Resum

Aquest projecte consisteix en el càlcul del sistema de climatització d'un edifici d'oficines. L'objectiu principal és aconseguir una climatització més eficient, tant de cara a l'estalvi energètic com en el confort dels usuaris. Per aconseguir-ho s'estudia l'edifici i se'n calculen les necessitats tèrmiques a l'estiu i a l'hivern. Aquest càlcul permet conèixer la potència de refrigeració i de calefacció necessària. L'estudi d'aquestes potències revela que no totes les parts de l'edifici tenen el seu màxim a la mateixa hora. Per aquest motiu s'opta per una xarxa zonificada de climatització, per tenir en compte aquesta simultaneïtat. Es divideix l'edifici en una sèrie de zones tèrmiques que tindran necessitats diferents en diferents moments del dia. Al posar en marxa la instal·lació es climatitzen totes les zones, i a mesura que aquestes arriben al seu nivell de confort una sonda de temperatura ho detecta i en talla l'aire de climatització a través d'una comporta motoritzada comandada per un regulador de temperatura. D'aquesta manera aquest aire es pot destinar a una altre zona que ho necessiti més en aquest moment. Així s'aconsegueixen les mateixes prestacions amb menys potencia instal·lada i s'evita refredar o escalfar més del compte les zones que no ho necessiten evitant així el malestar dels usuaris.

Determinat el model de climatització i conegudes les necessitats tèrmiques es calculen els equips i les xarxes de distribució d'aire i aigua adequades. S'instal·len bombes de calor al terrat de l'edifici i climatitzadors a les plantes. Les bombes de calor són reversibles i per tant poden cobrir tant la funció de refrigeració com la de calefacció. Els climatitzadors actuen com a canviadors de calor entre dos fluids: aigua i aire. La bomba de calor refreda o escalfa l'aigua que s'envia al climatitzador a través d'una xarxa de canonades. Un cop arriba al climatitzador, l'aigua refreda o escalfa aire. L'aire climatitzat es distribueix als locals ocupats pels usuaris a través d'una xarxa de conductes.

Per dimensionar la xarxa de conductes d'aire s'ha realitzat un programa informàtic, en Visual Basic, basat en la normativa ASHRAE. El programa parteix de l'esquema de distribució de la xarxa i en calcula les dimensions dels conductes i la pèrdua de carrega resultant per tal que hi pugui circular el cabal d'aire desitjat a una velocitat acceptable.

La climatització zonificada permet la selecció d'uns equips i el traçat d'una xarxa de distribució més optimitzada i ajustada a les necessitats de l'edifici analitzat que no pas el model de climatització "habitual". Aquest basa tots els càlculs en els valors màxims sense tenir en compte la simultaneïtat i climatitza totes les zones encara que aquestes no ho necessitin.

Sumari

RESUM 1

SUMARI 3

1. INTRODUCCIÓ 5

1.1. Objectius del projecte 5
1.2. Dades de partida 5
1.3. Condicions externes 8

2. CÀLCUL DE NECESSITATS TÈRMIQUES 9

2.1. Fonts de calor 9
2.2. Instal·lació zonificada 10
2.3. Punt de confort 11
2.4. Estudi de l'edifici 11
2.5. Càlcul de necessitats 15
2.6. Resultats per les condicions d'estiu 15
2.6.1. Solució analítica 15
2.6.2. Solució gràfica 18
2.7. Resultats per les condicions d'hivern 23

3. CÀLCUL DEL PUNT DE TREBALL DEL CLIMATITZADOR 27

3.1. Model d'impulsió 27
3.2. Avantatges de la zonificació 32

4. CÀLCUL DE LA XARXA DE CONDUCTES D'AIRE 33

4.1. Descripció de la xarxa 33
4.2. Solució als problemes per una bona distribució de l'aire 34
4.3. Selecció de difusors 35
4.4. Selecció de les reixes de retorn 40
4.5. Càlcul de la xarxa de conductes 44

5. EQUIPS EXTERIORS 45

5.1. Selecció dels equips exteriors 45
5.2. Descripció i muntatge dels equips 47

6. EQUIPS INTERIORS 51

6.1. Descripció dels equips interiors 51
6.2. Càlcul de les bateries de fred/calor 52
6.2.1. Necessitats d'aigua 52
6.2.2. Càlcul de la superfície d'intercanvi tèrmic 53
6.3. Selecció de les caixes de ventilació 56
6.4. Selecció de la caixa del climatitzador 61
6.5. Descripció detallada de la caixa del climatitzador 62

7. XARXA DE CANONADES D'AIGUA ____ 65
7.1. Descripció del circuit hidràulic 65
7.2. Distribució de la xarxa de canonades 66
7.3. Càlcul de la xarxa de canonades 68
7.4. Càlcul del dipòsit d'inèrcia 69
7.5. Selecció del vas d'expansió 70
7.6. Selecció de la bomba 71

8. SISTEMES DE CONTROL ____ 72
8.1. Aire d'impulsió 72
8.2. Unitats exteriors 72
8.3. Unitats interiors 73

9. CONSIDERACIONS MEDIAMBIENTALS ____ 74

CONCLUSIONS ____ 75

AGRAÏMENTS ____ ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

BIBLIOGRAFIA ____ 77

1. Introducció

1.1. Objectius del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és el disseny de la instal·lació de climatització d'un edifici d'oficines de tal manera que s'aconsegueixi el màxim estalvi energètic sense perdre prestacions. Es vol una xarxa ajustada a les necessitats de l'edifici i que no estigui sobredimensionada.

Per aconseguir aquesta instal·lació s'han estudiat les característiques de l'edifici per tal de veure com se'n pot treure profit. S'ha observat que no totes les parts de l'edifici tenen el seu nivell màxim de necessitats tèrmiques a la mateixa hora. Aquest fet ha portat a dissenyar una xarxa de climatització zonificada. S'ha dividit l'edifici en zones tèrmiques. Al posar en marxa la instal·lació totes les zones començaran a climatitzar-se. Les que tinguin menor necessitat tèrmica arribaran abans al seu punt de confort. A aquestes zones se'ls hi tallarà el subministrament de potència, mitjançant comportes motoritzades instal·lades als conductes d'aire, a fi de destinar-la a zones on pugui ser mes útil.

Per calcular les dimensions dels conductes d'aire de forma precisa s'ha realitzat un programa informàtic en Visual Basic. El programa es basa en la normativa ASHRAE de càlcul de conductes i permet dimensionar de forma ràpida qualsevol xarxa de conductes segons una sèrie d'opcions definides per l'usuari.

1.2. Dades de partida

L'edifici estudiat en aquest projecte és un edifici d'oficines situat al Polígon Mas Blau, a prop de Barcelona. L'edifici esta orientat a l'oest. Consta de tres plantes d'uns 130 m^2 separades entre elles per 3,5 metres d'alçada. L'exterior de l'edifici esta recobert de finestres per tot el perímetre excepte a la part de l'ala nord on hi ha les escales d'emergència. La paret exterior consta de dues capes de maó de 12 centímetres l'exterior i 9 centímetres l'interior, separades per una cambra d'aire d'1 cm. Exteriorment l'edifici està pintat d'un color groc que tira a taronja. Al costat de la porta principal, a la façana oest, hi ha un gran pati interior. Un altre patí més petit esta situat darrera els ascensors, a la façana est.

Els pisos estan separats entre si per una llosa de formigó de 20 centímetres coberta per 3 centímetres de paviment. A 3 metres d'alçada es troba el falç sostre que deixa un espai de 50 centímetres fins arribar a la següent llosa de formigó (Figura 1.1). El sostre de la planta més alta el forma una capa de formigó de 26 centímetres cobert amb 5 centímetres de grava a la part exterior.

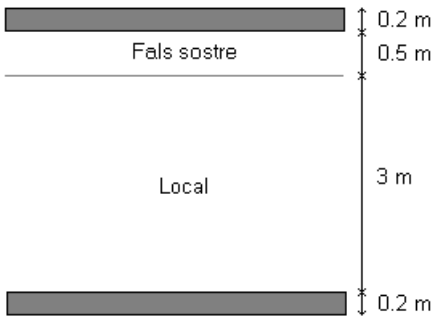


Figura 1.1 Detall de la secció vertical d'un pis

Les finestres de l'edifici són de vidre ordinari i fan 1,4 metres d'alçada. No tenen cap altra cobertura pel sol que un filtre de color per evitar l'enlluernament dels treballadors. A cada planta s'hi distingeixen dues ales separades per un vestíbul de pas on arriben els ascensors i les escales d'accés.

A l'ala nord de la planta baixa hi ha una gran zona de despatxos amb diverses seccions dividides per parets de pladur i un despatx de recepció i un arxiu separats de la resta per parets interiors de maó buit de 6 centímetres de gruix. A l'ala sud hi han la cuina i el restaurant de l'edifici amb capacitat per 176 persones repartides en 44 taules. El menjador té una paret de divisió entre la zona de no fumadors, amb 28 taules, i la de fumadors, amb 16 taules.

La primera planta és tota de despatxos. L'ala nord és una gran zona de despatxos separats amb pannells de pladur mòbils. A l'ala sud hi ha un gran vestíbul que dona accés a tres despatxos de direcció i tres sales de reunions. Tots els departaments estan separats per paret interior. Les sales de reunions estan dotades cada una d'elles amb un projector de transparències, un projector de diapositives i un ordenador. Aquestes sales tenen capacitat per 6, 12 i 20 persones.

