1.788	772	301	537	298	69	3.765
2006	1.879	772	537	527	257	74	4.046
2007	1.724	731	527	533	314	68	3.897
2008	**1.668**	**641**	**533**	**530**	**307**	**64**	**3.743**

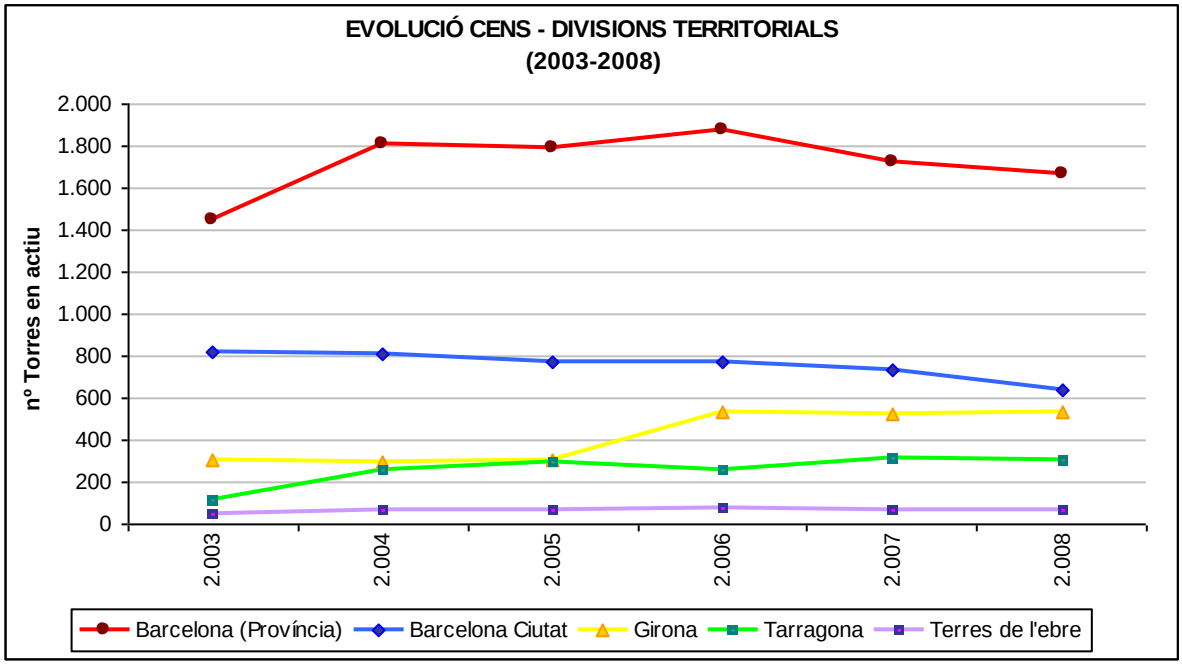
Divisions territorials

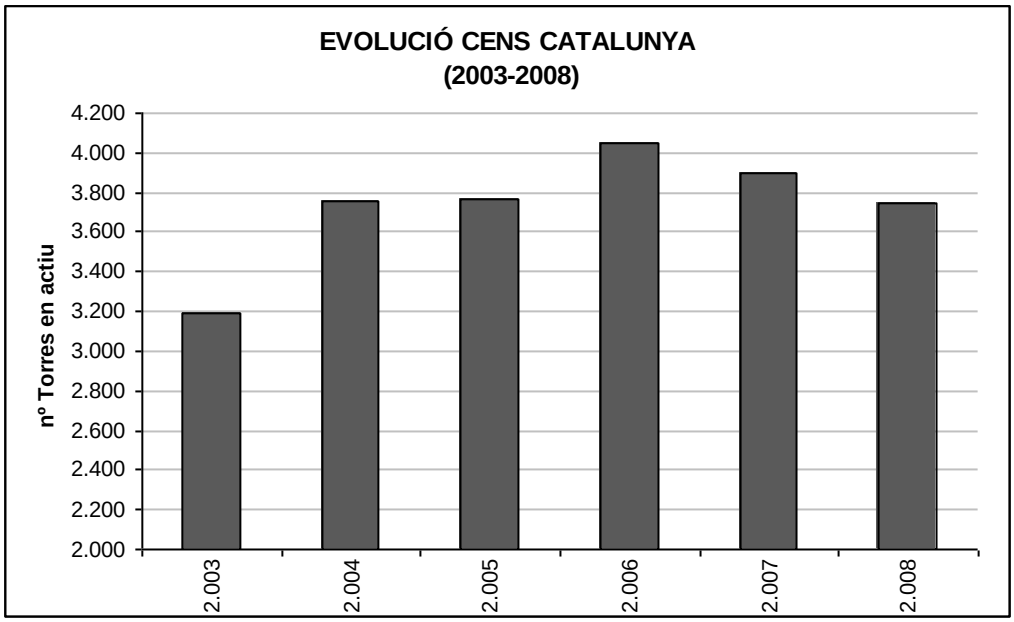
Cada departament de la Generalitat empra les divisions territorials que li són més útils per al desenvolupament i tractament de les seves dades. Per tal de poder creuar les dades obtingudes de l'APS amb les dades de població i superfície de cada zona, ha estat necessari recórrer a la base de dades de l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT). Per tant, a continuació es presenta l'equivalència de les divisions territorials emprades a l'APS amb les divisions IDESCAT:

Les divisions territorials comprenen les àrees geogràfiques següents:

Divisions territorials (APS)		Divisions territorials (IDESCAT)
BARCELONA	→	BARCELONA (PROVÍNCIA)
ASPB		BARCELONA (CIUTAT)
GIRONA		GIRONA
LLEIDA		LLEIDA
TARRAGONA		TARRAGONA
TERRES DE L'EBRE		TERRES DE L'EBRE