A l'ala sud de la segona planta s'hi troben els despatxos dels alts directius, separats tots ells per paret interior. S'accedeix als despatxos per una gran sala d'espera que també dona accés a una terrassa. A l'ala nord hi ha una altra gran zona oberta de despatxos semblant a la de les plantes inferiors.

Les zones de despatxos estan ocupades per una quantitat variable de treballadors i treballadores. Cadascun d'ells disposa d'un escriptori i un ordenador per fer la seva feina. A cada planta hi ha també una màquina de cafè i un dipòsit d'aigua per satisfer les necessitats dels usuaris.

La Taula 1.1 recull els coeficients de transmissió tèrmica considerats per cada tipus de tancament:

Tancament	**Coeficient de transmissió (W / K·m^2)**
Paret exterior	1,699
Paret interior	1,868
Separació entre pisos	1,315
Terrat	1,081
Vidre ordinari	5,76

Taula 1.1 Coeficients de transmissió tèrmica dels tancaments

1.3. Condicions externes

Les condicions exteriors són les corresponents a l'àrea de Barcelona. Els valors utilitzats són els que marca el reglament RITE corresponents a l'observatori de l'aeroport del Prat.

Temperatura màxima	31ºC
Temperatura mínima	2ºC
Variació diària de temperatura	8ºC
Humitat relativa	68%

Taula 1.2 Condicions atmosfèriques exteriors

2. Càlcul de necessitats tèrmiques

2.1. Fonts de calor

Per poder calcular el sistema de climatització de l'edifici, el primer que cal saber són les seves necessitats tèrmiques. Això és la suma de l'energia alliberada pel conjunt de fonts de calor que s'engloben dins i fora de l'edifici. Aquestes fonts de calor tenen orígens diversos:

1. Calor de radiació: És l'energia en forma de calor que desprenen tots els cossos que envolten l'edifici i que aquest absorbeix. Només es te en compte la calor radiada pel sol per ser molt més gran que la de tots els altres cossos. Aquesta calor entra per les finestres de l'edifici a raó del coeficient de transmissió dels vidres.

2. Calor de conducció: La conducció és el mecanisme mitjançant el qual els cossos sòlids intercanvien calor. La 1ª Llei de Fourier estableix que el flux de calor en regim permanent és proporcional al gradient de la temperatura a raó d'una constant de proporcionalitat anomenada conductivitat tèrmica. En el cas de l'edifici la calor de conducció representa la calor que aquest intercanvia amb l'exterior a través de les parets.

3. Calor de ventilació: L'aire de climatització s'ha de renovar per no viciar l'ambient. Per fer la renovació s'agafa aire del carrer, no climatitzat, i es fa passar pel climatitzador. Aquest aire és molt més calent (a l'estiu) o molt més fred (a l'hivern) que el del local. L'energia que s'ha d'extreure o aportar a l'aire de ventilació per deixar-lo en les condicions de disseny és la calor de ventilació.

4. Calor interior: Es compon de la calor alliberada per les persones, les carregues d'il·luminació i les màquines presents al local. Tots aquests cossos alliberen o absorbeixen calor a l'ambient pel fet de tenir una temperatura més elevada que aquest.

La calor interna es considerarà constant durant tot el dia ja que s'està fent el càlcul de necessitats màximes, això si, es tindran en compte coeficients de simultaneïtat. La resta de fonts de calor varien a mesura que el dia avança. La radiació varia segons la hora del dia ja que depèn de la posició del sol. La conducció depèn del grau de rescalfament de les parets i per tant està molt correlacionada amb la radiació. Durant el dia el sol escalfa les parets i un cop calentes aquestes transmeten l'energia al local amb un cert desfasament degut a la inèrcia tèrmica del maó. La calor de ventilació depèn del grau de rescalfament de l'aire ambient i per tant també esta vinculada amb la radiació.

2.2. Instal·lació zonificada

Les càrregues tèrmiques són variables en el transcurs del dia a causa principalment del moviment del sol. L'edifici té les quatre parets exteriors orientades a les quatre direccions cardinals. Combinant ambdós fets es pot aprofitar la situació per dissenyar un sistema de climatització amb menys cost energètic del que resultaria si no s'aprofités. Es tractaria de climatitzar les zones on hi hagués necessitat enlloc de tot l'edifici.

Aquest sistema de climatització zonificada comporta tres avantatges importants respecte la climatització convencional:

- Reducció del consum energètic
- Augment del confort dels usuaris
- Els equips poden ser més petits

El consum es redueix perquè no es malgasta la potència climatitzant zones que no ho necessiten. Ja siguin aquestes locals que ja han arribat al seu punt de confort o locals que estan desocupats. Si es segueix enviant potència a locals que ja no ho necessiten es produeix el contrasentit més gran de la climatització convencional: la inestabilitat tèrmica. És a dir els locals estan excessivament freds a l'estiu o excessivament calents a l'estiu, però mai no estan al punt de confort de l'usuari.

Amb la instal·lació zonificada es divideix l'edifici en zones tèrmiques diferenciades: locals. El sistema actua de la mateixa manera que la instal·lació convencional quan comença a funcionar, és a dir partint l'edifici sense estar climatitzat. Però a diferència d'aquest un cop un local ha arribat al seu punt de confort es deixa de climatitzar. I la potència que es destinava a aquest local es pot enviar a un altre local on sigui més necessària. Això permet utilitzar una màquina més petita per arribar al mateix punt de confort i evita que els locals arribin al punt de confort durant l'hora de màximes necessitats tèrmiques però estiguin excessivament freds o calents la resta del dia.

2.3. Punt de confort

L'objectiu d'una bona climatització és aconseguir unes condicions ambientals adequades per tal de que l'usuari si trobi tant bé que s'oblidi de pensar en la temperatura. Un bon criteri de disseny per les condicions d'estiu és climatitzar el local a 25ºC i 50% d'humitat. Així s'aconsegueix un ambient confortable per tal que l'usuari pugui anar vestit amb roba lleugera. A l'hivern els usuaris van més abrigats i aquestes condicions es rebaixen a 21ºC i de 40% a 50 % d'humitat per tal que no tinguin calor.

Estació	Temperatura Interior	Humitat relativa
Estiu	25ºC	50 %
Hivern	21ºC	40 %

Taula 2.1 Condicions de disseny

En el cas del restaurant s'ha adoptat un altre punt de treball per l'estiu: 24ºC 55%. Això es deu a que és un local amb una gran càrrega de calor latent i és difícil que algun climatitzador estàndard, del existents al mercat, pugui climatitzar el local a 25ºC 50%.

2.4. Estudi de l'edifici

A les primeres hores del matí el sol incideix sobre la paret est escalfant aquesta part de l'edifici. Cap el migdia el sol escalfa la paret sud. A les hores de la tarda el sol afecta principalment a la paret oest. Per aprofitar aquest fenomen s'ha dividit cada una de les ales de l'edifici en una sèrie de locals tèrmics. A les plantes on hi ha despatxos definits per parets mitjaneres, s'han definit les zones tèrmiques com els propis despatxos. En canvi a les plantes on hi ha grans zones obertes s'han definit les zones tèrmiques de la forma més adient per neutralitzar l'augment de radiació deguda al moviment del sol. En el cas de la planta menjador s'ha exclòs la cuina ja que aquesta no s'ha climatitzat. Les zones definides es poden veure a les següents figures.