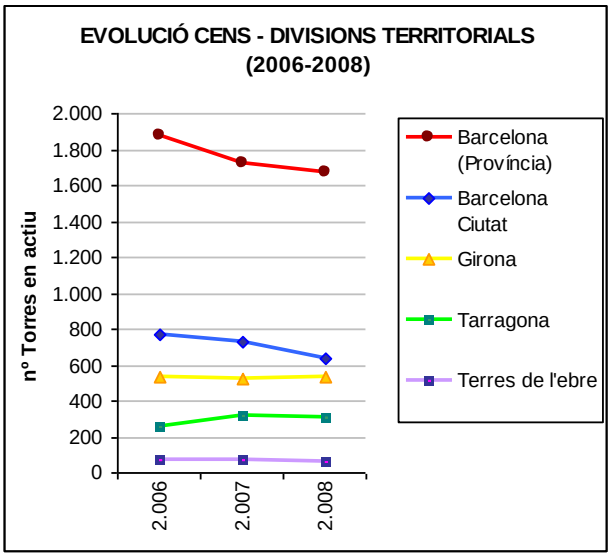
Representacions gràfiques de l'evolució del cens

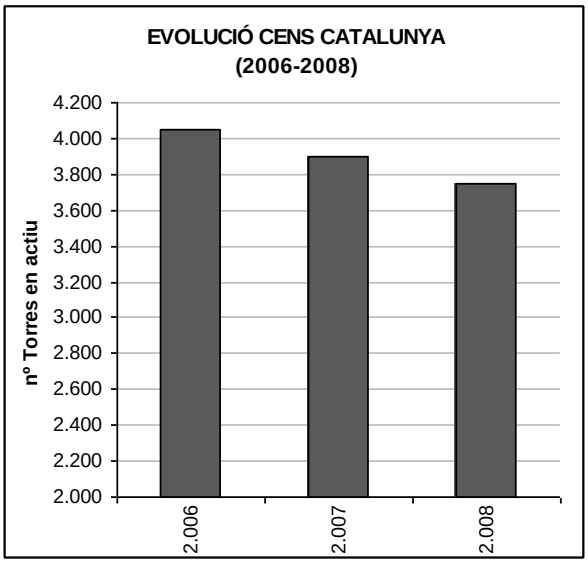




En el desenvolupament del present estudi, diferents persones de contacte d'administracions locals en municipis (p. ex. Ajuntament de Barcelona), així com els responsables de recopilació de dades de la Generalitat han fet especial èmfasi en la cobertura del cens. Han informat que fins a partir de l'any 2005, la cobertura del cens de torres era inferior al 90%, de manera que les instal·lacions inventariades no corresponien en bona mesura al nombre real d'instal·lacions existents.

Aquest fet explica l'increment en nombre d'instal·lacions inventariades des de l'any 2003 fins a l'any 2005, tot i l'entrada en vigor de la normativa el 2003 que obliga els titulars de la instal·lació a comunicar els equips humits de què disposi al seu ajuntament.
Per tant, l'estudi de la repercussió té sentit quan el nombre d'instal·lacions inventariades pels ajuntaments, i finalment agrupades per l'APS, considerant com a indicatives les dades a partir de l'any 2006, les gràfiques de les quals es presenten a continuació:

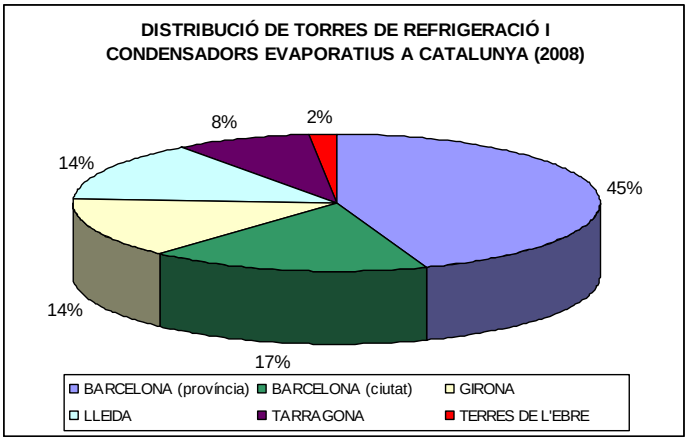




Finalment, podem determinar que tant en l'àmbit territorial com en línies globals, el nombre d'instal·lacions de torres de refrigeració i de condensadors evaporatius està disminuint progressivament en els darrers tres anys. Aquest fet es deu principalment a la substitució de sistemes humits per sistemes secs, tal com es pot extreure de les opinions dels usuaris finals respecte de les tecnologies avaluades. De la mateixa manera, els projectes estudiats de nova construcció eviten la implantació de torres de refrigeració i condensadors evaporatius, fruit del rebuig per part dels titulars a implantar-ne.

2// Dades actuals de les instal·lacions en actiu (2008)

El diagrama de sectors següent presenta la distribució més recent (2008) dels sistemes humits segons les divisions territorials realitzades:



Es pot observar que el major nombre de torres i condensadors es troba principalment (amb un 45% del total) a la província de Barcelona. En segon lloc hi ha Barcelona ciutat, amb un 17% del total d'instal·lacions a Catalunya. La divisió territorial que disposa de menor nombre de torres són les Terres de l'Ebre, amb un 2%.