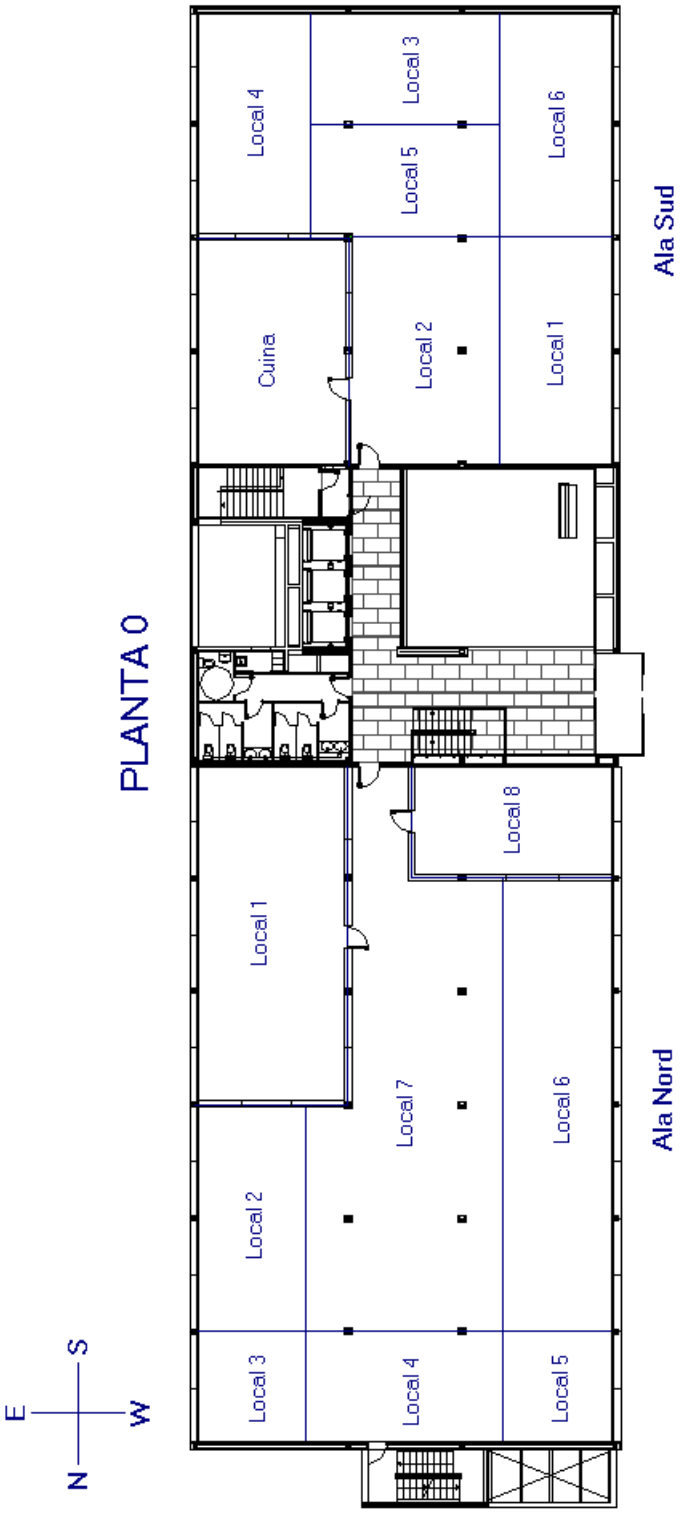


Figura 2.1 Locals definits per la planta 0

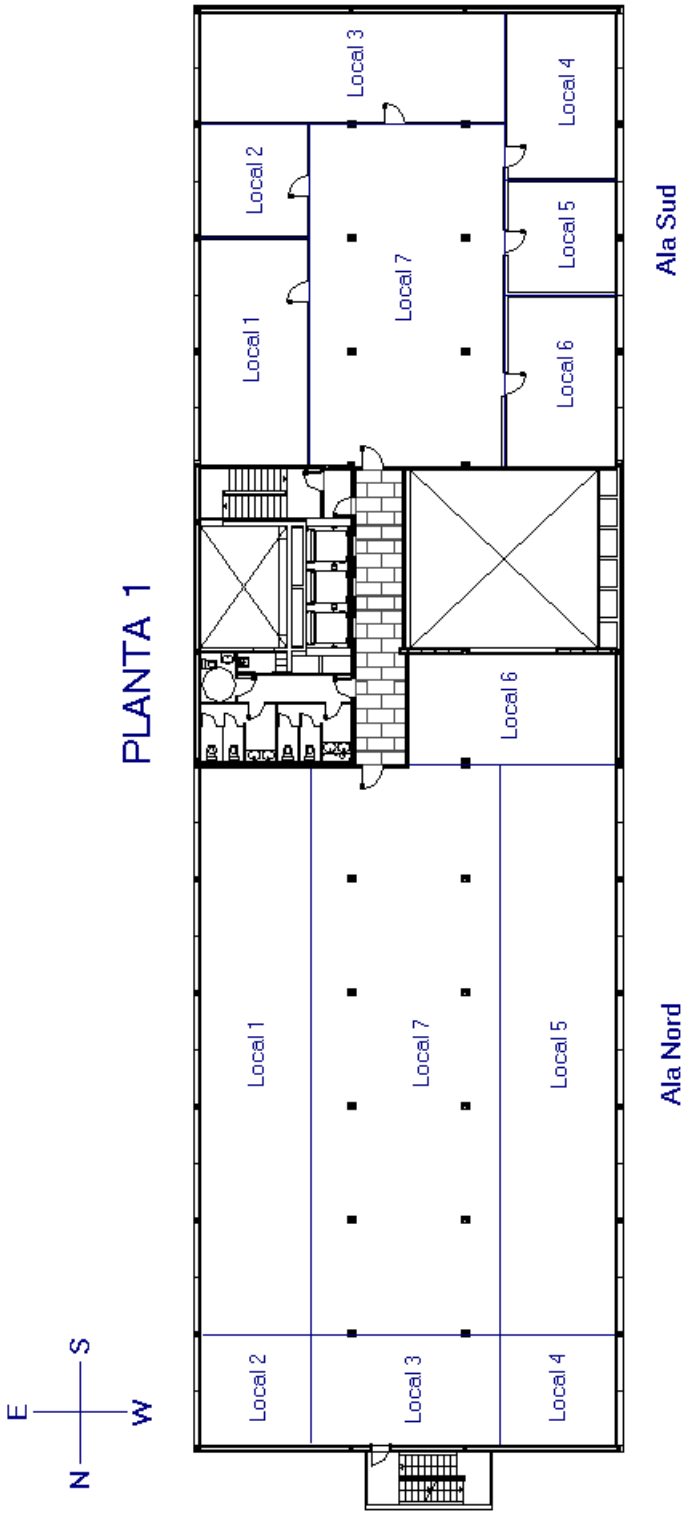


Figura 2.2 Locals definits per la planta 1

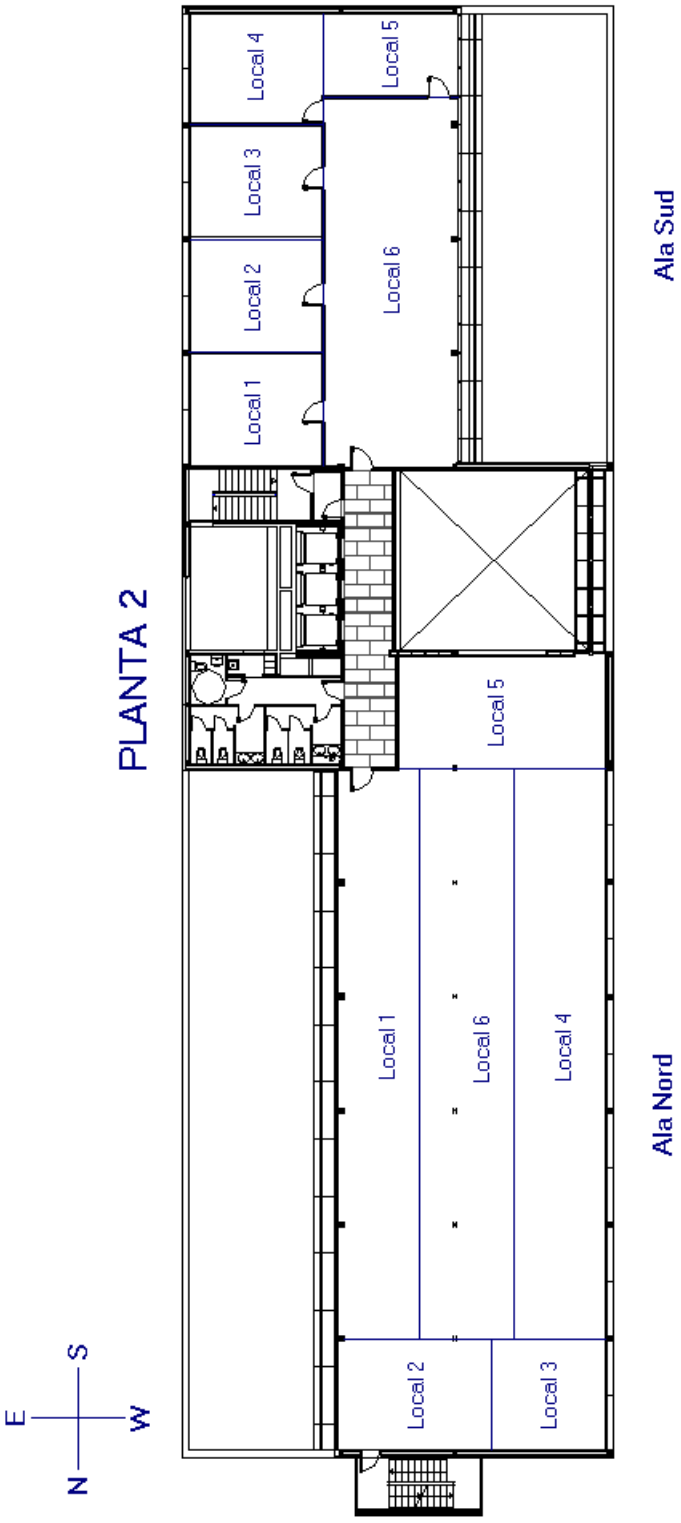


Figura 2.3 locals definits per la planta 2

2.5. Càlcul de necessitats

Per realitzar el càlcul de necessitats tèrmiques s'ha utilitzat el programa *"Necesidades Térmicas"* de la UPC. Aquest programa realitza el càlcul de tots els tipus de calor esmentats per cada hora del dia, i busca el dia més desfavorable de tot l'any o d'un més concret. S'ha realitzat el càlcul pel pitjor dia d'estiu i d'hivern. Per operar el programa necessita la traducció del local en dades geomètriques i numèriques.

Els càlculs corresponents a tots els locals de l'edifici es troben desglossats i detallats a l'annex de càlculs.