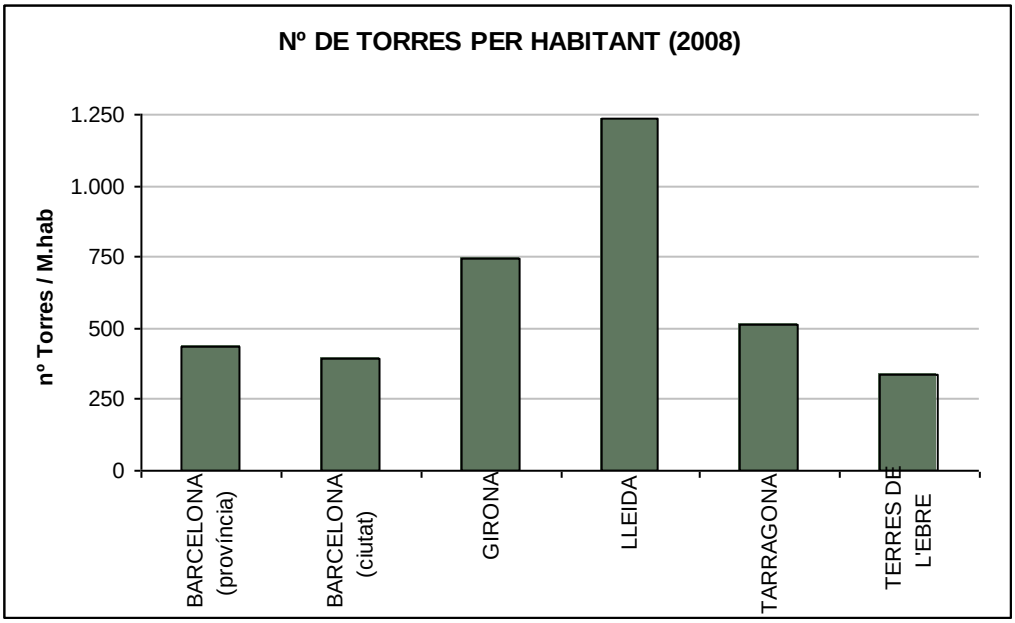
Dades de l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT)
Tal com s'ha comentat a l'apartat anterior, a continuació es presenten les dades específiques sobre extensió territorial i habitants de cada divisió territorial considerada, segons la font de dades de l'IDESCAT,

DADES ESTADÍSTIQUES 2008 (font oficial: IDESCAT)				
Classificació Segons APS	**Classif. Segons (IDESCAT)**	**Superfície (km^2)**	**Densitat pobl. (hab/km^2)**	**Població (hab)**
1 - ASPB	Barcelona Ciutat	101	15.943,8	1.616.701
2 - Barcelona	Barcelona (Província)	8.752	435,8	3.813.608
3 - Tarragona	Camp de Tarragona	2.999	200,0	599.804
4 - Terres de l'Ebre	Terres de l'ebre	3.309	57,2	189.096
5 - Girona	Comarques Gironines	5.584	128,4	716.842
6 - Lleida	Àmbit de ponent	5.586	63,0	351.691
	Alt Pirineu i Aran (Lleida)	5.776	13,2	76.294
		11.361	*37,7*	*427.985*
TOTAL CATALUNYA		**32.107**	**229,4**	**7.364.037**

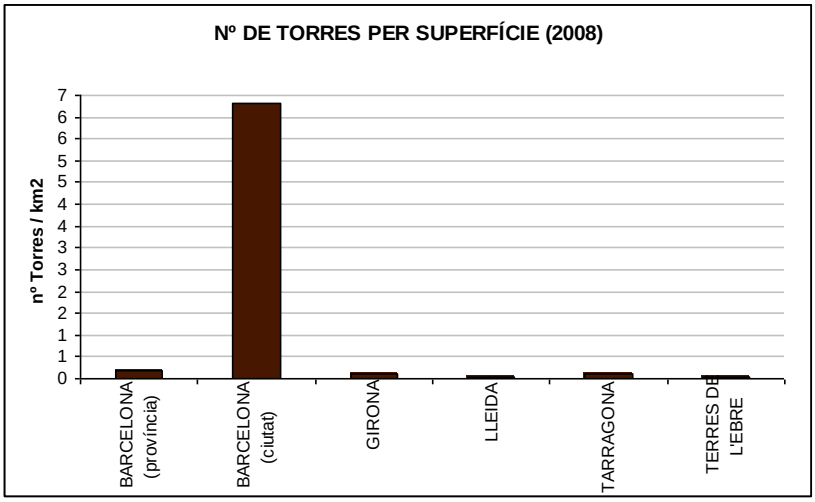
Així doncs, la taula següent recull les dades de superfície, habitants i densitat de població per a les mateixes divisions territorials obtingudes als cens de torres. S'han calculat les ràtios corresponents als conceptes de *torres/superfície* i *torres/milió d'habitants.*

RATIS DE SISTEMES HUMITS PER HABITANT I PER SUPERFICIE							
Concepte	**BARCELONA (província)**	**BARCELONA (ciutat)**	**GIRONA**	**LLEIDA**	**TARRAGONA**	**TERRES DE L'EBRE**	**CATALUNYA**
Població (hab)	3.813.608	1.616.701	716.842	427.985	599.804	189.096	**7.364.037**
Superfície (km^2)	8.752	101	5.584	11.361	2.999	3.309	**32.107**
Densitat demogràfica (hab/km^2)	436	15.944	128	38	200	57	**229**
DADES - 2008							
Nº Torres per superfície (nº/km^2)	0,19	6,32	0,10	0,05	0,10	0,02	**0,12**
Nº Torres per Habitants (nº/Mhab)	437	396	744	1.238	512	338	**508**

A continuació es presenten les representacions gràfiques corresponents.



El gràfic anterior indica que el major nombre de torres per habitant a Catalunya es troba a la divisió territorial de Lleida. Per contra, el menor nombre s'identifica amb l'àrea de les Terres de l'Ebre.