2.6. Resultats per les condicions d'estiu

2.6.1. Solució analítica

El càlcul de l'edifici en condicions d'estiu consisteix en determinar la quantitat de calor que s'haurà d'aportar a cada local en els mesos càlids de l'any. Aquest subministrament de calor és el que ha de contrarestar l'entrada de calor que entra per conducció de les parets i finestres, per radiació solar i la generada pels propis ocupants de l'edifici.

Els càlculs corresponen a les condicions de disseny per estiu indicades a la Taula 2.1 (25ºC, 50%) i a una temperatura exterior de 31ºC amb una variació diària de 8ºC i una humitat del 68%. La Taula 2.2 mostra els resultats obtinguts pel conjunt global de cada planta i de tot l'edifici considerant un coeficient de simultaneïtat per tancaments interiors del 20 %.

Càlcul de necessitats de cada planta (Estiu)		
Planta	**Dia**	**Total (kW)**
Planta 0 – Ala Nord	16h. (24/8)	76,4
Planta 0 – Ala Sud	15h. (22/9)	118,5
Planta 1 – Ala Nord	16h. (24/8)	88,9
Planta 1 – Ala Sud	15h. (22/9)	64,7

Planta 2 – Ala Nord	16h. (24/8)	76,1
Planta 2 – Ala Sud	15h. (22/9)	45,1
Edifici Global	16h. (24/8)	436,0

Taula 2.2 Càlcul de necessitats de cada planta a l'estiu

A la Taula 2.3 s'hi recull el conjunt de valors màxims de necessitats calculats per cada local. Amb aquests valors s'ha calculat el màxim necessari per cada planta.

Planta	Local	Dia	Max (W)	Total (kW)
Planta 0 – Ala Nord	Local 1	8h. (24/8)	14947	94,9
	Local 2	8h. (24/8)	11167	
	Local 3	8h. (24/8)	4893	
	Local 4	15h. (21/6)	3948	
	Local 5	16h. (24/8)	6173	
	Local 6	16h. (24/8)	27767	
	Local 7	15h. (21/6)	17690	
	Local 8	16h. (24/8)	8278	
Planta 0 – Ala Sud	Local 1	16h. (24/8)	25174	123,6
	Local 2	15h. (21/6)	18415	
	Local 3	14h. (22/9)	22663	
	Local 4	14h. (22/9)	21133	
	Local 5	15h. (21/6)	9206	
	Local 6	15h. (22/9)	27000	

Planta 1 – Ala nord	Local 1	8h. (24/8)	25803	106,9
	Local 2	8h. (24/8)	4893	
	Local 3	15h. (21/6)	4547	
	Local 4	16h. (24/8)	6173	
	Local 5	16h. (24/8)	32625	
	Local 6	16h. (24/8)	8721	
	Local 7	15h. (21/6)	24154	
Planta 1 – Ala Sud	Local 1	9h. (24/8)	9256	74,1
	Local 2	8h. (24/8)	5486	
	Local 3	13h. (22/9)	22427	
	Local 4	15h. (22/9)	12549	
	Local 5	16h. (24/8)	6818	
	Local 6	16h. (24/8)	10862	
	Local 7	15h. (21/6)	6727	
Planta 2 – Ala Nord	Local 1	8h. (24/8)	20184	85,3
	Local 2	8h. (24/8)	5549	
	Local 3	16h. (24/8)	6551	
	Local 4	16h. (24/8)	32218	
	Local 5	16h. (24/8)	9582	
	Local 6	16h. (21/6)	11223	
Planta 2 - Ala Sud	Local 1	8h. (24/8)	5567	53,8
	Local 2	8h. (24/8)	5567	
	Local 3	8h. (24/8)	5567	

	Local 4	10h. (22/9)	8246	
	Local 5	14h. (22/9)	8050	
	Local 6	16h. (24/8)	20825	
				538.6

Taula 2.3 Càlcul de necessitats tèrmiques per locals a l'estiu

La climatització convencional necessitaria instal·lar 540 kW per aconseguir la temperatura de disseny desitjada. Per fer-ho enviaria aquesta potència indistintament a tots els locals de l'edifici. En canvi amb la instal·lació zonificada n'hi ha prou amb 436 kW per aconseguir la mateixa temperatura de disseny. La diferència radica en que envia la potència a les zones on és més útil.

2.6.2. Solució gràfica

A continuació es mostren gràfics amb la variació de les necessitats tèrmiques diàries per el pitjor dia de l'any de cadascun dels locals de l'edifici. En ells apareixen desglossades les diferents formes de calor esmentades: radiació, interna, conducció i ventilació.

Es pot observar clarament l'efecte de la calor de radiació sobre l'edifici en el transcurs del dia. Afecta als locals de la banda est durant les primeres hores del matí, i es va desplaçant cap als locals de la banda oest a mesura que el dia avança. La calor de conducció està estretament lligada a la de radiació. Es pot apreciar la correlació: un cop les parets s'han escalfat per efecte de la radiació, aquestes comencen a conduir calor cap a l'interior del local. El mateix passa amb l'aire de ventilació, que està més calent a mesura que el dia avança i la temperatura exterior puja. En canvi la calor interna només és significativa a efectes del càlcul del màxim, ja que el programa de càlcul la considera constant per totes les hores del dia i per tant no hi ha variació.

Amb aquests gràfics es pot percebre clarament la necessitat de la zonificació. Aquest model de climatització ve justificat principalment per la notable variació de la calor de radiació durant el dia. Es destina la potència del climatitzador a les zones on aquesta sigui més necessària mentre les altres zones ja es trobin al punt de confort.

Els gràfics de cada planta tenen tots el mateix fons d'escala per veure més clarament la variació de calor entre locals.