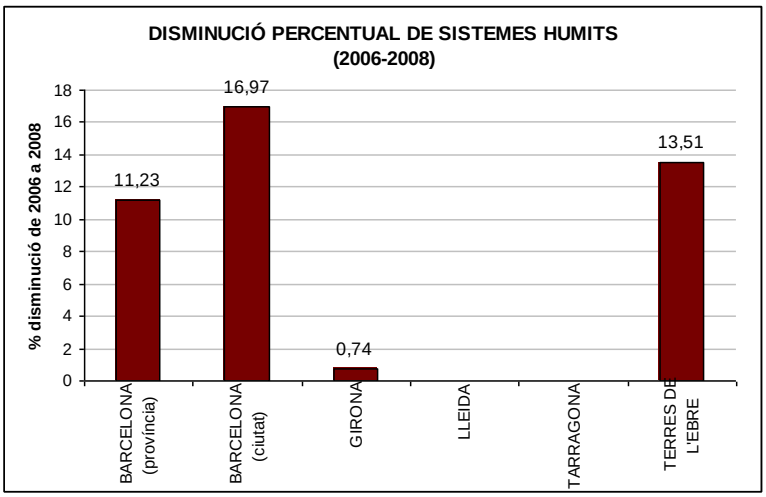
En aquest cas, el diagrama reflecteix la diferència en l'emplaçament de les instal·lacions. Amb diferència, el major nombre de torres de refrigeració o de condensadors evap. per unitat de superfície es troben a la ciutat de Barcelona amb aprox. 6 torres per cada km^2.

i. Zones de major disminució de sistemes humits

Si s'avaluen les disminucions detectades a cadascuna de les divisions territorials entre els anys 2006 i 2008, obtenim els valors absoluts i percentuals indicats a la taula següent:

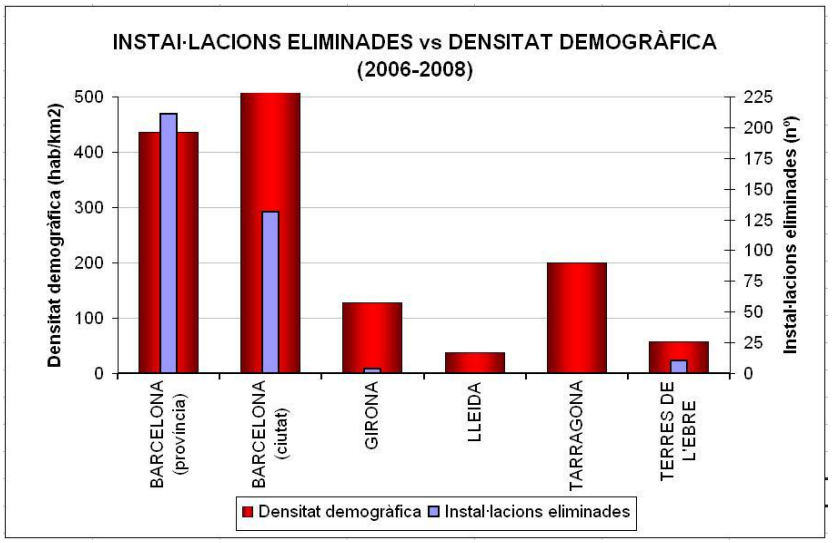
DISMINUCIÓ DE SISTEMES HUMITS DE 2006 A 2008							
Àrea geogràfica	BARCELONA (província)	BARCELONA (ciutat)	GIRONA	LLEIDA	TARRAGONA	TERRES DE L'EBRE	CATALUNYA
2006	1.879	772	537	527	257	74	4.046
2008	1.668	641	533	530	307	64	3.743
Disminució de sistemes HUMITS (nº)	**-211**	**-131**	**-4**	**3**	**50**	**-10**	**-303**
Disminució de sistemes HUMITS (%)	**-11%**	**-17%**	**-1%**	**1%**	**19%**	**-14%**	**-7%**
Densitat demogràfica (hab/km2)	436	15.944	128	38	200	57	229

S'han adjuntat els valors obtinguts de densitat demogràfica per a identificar si a les zones més poblades s'identifica un major nombre d'instal·lacions que es donen de baixa. Seguidament es presenten els diagrames indicadors de la disminució de torres, així com l'encreuament amb les dades de densitat demogràfica.



El diagrama de barres anterior indica que les zones on s'ha identificat una major disminució relativa (percentatge respecte el nombre inicial) de torres i condensadors evaporatius instal·lats són les divisions territorials de:

- Barcelona (província) – 11,2%
- Barcelona (ciutat) – 17,0 %
- Terres de l'Ebre – 13,5 %



El diagrama anterior il·lustra l'encreuament de dades demogràfiques de cada divisió territorial, amb el nombre d'instal·lacions humides eliminades. Tal com es preveia amb anterioritat, **els territoris de major densitat demogràfica també han experimentat una major disminució en el nombre d'instal·lacions amb torres o condensadors evaporatius.** Aquesta dada es considera un fet natural, ja que les zones de major densitat demogràfica són les zones de major risc de contaminació (d'un major nombre de persones) en cas que esdevingui un brot de legionel·la en les instal·lacions de l'àrea.

3// Conclusió

De l'estudi portat a terme en el present capítol, podem extreure les conclusions enumerades a continuació:

- El cens de torres de la Generalitat de Catalunya no és representatiu del parc total de torres fins a partir de l'any 2005-2006, quan s'assoleix el 90% de la cobertura d'instal·lacions.

- El major nombre de torres i condensadors es troba principalment (amb el 45% del total d'instal·lacions) a la província de Barcelona.