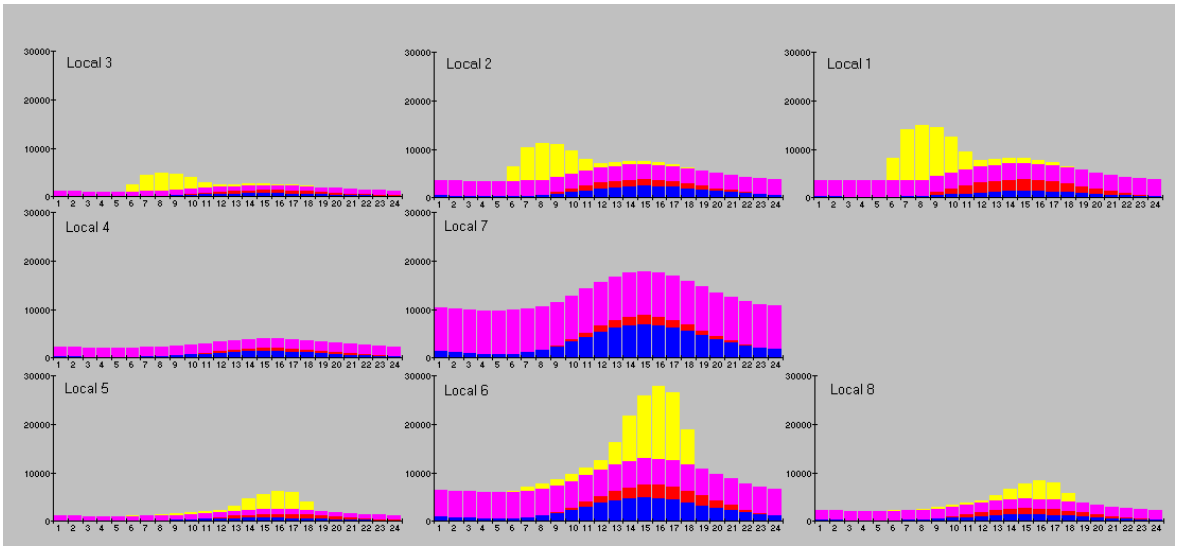


Figura 2.4 Solució gràfica locals Planta 0 - Ala Nord

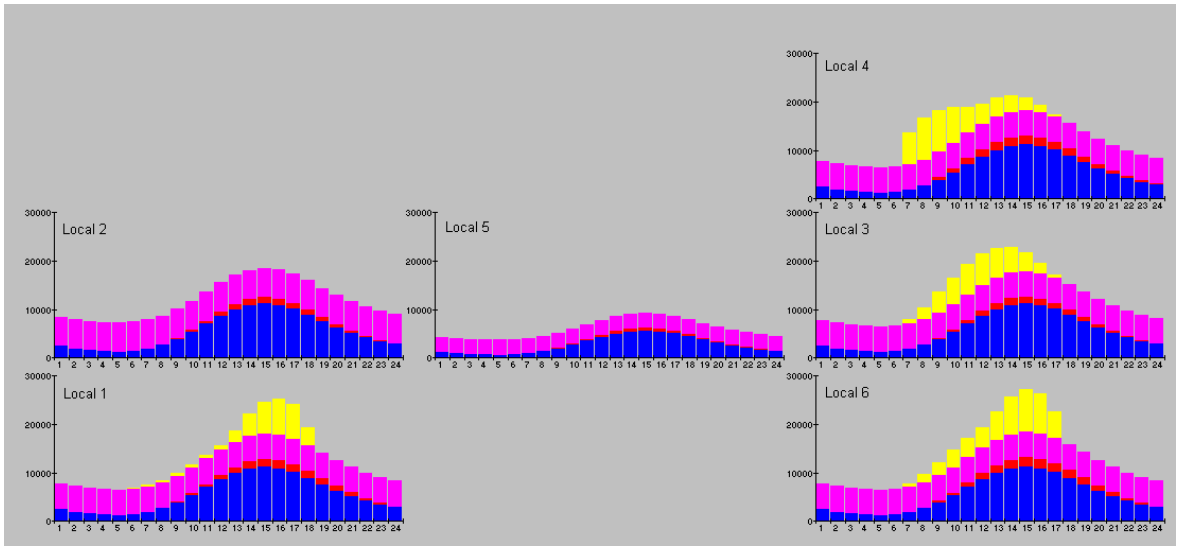


Figura 2.5 Solució gràfica locals Planta 0 - Ala Sud

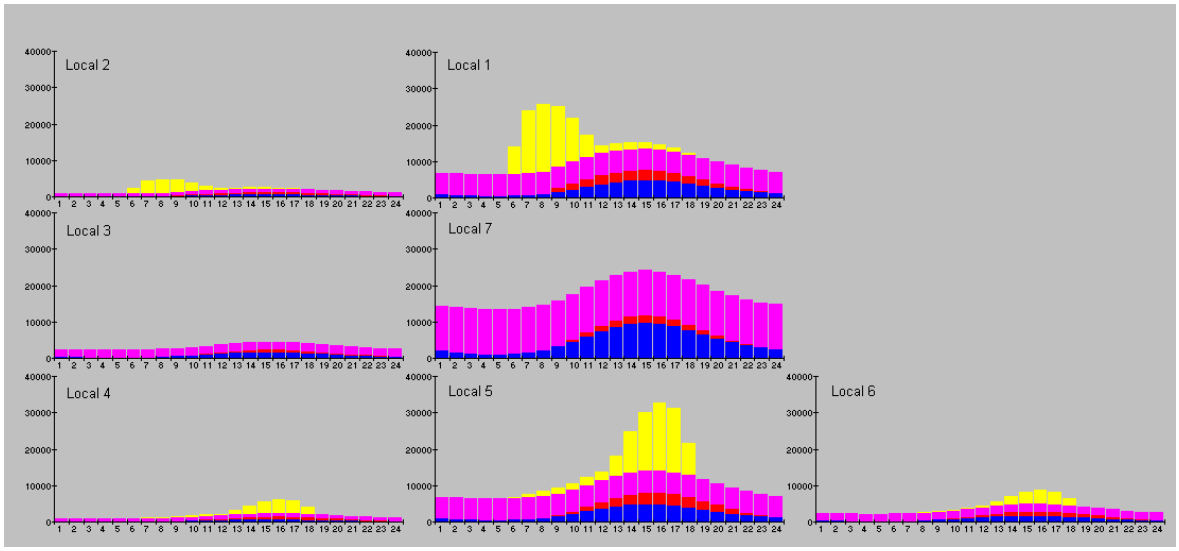


Figura 2.6 Solució gràfica locals Planta 1 - Ala Nord

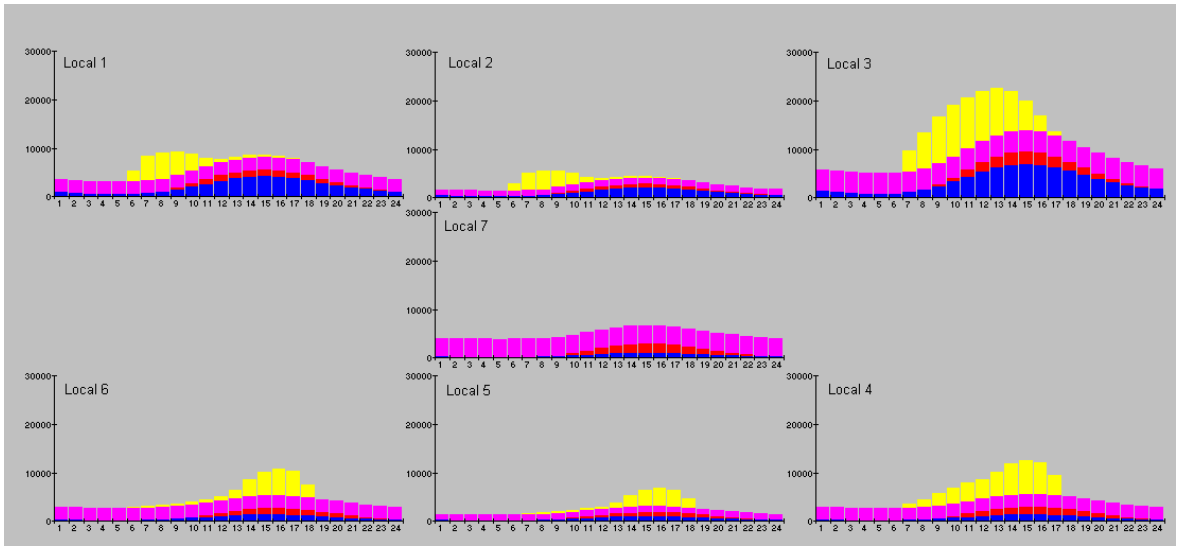


Figura 2.7 Solució gràfica locals Planta 1 - Ala Sud

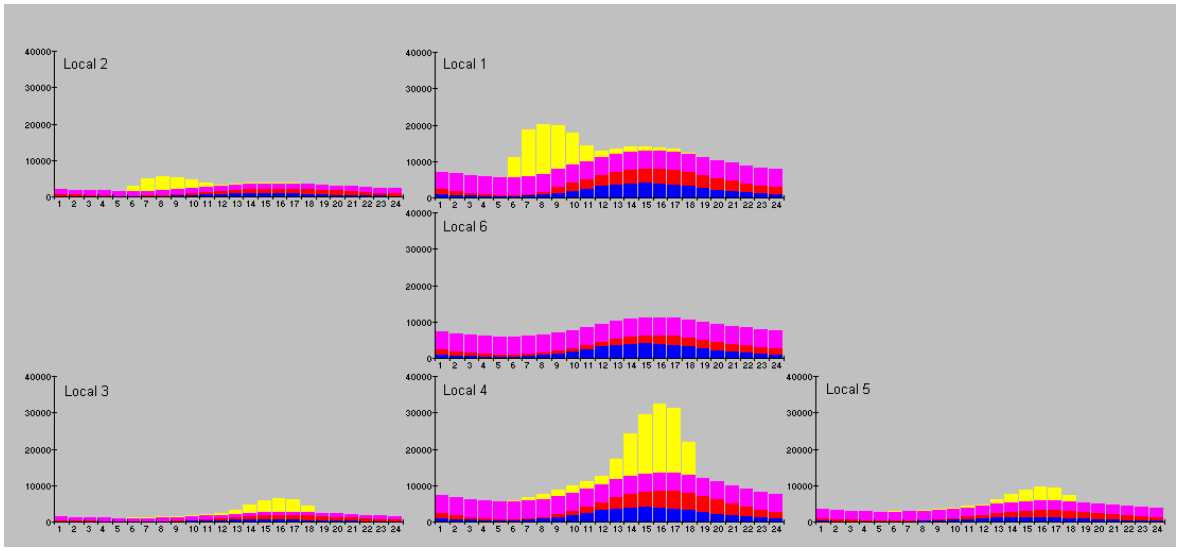


Figura 2.8 Solució gràfica locals Planta 2 - Ala Nord

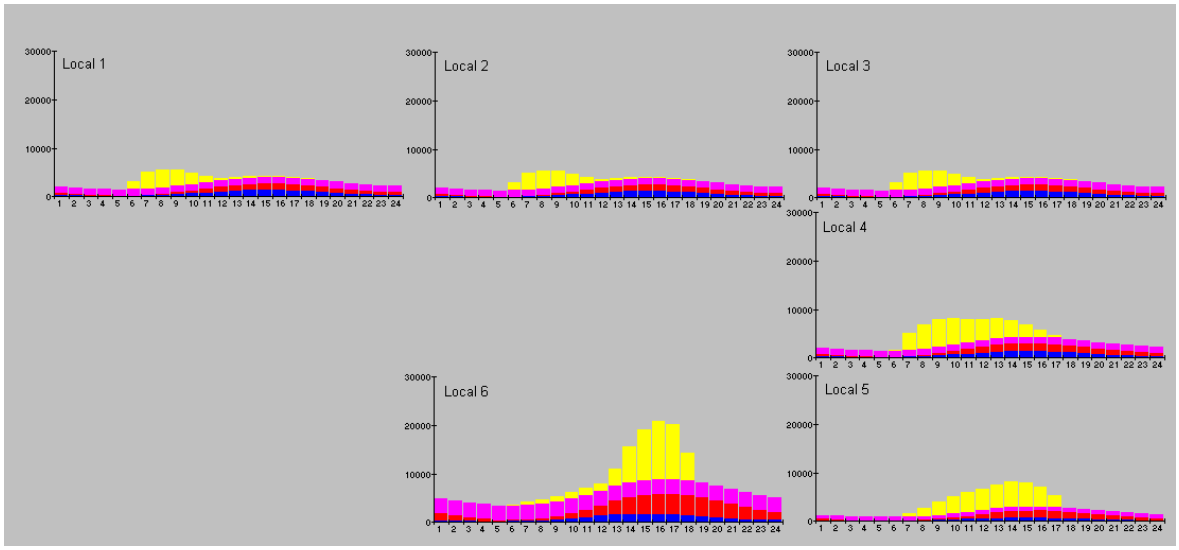
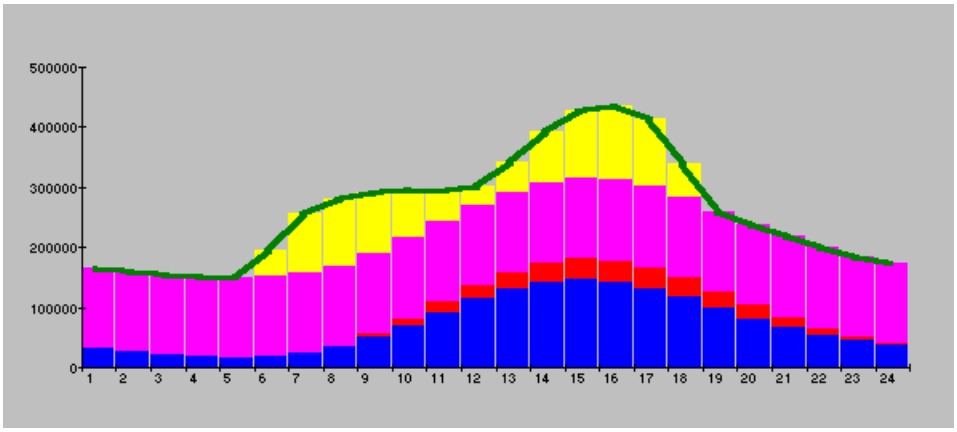