- Podem determinar que, tant en l'àmbit territorial com en línies globals, **el nombre d'instal·lacions de torres de refrigeració i condensadors evaporatius està disminuint progressivament en els darrers tres anys.**

- El major nombre de torres per habitant a Catalunya es troba a la divisió territorial de Lleida. Per contra, el menor nombre s'identifica amb l'àrea de les Terres de l'Ebre.

- Amb diferència, el major nombre de torres de refrigeració o de condensadors evap. per unitat de superfície es troba a la ciutat de Barcelona amb aprox. 6 torres per cada km^2.

- Les zones on s'ha identificat una major disminució percentual de torres i condensadors evaporatius instal·lats són les divisions territorials de:

  - Barcelona (província) – 11,2%
  - Barcelona (ciutat) – 17,0 %
  - Terres de l'Ebre – 13,5 %

- **Hi ha una relació directa entre el nombre d'instal·lacions eliminades i la densitat demogràfica.** Els territoris de major densitat demogràfica també han experimentat una major disminució en el nombre d'instal·lacions amb torres o condensadors evaporatius.

CONCLUSIONS GENERALS

Com a resultat de la informació avaluada en aquest capítol, podem extreure les conclusions següents:

- Actualment, els costos de revisions oficials de les instal·lacions no esdevenen un impediment per a l'elecció de sistemes humits.

- El paràmetre més crític segons la percepció dels titulars de les instal·lacions humides és la responsabilitat davant la llei que comporta assumir el risc de patir un brot de legionel·losi.

- **La qualitat de les revisions oficials**, dutes a terme per les entitats acreditades, **és un paràmetre importantíssim** i que influeix proporcionalment amb l'aparició del risc de proliferació del bacteri. De la mateixa manera, però més indirectament, la correcció d'aquestes influeixen en la sensació de por percebuda pels titulars d'instal·lacions.

- El cens de torres de la Generalitat de Catalunya no és representatiu del parc total de torres fins a partir de l'any 2005-2006, quan s'assoleix el 90% de la cobertura d'instal·lacions.

- El major nombre de torres i condensadors es troba principalment (amb el 45% del total d'instal·lacions) a la província de Barcelona.

- Podem determinar que, tant en l'àmbit territorial com en línies globals, **el nombre d'instal·lacions de torres de refrigeració i condensadors evaporatius està disminuint progressivament en els darrers tres anys.**

- El major nombre de torres per habitant a Catalunya es troba a la divisió territorial de Lleida. Per contra, el menor nombre s'identifica amb l'àrea de les Terres de l'Ebre.

- Amb diferència, el major nombre de torres de refrigeració o de condensadors evap. per unitat de superfície es troben a la ciutat de Barcelona amb aprox. 6 torres per cada km^2.

- Les zones on s'ha identificat una major disminució percentual de torres i condensadors evaporatius instal·lats són les divisions territorials de:
  - Barcelona (província) – 11,2%
  - Barcelona (ciutat) – 17,0 %
  - Terres de l'Ebre – 13,5 %

- **Hi ha una relació directa entre el nombre d'instal·lacions eliminades i la densitat demogràfica.** Els territoris de major densitat demogràfica també han experimentat una major disminució en el nombre d'instal·lacions amb torres o condensadors evaporatius.