Figura 2.9 Solució gràfica locals Planta 2 - Ala Sud

Figura 2.10 Necessitats tèrmiques edifici amb simultaneïtat



La Figura 2.10 mostra la variació diària de la càrrega de tot l'edifici. S'hi poden observar clarament els dos pics de calor provocats pel sol: al mati a la paret est i a la tarda a la paret oest.

2.7. Resultats per les condicions d'hivern

El càlcul de l'edifici en condicions d'hivern consisteix en determinar la quantitat de calor que s'haurà d'aportar a cada local en els mesos freds de l'any. Aquest subministrament de calor ha de contrarestar la calor que es perd, per conducció de les parets i finestres cap a l'exterior, a causa de la diferencia de temperatures o per filtracions.

Els càlculs corresponen a les condicions de disseny per hivern indicades a la Taula 2.1 (21ºC, 40%) i a una temperatura exterior de 2ºC. La Taula 2.4 mostra els resultats obtinguts pel conjunt global de cada planta i de tot l'edifici considerant un coeficient de simultaneïtat per tancaments interiors del 20 %.

Càlcul de necessitats de cada planta (Hivern)	
Planta	**Total (kW)**
Planta 0 – Ala Nord	53,1

Planta 0 – Ala Sud	71,6
Planta 1 – Ala Nord	55,9
Planta 1 – Ala Sud	47,2
Planta 2 – Ala Nord	44,6
Planta 2 – Ala Sud	32,3
Edifici Global	279,8

Taula 2.4 Càlcul de necessitats de cada planta a l'hivern

A la Taula 2.5 s'hi recull el conjunt de valors màxims de necessitats calculats per cada local. Amb aquests valors s'ha calculat el màxim necessari per cada planta.

Planta	Local	Carrega Total (W)	Total (kW)
Planta 0 – Ala Nord	Local 1	9084	53,1
	Local 2	6501	
	Local 3	2898	
	Local 4	3532	
	Local 5	2898	
	Local 6	11369	
	Local 7	11710	
	Local 8	5065	
Planta 0 – Ala Sud	Local 1	13125	71,7
	Local 2	12789	

	Local 3	12295	
	Local 4	13722	
	Local 5	6000	
	Local 6	13722	
Planta 1 – Ala nord	Local 1	13191	56,0
	Local 2	2898	
	Local 3	3803	
	Local 4	2898	
	Local 5	13191	
	Local 6	5229	
	Local 7	14767	
Planta 1 – Ala Sud	Local 1	8066	47,3
	Local 2	4327	
	Local 3	13183	
	Local 4	5683	
	Local 5	3330	
	Local 6	5086	
	Local 7	7578	
Planta 2 – Ala Nord	Local 1	12673	44,6
	Local 2	3970	
	Local 3	3121	
	Local 4	12555	
	Local 5	5403	

	Local 6	6895	
Planta 2 - Ala Sud	Local 1	4309	32,3
	Local 2	4309	
	Local 3	4309	
	Local 4	5079	
	Local 5	4034	
	Local 6	10271	
Suma dels totals			305

Taula 2.5 Càlcul de necessitats tèrmiques per locals a l'hivern

3. Càlcul del punt de treball del climatitzador

Conegudes les necessitats tèrmiques ja es poden escollir els equips frigorífics. La instal·lació estarà constituïda per dues bombes de calor exteriors, sis climatitzadors interiors, una xarxa de canonades d'aigua, que connectarà els equips interiors amb els exteriors, i una xarxa de conductes de distribució d'aire.

Els climatitzadors refreden o escalfen aire que s'utilitzarà per donar al local el confort desitjat. Per fer-ho utilitzen aigua freda o calenta subministrada per la màquina exterior.

3.1. Model d'impulsió

Per aconseguir que cada local es mantingui a les condicions de confort que s'han marcat (25ºC, 50% estiu i 21ºC, 40% hivern) cal calcular quin cabal d'aire s'hi ha d'impulsar i a quina temperatura i humitat per tal de contrarestar les necessitats tèrmiques del local.

L'aire de ventilació es mescla amb l'aire que retorna del local abans de fer-lo passar a través del climatitzador per tal d'aprofitar l'entalpia que li quedi. A la Figura 3.1 es mostra l'esquema d'aquest disseny.

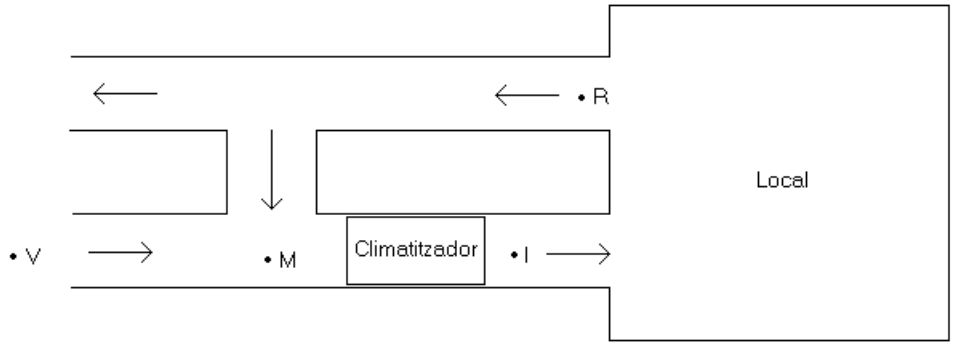


Figura 3.1 Esquema de renovació de l'aire

El punt de ventilació (V) correspon a les condicions exteriors: 31ºC, 68% a l'estiu i 2ºC a l'hivern. El punt R és el de l'aire de retorn que es troba en les condicions de disseny desitjades. Els punts d'impulsió (I) i mescla (M) es determinen a partir del diagrama

psicromètric coneixent els factors de calor sensible interior i total, i fixant que a la impulsió es desitja un 90% d'humitat.

A la Figura 3.2 es mostren els punts de treball del cimatitzador de l'ala nord de la planta 0.

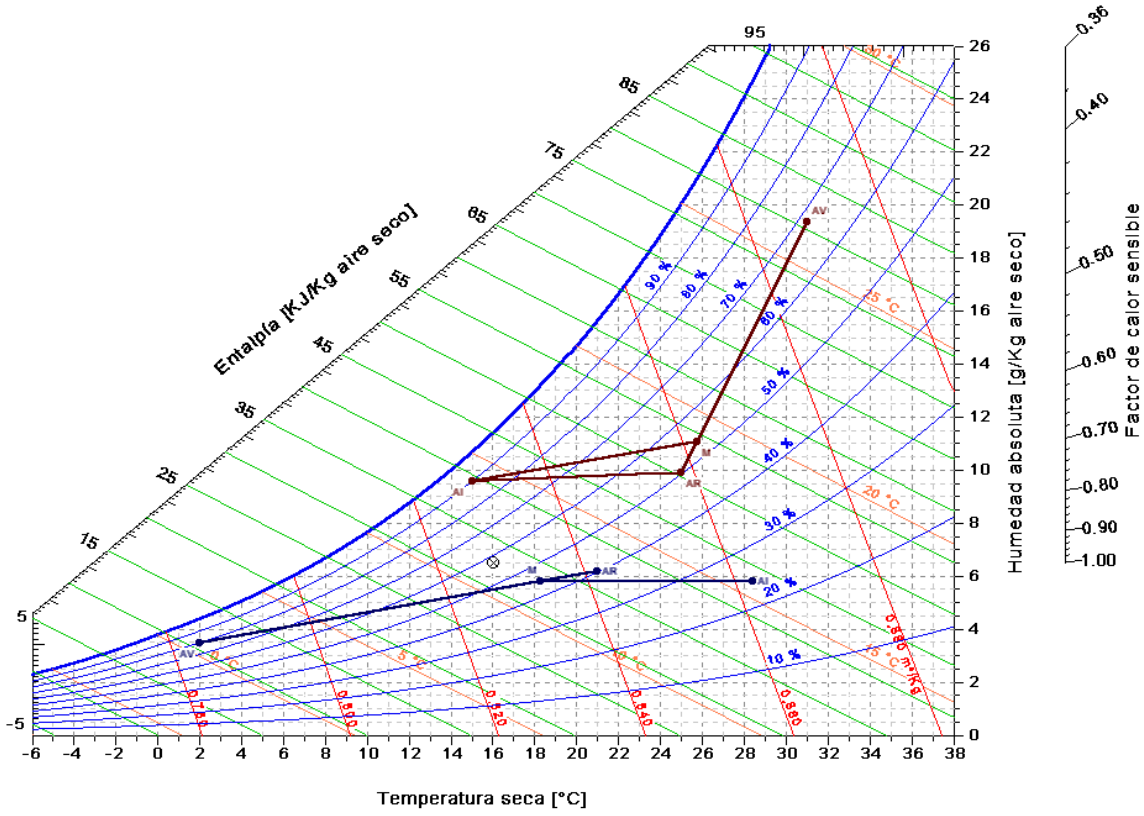


Figura 3.2 Diagrama psicromètric Planta 0 - Ala Nord

Els punts de treball de la resta de climatitzadors són molt semblants. A la Taula 3.1 s'en mostren els resultats analítics.