ANNEX 3. ALTRES DOCUMENTS

REGISTRE DE MODELS DE SISTEMES PER REFREDAMENT

							Fluid de procés = AIGUA						
Tecnologia	Fabricant	Potencia objecte	Model	Fluid caloportador	Tipus	Nº celdas	Disipació (35/30ºC)	Disipació (45/30ºC)	Disipació (45/40ºC)	Disipació (95/85ºC)	Cabal aigua per 35/30	Cabal aigua per 45/40	Cabal aigua per 95/85
					Descripció		kWf	kWf	kWf	kWf	l/h	l/h	l/h
FILTRE													
TORRES DE REFRIGERACIÓ													
TR	EWK	50	EWK 036	aigua			46				7.925		
TR	EWK	300	EWK 144	aigua			260				44.791		
TR	EWK	1000	EWK 576	aigua			1.046				180.197		
TR	EWK	2500	EWK 1260	aigua			2.192				377.621		
TR	EWK	2500	EWB 1730	aigua			2.766				476.506		
TR	EWK	300	EWK-D 225	aigua			360				62.018		
TR	EWK	1000	EWK-D 680	aigua			1.088				187.432		
TR	TEVA	100	TVA-009	aigua			98				16.883		
TR	TEVA	300	TVA-032	aigua			324				55.816		
TR	TEVA	1000	TVA-102	aigua			1.024				176.407		
TR	TEVA	2500	TVA-240	aigua			2.435				419.483		
TR	TEVA	100	TVC-012	aigua			122				21.017		
TR	TEVA	300	TVC-128	aigua			285				49.098		
TR	TEVA	1000	TVC-607	aigua			975				167.966		
TR	TEVA	2500	TVC-925	aigua		1	2.550				439.295		
TR	TEVA	50	TMR-05	aigua		1	49	79			8.441		
TR	TEVA	100	TMR-10	aigua		1	93	158			16.021		
TR	TEVA	300	TMR-30	aigua		1	324	521			55.816		
TR	TEVA	1000	TMR-95	aigua		1	989	1.592			170.377		
TR	TEVA	2500	TMR-240	aigua		1	2.471	3.978			425.685		
TR	SPX (Marley)	50	AQUATOWER-490D	aigua		1	35				6.064		
TR	SPX (Marley)	100	AQUATOWER-492G	aigua		1	99				16.969		
TR	SPX (Marley)	300	AQUATOWER-495K	aigua		1	281				48.460		
TR	SPX (Marley)	300	AQUATOWER-495M	aigua		1	320				55.127		
TR	SPX (Marley)	1000	MD-5010RAC1L	aigua		1	1.006				173.272		
TR	SPX (Marley)	50	MCW-901116B-1	aigua		1	63				10.905		
TR	SPX (Marley)	100	MCW-901117D-1	aigua		1	91				15.746		
TR	SPX (Marley)	300	MCW-901113J-1	aigua		1	299				51.492		
TR	SPX (Marley)	1000	MCW-901548N-1	aigua		1	950				163.590		
TR	SPX (Marley)	1000	MCW-901747N-1	aigua		1	985				169.637		
TR	SPX (Comanda)	300	CTFA-1515	aigua		1	302				52.081		
TR	SPX (Comanda)	1000	CTFA-2430	aigua		1	999				172.031		
AERO-REFREDADOR													
AR	BTU	100	EAS6-251	aigua					12	**96**		2.200	9.200
AR	BTU	300	EAS6-803	aigua					37	**301**		7.000	28.700
AR	BTU	1000	EAS6-2538	aigua					121	**953**		23.000	91.000
AR	BTU	1000	EAS7-3146	aigua					126	**912**		24.000	87.000
AR	BTU	50	EAS6-983	aigua					**51**	386		9.800	36.800
AR	BTU	100	EAS6-1966	aigua					**101**	775		19.200	74.000
AR	BTU	100	EAS6-2054	aigua					**84**	912		16.000	58.500
AR	REFRION	50	EVN-1363.3	aigua					54				
AR	REFRION	50	EVN-1180.5	aigua					45				
AR	REFRION	300	EVN-1680.5	aigua					273				
AR	REFRION	50	EVN-1190.4	aigua					49				
AR	REFRION	300	EVN-1690.4	aigua					303				
AR	REFRION	50	EVN-1110.5	aigua					53				
AR	REFRION	300	EVN-1610.4	aigua					295				
AR	REFRION	300	EVN-2480.4	aigua					295				
AR	REFRION	300	EVN-2490.3	aigua					295				
AR	REFRION	1000	EVN-2610.4	aigua					1000				
AR	REFRION	1000	EJN-2510.4	aigua					1012				
AERO-REFREDADOR ADIABÀTIC													
AR-ad	MULLER	300	H07-3C26	aigua			**297**		627		46.487		
AR-ad	MULLER	50	SH08-3C16	aigua			**59**		125		9.235		
	Mostres	7	11	**62**									

ESTUDI COMPARATIU DELS SISTEMES DE REFREDAMENT D'AIGUA

Tecnologia	Fabricant	Potencia objecte	Model	Condicions disseny aire entrada		Nº ventiladors	Tipus de ventiladors	Nº motors	Pot. total ventiladors	Cabal d'aire	Cabal d'aire	Nº Bombes recirculació	Pot. total bombes	Soroll	Longitud	Amplada	Alçada	Pes buit	Pes en servei
				Ts (ºC)	Tbh (ºC)				kW	m^3/s	m^3/h		kW	dB	mm	mm	mm	kg	kg
FILTRE																			
TORRES DE REFRIGERACIÓ																			
TR	EWK	50	EWK 036		24,0				0,33					63	610	610	1.590	59	155
TR	EWK	300	EWK 144		24,0				2,20					70	1.220	1.220	2.620	315	855
TR	EWK	1000	EWK 576		24,0				5,50					74	2.440	2.440	3.425	850	3.350
TR	EWK	2500	EWK 1260		24,0				15,00					74	4.260	3.040	4.060	2.400	9.000
TR	EWK	2500	EWB 1730		24,0				22,00					75	3.700	4.900	4.052	3.500	4.900
TR	EWK	300	EWK-D 225		24,0				6,10					63	2.700	1.520	2.400	620	1.620
TR	EWK	1000	EWK-D 680		24,0				16,70					56	4.930	2.280	2.487	1.500	4.300
TR	TEVA	100	TVA-009		24,0	1		1	0,55	**2,47**	8.892			56	910	910	2.000	148	348
TR	TEVA	300	TVA-032		24,0	1		1	1,50	**8,90**	32.040			61	1.810	1.510	2.600	390	1.120
TR	TEVA	1000	TVA-102		24,0	1		1	7,50	**20,95**	75.420			70	2.470	2.470	3.940	1.230	3.270
TR	TEVA	2500	TVA-240		24,0	2		2	22,00	**44,32**	159.552			76	4.970	2.470	3.940	2.540	6.640
TR	TEVA	100	TVC-012		24,0	1		1	1,10	**2,87**	10.332			42	2.100	930	2.230	350	760
TR	TEVA	300	TVC-128		24,0	1		1	4,00	**4,91**	17.676			50	2.100	1.230	2.230	460	1.050
TR	TEVA	1000	TVC-607		24,0	2		1	11,00	**18,89**	68.004			49	4.200	2.400	2.380	1.460	3.760
TR	TEVA	2500	TVC-925		24,0	3		2 (30+15 kW)	45,00	**43,97**	158.292				5.100	2.280		3.150	8.400
TR	TEVA	50	TMR-05		24,0	1		1	0,37	**1,19**	4.284				670	1.050	1.650	145	395
TR	TEVA	100	TMR-10		24,0	1		1	0,75	**1,84**	6.624				970	1.100	2.100	215	510
TR	TEVA	300	TMR-30		24,0	2		1	4,00	**7,78**	28.008				2.480	1.285	2.150	770	1.635
TR	TEVA	1000	TMR-95		24,0	4		2	15,00	**18,47**	66.492				4.880	1.285	2.450	1.615	3.305
TR	TEVA	2500	TMR-240		24,0	3		3	30,00	**37,21**	133.956				5.180	2.180	3.700	4.320	6.360
TR	SPX (Marley)	50	AQUATOWER-490D		25,5	1			0,75						902	1.292	1.610		
TR	SPX (Marley)	100	AQUATOWER-492G		25,5	1			1,50						1.206	1.543	2.248		
TR	SPX (Marley)	300	AQUATOWER-495K		25,5	1			3,70						2.426	1.975	2.743		
TR	SPX (Marley)	300	AQUATOWER-495M		25,5	1			5,50						2.426	1.975	2.743		
TR	SPX (Marley)	1000	MD-5010RAC1L		25,5	1			18,50						3.651	2.578	3.412	2.079	3.883
TR	SPX (Marley)	50	MCW-901116B-1		25,5	1			1,10						1.250	912	2.555	580	733
TR	SPX (Marley)	100	MCW-901117D-1		25,5	1			2,20						2.736	1.824	2.555	580	733
TR	SPX (Marley)	300	MCW-901113J-1		25,5	1			7,50						2.736	1.824	2.855	1.092	1.588
TR	SPX (Marley)	1000	MCW-901548N-1		25,5	1			22,00						5.360	3.680	4.700	3.084	4.271
TR	SPX (Marley)	1000	MCW-901747N-1		25,5	1			22,00						5.380	3.550	4.500	3.895	6.311
TR	SPX (Comanda)	300	CTFA-1515		25,0	1			1,75	**6,67**	23.994				1.500	1.500	4.405	645	2.300
TR	SPX (Comanda)	1000	CTFA-2430		25,0	1			8,85	**21,68**	78.062				3.000	2.200	4.405	1.350	6.200
AERO-REFREDADOR																			
AR	BTU	100	EAS6-251	35,0		1	axial	1	1,60	3,67	**13.200**			64	1.000	1.000	980	120	135
AR	BTU	300	EAS6-803	35,0		3	axial	3	4,80	11,00	**39.600**			68	1.000	2.000	1.100	360	409
AR	BTU	1000	EAS6-2538	35,0		8	axial	8	12,80	27,11	**97.600**			73	2.000	4.000	1.100	1.050	1.214
AR	BTU	1000	EAS7-3146	35,0		6	axial	6	13,20	17,92	**64.500**			75	2.000	3.000	1.160	1.040	1.250
AR	BTU	50	EAS6-983	35,0		3	axial	3	4,80	13,61	**49.000**			68	1.000	3.000	950	360	411
AR	BTU	100	EAS6-1966	35,0		6	axial	6	9,60	26,67	**96.000**			71	2.000	3.000	1.070	800	913
AR	BTU	100	EAS6-2054	35,0		4	axial	4	8,80	22,22	**80.000**			74	2.000	2.000	1.010	690	802
AR	REFRION	50	EVN-1363.3	35,0		3	axial	3	2,07	8,17	**29.400**			51	4.030	1.250	1.270	196	225
AR	REFRION	50	EVN-1180.5	35,0		1	axial	1	2,00	5,83	**21.000**			46	3.530	1.620	1.800	184	212
AR	REFRION	300	EVN-1680.5	35,0		6	axial	6	12,00	35,00	**126.000**			53	9.730	1.620	1.800	1.430	1.645
AR	REFRION	50	EVN-1190.4	35,0		1	axial	1	3,30	8,00	**28.800**			57	1.980	1.620	1.825	279	321
AR	REFRION	300	EVN-1690.4	35,0		6	axial	6	19,80	48,00	**172.800**			64	9.730	1.620	1.825	1.498	1.723
AR	REFRION	50	EVN-1110.5	35,0		1	axial	1	2,20	7,28	**26.200**			55	1.980	1.620	1.837	295	339
AR	REFRION	300	EVN-1610.4	35,0		6	axial	6	13,20	46,00	**165.600**			62	9.736	1.620	1.837	1.498	1.723
AR	REFRION	300	EVN-2480.4	35,0		8	axial	8	16,00	45,44	**163.600**			54	7.030	2.340	1.800	1.500	1.725
AR	REFRION	300	EVN-2490.3	35,0		8	axial	8	26,40	62,89	**226.400**			65	7.030	2.340	1.800	1.441	1.657
AR	REFRION	1000	EVN-2610.4	35,0		24	axial	24	52,80	166,00	**597.600**			64	22.726	5.148	4.041	4.590	5.279
AR	REFRION	1000	EJN-2510.4	35,0		20	axial	20	44,00	155,28	**559.000**			64	16.280	5.148	4.767	5.372	6.178
AERO-REFREDADOR ADIABÀTIC																			
AR-ad	MULLER	300	H07-3C26	35,0	24,0	2		2	11,00			1,00	0,40	78	3.640	2.112	2.254	2.250	2.650
AR-ad	MULLER	50	SH08-3C16	35,0	24,0	1		1	2,60			1,00	0,40	67	1.240	1.714	2.052	760	900
	Mostres	73	11																