Càlcul del climatitzador per plantes								
		Refrigeració				Calefacció		
Planta	Q_{imp} (m^3/h)	T_M (ºC)	HR_M (%)	T_I (ºC)	HR_I (%)	T_{ent} (ºC)	HR_{ent} (%)	T_{sort} (ºC)
Planta 0 – Ala Nord	15548	25,7	53,4	15,0	90	18,2	44,5	28,4
Planta 0 – Ala Sud	13733	27,0	63,2	14,4	90	11,4	57,6	26,3
Planta 1 – Ala Nord	17740	25,8	53,6	15,0	90	18,0	44,9	27,4
Planta 1 – Ala Sud	12675	25,8	53,8	15,0	90	17,9	45,1	29,0
Planta 2 – Ala Nord	17196	25,5	52,5	15,2	90	19,0	43,2	26,7
Planta 2 – Ala Sud	10656	25,4	52,1	15,2	90	19,4	42,6	28,5

Taula 3.1 Punts de treball dels climatitzadors

Operant de la mateixa manera es calculen els cabals d'impulsió necessaris per cadascun dels locals en que s'ha dividit les plantes.

Càlcul del cabal d'impulsió a cada local								
		Refrigeració				Calefacció		
Local	Q_{imp} (m^3/h)	T_M (ºC)	HR_M (%)	T_I (ºC)	HR_I (%)	T_{ent} (ºC)	HR_{ent} (%)	T_{sort} (ºC)
Planta 0 – Ala Nord – Local 1	4585	25,2	50,9	15,4	90	20,4	40	26,3
Planta 0 – Ala Nord – Local 2	3161	25,5	52,2	15,2	90	19,4	40	25,4

Planta 0 – Ala Nord – Local 3	1446	25,3	51,4	15,3	90	20,0	40	25,9
Planta 0 – Ala Nord – Local 4	699	26,2	55,4	14,8	90	16,9	40	31,5
Planta 0 – Ala Nord – Local 5	1726	25,2	51,2	15,4	90	20,1	40	25,1
Planta 0 – Ala Nord – Local 6	6882	25,4	52	15,2	90	19,5	40	24,3
Planta 0 – Ala Nord – Local 7	2702	26,6	56,8	14,5	90	15,7	40	27,9
Planta 0 – Ala Nord – Local 8	2069	25,4	51,9	15,2	90	19,6	40	26,8
Planta 0 – Ala Sud – Local 1	4198	25,9	60,7	15,1	90	15,5	40	24,2
Planta 0 – Ala Sud – Local 2	1473	29,4	66,8	13,1	90	5,9	40	28,8
Planta 0 – Ala Sud – Local 3	3252	26,4	62	14,8	90	13,9	40	24,3
Planta 0 – Ala Sud – Local 4	1718	28,6	65,9	13,5	90	8,0	40	29,5
Planta 0 – Ala Sud – Local 5	742	29,4	66,7	13,1	90	6,0	40	27,7
Planta 0 – Ala Sud – Local 6	3448	26,3	61,7	14,9	90	14,3	40	24,8
Planta 1 – Ala Nord – Local 1	7356	25,4	51,9	15,2	90	19,6	40	24,9
Planta 1 – Ala Nord – Local 2	1446	25,3	51,4	15,3	90	20,0	40	25,9
Planta 1 – Ala Nord – Local 3	736	26,4	56,3	14,6	90	16,1	40	30,9
Planta 1 – Ala Nord – Local 4	1726	25,2	51,2	15,4	90	20,1	40	25,1
Planta 1 – Ala Nord – Local 5	8540	25,3	51,6	15,3	90	19,8	40	24,3
Planta 1 – Ala Nord – Local 6	2102	25,5	52,4	15,2	90	19,3	40	26,6
Planta 1 – Ala Nord – Local 7	3630	26,6	57,0	14,5	90	15,4	40	26,9
Planta 1 – Ala Sud – Local 1	2134	26,2	55,3	14,8	90	16,6	40	27,8
Planta 1 – Ala Sud – Local 2	1391	25,9	54,1	14,9	90	17,9	40	26,8
Planta 1 – Ala Sud – Local 3	4529	25,9	54,2	14,9	90	17,8	40	26,2
Planta 1 – Ala Sud – Local 4	3502	25,2	51,2	15,4	90	20,2	40	25,0

Planta 1 – Ala Sud – Local 5	1777	25,4	51,7	15,3	90	19,8	40	25,3
Planta 1 – Ala Sud – Local 6	2910	25,3	51,4	15,3	90	20,0	40	25,2
Planta 1 – Ala Sud – Local 7	1656	25,4	51,8	15,1	90	19,7	40	33,4
Planta 2 – Ala Nord – Local 1	5730	25,4	52,1	15,2	90	19,5	40	26,0
Planta 2 – Ala Nord – Local 2	1582	25,4	51,9	15,2	90	19,6	40	27,0
Planta 2 – Ala Nord – Local 3	1844	25,2	51,1	15,4	90	20,2	40	25,2
Planta 2 – Ala Nord – Local 4	8619	25,3	51,4	15,3	90	20,0	40	24,3
Planta 2 – Ala Nord – Local 5	2457	25,3	51,6	15,2	90	19,8	40	26,3
Planta 2 – Ala Nord – Local 6	1879	26,3	55,9	14,6	90	16,4	40	26,8
Planta 2 – Ala Sud – Local 1	1564	25,5	52,5	15,2	90	19,1	40	27,2
Planta 2 – Ala Sud – Local 2	1564	25,5	52,5	15,2	90	19,1	40	27,2
Planta 2 – Ala Sud – Local 3	1564	25,5	52,5	15,2	90	19,1	40	27,2
Planta 2 – Ala Sud – Local 4	2322	25,4	51,7	15,3	90	19,7	40	26,2
Planta 2 – Ala Sud – Local 5	2314	25,2	50,9	15,4	90	20,4	40	25,6
Planta 2 – Ala Sud – Local 6	6004	25,2	50,8	15,4	90	20,4	40	25,5

Taula 3.2 Cabals d'impulsió de cada local

3.2. Avantatges de la zonificació

Observant els resultats obtinguts es pot comprovar que el cabal total que cada climatitzador ha d'impulsar a cada planta tenint en compte la simultaneïtat és molt inferior al resultant de sumar el cabal necessari de tots els locals de la planta.

Planta	Cabal necessari amb simultaneïtat (m^3/h)	Suma del cabal de tots els locals (m^3/h)
Planta 0 – Ala Nord	15548	23270
Planta 0 – Ala Sud	13733	14831
Planta 1 – Ala Nord	17740	25536
Planta 1 – Ala Sud	12675	17899
Planta 2 – Ala Nord	17196	22111
Planta 2 – Ala Sud	10656	15332

Taula 3.3 Comparació entre cabal amb simultaneïtat i el cabal total teòric

Els cabals més petits corresponen als que ha de subministrar el climatitzador de cadascuna de les plantes de la instal·lació zonificada. Els més grans són el que hauria de subministrar si no s'estigues zonificant la instal·lació.

Com s'ha demostrat amb el càlcul de necessitats tèrmiques, cada local té la seva punta de necessitats en hores diferents del dia. Per tant es pot instal·lar un climatitzador més petit del que caldria si no es tingués en compte aquest fet. Això es tradueix directament en un estalvi d'energia consumida per la màquina.

A part de necessitar un climatitzador més petit, la instal·lació amb zonificació també permet que els conductes d'aire de les branques comunes puguin ser més petits com es veurà en el capítol de càlcul de conductes.

4. Càlcul de la xarxa de conductes d'aire

4.1. Descripció de la xarxa

La xarxa de conductes consta de dues parts diferenciades: La xarxa d'impulsió i els conductes de retorn. La primera és la xarxa que reparteix l'aire que surt del climatitzador a 15ºC per totes les zones ocupades. La xarxa de retorn s'encarrega de recollir l'aire viciat del local per tal de renovar-lo.