REGISTRE DE MODELS DE SISTEMES PER CONDENSACIÓ

						Fluid de procés = REFRIGERANT				
Tecnologia	Fabricant	Potencia objecte	Model	Fluid caloportador	Tipus	Tipus	Disipació (Tcondensació = 35º)	Disipació (Tcondensació = 40º)	Disipació (Tcondensació = 50º)	Disipació (Tcondensació = 55º)
					Descripció		kWf	kWf	kWf	kWf
FILTRE										
CONDENSADOR EVAPORATIU										
CE	EWK	300	EWK-E 225/4	refrigerant		?		292		
CE	EWK	1000	EWK-E 576/6	refrigerant		?		1024		
CE	EWK	2500	EWK-E 1260/6	refrigerant		?		2498		
CE	TEVA	300	CMA-70	refrigerant		R22		303		
CE	TEVA	1000	CMA-260	refrigerant		R22		1010		
CE	TEVA	2500	CMA-640	refrigerant		R22		2467		
CE	TEVA	300	CVA-230	refrigerant		R22		279		
CE	TEVA	1000	CVA-710	refrigerant		R22		1010		
CE	TEVA	300	CMC-70	refrigerant		R22		297		
CE	TEVA	1000	CMC-260	refrigerant		R22		976		
CE	TEVA	300	CVC-240	refrigerant		R22		293		
CE	TEVA	1000	CVC-620	refrigerant		R22		974		
AERO-CONDENSADOR										
AC	TRANE	300	RTCA-213	refrigerant	Bateries en V	R134a				335
AC	KOBOL	50	CHN-112L	refrigerant	Aire vertical	**R404a** -R22			49	
AC	KOBOL	300	CHS-0604P	refrigerant	Aire vertical	**R404a** -R22			296	
AC	KOBOL	1000	CHS-1209P	refrigerant	Aire vertical	**R404a** -R22			948	
AC	TRANE	100	CAUC-C30	refrigerant	Bateries normal					
AERO-CONDENSADOR ADIABÀTIC										
AC-ad	MULLER	300	H07-DF24	refrigerant		R22		389		
AC-ad	MULLER	1000	H07-DF46	refrigerant		R22		1040		
AC-ad	MULLER	300	SH08-DF36	refrigerant		R22		305		
AC-ad	MULLER	300	H07-DA24	refrigerant		NH3	316			
	Mostres	73	11	62						

ESTUDI COMPARATIU DELS SISTEMES DE REFREDAMENT D'AIGUA

Tecnologia	Fabricant	Potencia objecte	Model	Condicions disseny aire entrada		Nº ventiladors	Tipus de ventiladors	Nº motors	Pot. total ventiladors	Cabal d'aire	Cabal d'aire	Nº Bombes recirculació	Pot. total bombes	Soroll	Longitud	Amplada	Alçada	Pes buit	Pes en servei
				Ts (ºC)	Tbh (ºC)				kW	m^3/s	m^3/h		kW	dB	mm	mm	mm	kg	kg
FILTRE																			
CONDENSADOR EVAPORATIU																			
CE	EWK	300	EWK-E 225/4		?				2,2			1	0,75		1.534	1.534	2.660	1.345	2.305
CE	EWK	1000	EWK-E 576/6		?				7,5			1	2,20		2.440	2.440	3.820	3.430	5.930
CE	EWK	2500	EWK-E 1260/6		?				15			2	3,00		3.040	4.260	4.660	8.300	14.900
CE	TEVA	300	CMA-70		24,0	2	Axial	2	2,20	**8,20**	29.520	1	0,75	64	2.515	1.020	3.045	1.400	2.270
CE	TEVA	1000	CMA-260		24,0	3	Axial	3	6,60	**21,60**	77.760	1	1,50	69	4.730	1.365	3.615	3.560	5.905
CE	TEVA	2500	CMA-640		24,0	2	Axial	2	22,00	**53,40**	192.240	2	4,40	75	5.170	2.870	4.160	7.700	13.180
CE	TEVA	300	CVA-230		24,0	2	Axial	2	2,20	**7,54**	27.144	1	0,55	64	2.400	930	3.100	995	1.845
CE	TEVA	1000	CVA-710		24,0	2	Axial	2	6,00	**20,80**	74.880	1	1,50	69	3.600	1.830	3.260	3.050	5.630
CE	TEVA	300	CMC-70		24,0	1	Centrífugo	1	4,00	**8,20**	29.520	1	1,10	66	2.530	1.030	3.040	1.845	2.650
CE	TEVA	1000	CMC-260		24,0	1	Centrífugo	1	15,00	**21,60**	77.760	1	2,20	68	4.740	1.375	3.610	4.620	6.990
CE	TEVA	300	CVC-240		24,0	1	Centrífugo	1	5,5	**8,39**	30.204	1	0,55	55	4.200	930	2.380	1.240	2.035
CE	TEVA	1000	CVC-620		24,0	2	Centrífugo	2	15	**17,50**	63.000	1	1,10	59	4.200	2.400	2.380	3.020	5.110
AERO-CONDENSADOR																			
AC	TRANE	300	RTCA-213			8	axial	2	6,80	21,44	**77.200**			69	4.610	2.285	1.630	1.535	1.870
AC	KOBOL	50	CHN-112L	35,0		1	axial	1	1,40	3,24	**11.650**			66	1.100	1.100	1.600	83	?
AC	KOBOL	300	CHS-0604P	35,0		6	axial	6	8,10	27,83	**100.200**			65	4.350	2.200	1.600	920	?
AC	KOBOL	1000	CHS-1209P	35,0		12	axial	12	31,20	66,67	**240.000**			75	8.700	2.200	1.600	2.000	?
AC	TRANE	100	CAUC-C30																
AERO-CONDENSADOR ADIABÀTIC																			
AC-ad	MULLER	300	H07-DF24	35,0	24,0	2		2	11,00			1,00	0,40	78	3.640	2.112	2.254	2.060	2.320
AC-ad	MULLER	1000	H07-DF46	35,0	24,0	4		4	22,00			1,00	0,40	81	7.240	2.112	2.254	4.275	4.850
AC-ad	MULLER	300	SH08-DF36	35,0	24,0	3		3	7,80			1,00	0,40	72	3.640	1.714	2.052	1.675	1.930
AC-ad	MULLER	300	H07-DA24	35,0	24,0	2		2	11,00			1,00	0,40	78	3.640	2.112	2.254	2.500	2.700
	Mostres	73	11																