La impulsió es realitzarà per conductes situats al falç sostre. El retorn es farà amb falses columnes situades a la part de la sala més propera a la porta d'entrada. A les plantes on hi ha despatxos tancats es col·locaran reixes de retorn a les portes dels despatxos per tal que l'aire viciat pugui sortir, per diferencia de pressions, empès per l'aire d'impulsió.

Part de l'aire de retorn es barreja amb l'aire nou que prové del carrer a fi d'aprofitar-ne l'entalpia. L'aire de retorn es troba en les condicions de disseny (24ºC, 50%). Per tant la diferència de temperatura fins a les condicions d'impulsió (15ºC, 90%) és més petita que per l'aire que prové del carrer (31ºC, 68%). Utilitzant l'aire de retorn el climatitzador ha de refredar menys amb el conseqüent estalvi energètic.

Per no tenir pèrdues de calor als conductes, i mantenir així les temperatures d'impulsió i de retorn, aquests es construiran amb CLIMAVER PLUS. Aquest material aïllant està format per una làmina de llana de vidre d'alta densitat aglomerada amb resines termoenduribles. Les dues cares de la làmina es cobreixen amb un complex d'alumini, malla de vidre tèxtil i paper Kraft. Aquest recobriment exterior actua com a barrera del vapor. La forma especial de l'acabat del contorns de la làmina fa que el muntatge dels conductes sigui senzill, facilitant l'ensamblatge entre les diferents peces. Tenint en compte aquesta facilitat de muntatge juntament amb l'alta rigidesa del material, s'aconsegueixen unes unions molt resistents, que s'acabaran d'assegurar amb cinta adhesiva d'alumini pur de 75mm de gruix. La unió dels conductes amb els difusors es farà amb tub flexible d'alumini.

4.2. Solució als problemes per una bona distribució de l'aire

A l'hora de dissenyar la distribució d'aire d'una instal·lació s'ha de tenir especialment en compte que no es formin corrents d'aire o zones amb estratificació de temperatura. Tots dos fenòmens són molt molestos pels usuaris i anul·len el confort del sistema de climatització.

Si l'aire que surt d'un difusor xoca amb l'aire que surt d'un altre difusor a una velocitat excessiva, per damunt de 0,2 m/s, es formen corrents d'aire al local. Aquest problema es pot evitar fàcilment col·locant els difusors prou separats entre si. Per cada model de difusor es coneix el seu abast, que és la distancia que l'aire pot recórrer a velocitats per damunt dels 0.2 m/s. Tots els difusors de l'edifici s'han col·locat tenint en compte aquest abast. No n'hi ha cap situat dins l'àrea d'abast d'un altre.

L'estratificació de temperatura té lloc quan l'aire d'impulsió se'n va pel retorn sense haver escombrat tot el local. Això fa que hi hagi zones del local per on l'aire climatitzat no hi passa mai provocant bosses d'aire calent o fred segons el tipus de climatització que s'estigui fent. Per evitar l'estratificació cal analitzar el moviment natural de l'aire a l'hora de dissenyar la instal·lació. L'aire calent té tendència a pujar mentre que l'aire fred té tendència a baixar a causa de la variació de densitat amb la temperatura. També se sap que la corrent d'aire es mou del punt de més pressió al de menys. Ajuntant tots dos conceptes i estudiant el cas de la refrigeració s'arriba a la següent conclusió: fent la impulsió pel sostre i situant el retorn a terra s'aconsegueix que l'aire fred es mescli amb el calent a mesura que baixa cap al punt de retorn evitant l'estratificació. Analitzant el cas de calefacció s'arriba a la conclusió que lo ideal seria fer el moviment contrari: impulsió a nivell de terra i retorn a nivell de sostre per aprofitar el moviment natural de l'aire. Però això suposaria tenir una doble instal·lació de conductes d'aire i n'encariria molt el cost. La instal·lació ha de ser única i per tant s'ha optat pel model d'impulsió al sostre i retorn a terra a través de falses columnes. L'estratificació a l'hivern s'evitarà gràcies al segon concepte esmentat: la diferencia de pressions a la sala entre impulsió i retorn es suficient per garantir la no estratificació.

El problema de l'estratificació és molt apreciable a l'hivern en les instal·lacions que estan mal dissenyades. Aquest tipus d'instal·lacions són les que tenen tant la impulsió com el retorn a nivell del sostre. Això fa que l'aire calent que és impulsat a l'hivern marxi pel sistema de retorn gairebé sense escombrar el local provocant una bossa d'aire fred a nivell de terra que fa que l'usuari tingui els peus fred provocant-li una gran incomoditat.

4.3. Selecció de difusors

La difusió de l'aire es farà amb difusors DIRU. S'han escollit els models DAC i DS segons el lloc on han d'anar col·locats per disposar de formes diferents de repartir l'aire i poder evitar els esmentats problemes de corrents d'aire i estratificació.

El model DAC és un difusor rectangular que dispara l'aire en una única direcció de forma que permet cobrir grans distàncies. El model DS és un difusor circular que reparteix l'aire de forma radial, en totes direccions.

Els difusors s'han repartit tenint en compte la superfície en la qual l'aire impulsat té una velocitat superior a 0,2 m/s, evitant que les superfícies de dos difusors es superposin. Al centre de les sales s'han col·locat els difusors circulars i al voltant de la sala els rectangulars. L'aire surt del models rectangulars disparat contra les finestres amb velocitat suficient per xocar contra elles de forma turbulenta. Baixa fins a terra i inicia el camí cap a la reixa de retorn empès pel cabal d'aire impulsat que li cau al damunt. D'aquesta manera s'aconsegueixen evitar les corrents i l'estratificació de l'aire.

Cada difusor disposarà de comporta de regulació per tal d'ajustar la xarxa. Aquest ajust garanteix que tots els punts de sortida d'aire tinguin la mateixa pèrdua de carrega. Així s'aconsegueix equilibrar el circuit ja que sinó l'aire aniria pel camí de menys pèrdua de carrega i no arribaria mai a les zones més allunyades del climatitzador.

També s'han escollit els difusors tenint en compte criteris acústics. Han de ser el més silenciosos possible per donar un bon ambient de treball a les sales. Així els models seleccionats compleixen que no sobrepassen els 15 dB quan la xarxa funciona equilibradament.

La Taula 4.1 resumeix el tipus i característiques del difusor escollit en cada cas.

Difusors							
Local	**Model**	**#**	**Q (m^3/h)**	**V_{ef} (m/s)**	**P.C. (Pa)**	**$Ab_{0.2}$ (m)**	**Soroll (dB)**
Planta 0 – Ala Nord – Local 1	DAC 18-1000	7	655	1,06	0,59	7,25	<15
Planta 0 – Ala Nord – Local 2	DAC 18-1000	5	632	1,02	0,49	7	<15
Planta 0 – Ala Nord – Local 3	DAC 18-1000	3	482	0,78	0,29	5,33	<15

Planta 0 – Ala Nord – Local 4	DS 8"	2	350	4,18	13,44	2,51	28
Planta 0 – Ala Nord – Local 5	DAC 18-1000	3	575	0,93	0,39	6,36	<15
Planta 0 – Ala Nord – Local 6	DAC 18-1000	13	529	0,86	0,39	5,86	<15
Planta 0 – Ala Nord – Local 7	DS 14"	3	900	3,63	10,50	3,56	29
Planta 0 – Ala Nord – Local 8	DAC 18-1000	2	1034	1,68	1,37	11,44	17
Planta 0 – Ala Sud – Local 1	DAC 18-1000	7	600	0,97	0,49	6,64	<15
Planta 0 – Ala Sud – Local 2	DAC 8-900	3	491	1,99	1,96	9,1	<15
Planta 0 – Ala Sud – Local 3	DAC 18-1000	6	542	0,88	0,39	6	<15
Planta 0 – Ala Sud – Local 4	DAC 16-1000	4	429	0,78	0,29	5,04	<15
Planta 0 – Ala Sud – Local 5	DS 10"	2	371	2,88	7,26	2,19	19
Planta 0 – Ala Sud – Local 6	DAC 18-1000	7	492	0,8	0,29	5,45	<15
Planta 1 – Ala Nord – Local 1	DAC 18-1000	14	525	0,85	0,39	5,81	<15
Planta 1 – Ala Nord – Local 2	DAC 18-1000	3	482	0,78	0,29	5,33	<15
Planta 1 – Ala Nord – Local 3	DS 8"	2	368	4,4	14,62	2,62	29
Planta 1 – Ala Nord – Local 4	DAC 18-1000	3	575	0,93	0,39	6,36	<15
Planta 1 – Ala Nord – Local 5	DAC 18-1000	17	502	0,81	0,29	5,56	<15
Planta 1 – Ala Nord – Local 6	DAC 18-1000	2	1051	1,7	1,47	11,63	18
Planta 1 – Ala Nord – Local 7	DS 8"	10	363	4,34	14,32	2,59	29
Planta 1 – Ala Sud – Local 1	DAC 18-1000	5	427	0,73	0,29	4,86	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 2	DAC 18-1000	3	463	0,75	0,29	5,12	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 3	DAC 18-1000	10	453	0,73	0,29	5,01	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 4	DAC 18-1000	7	500	0,81	0,29	5,53	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 5	DAC 18-1000	4	444	0,72	0,29	4,91	<15

Planta 1 – Ala Sud – Local 6	DAC 18-1000	6	485	0,79	0,29	5,37	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 7	DS 8"	6	276	3,3	9,03	2,05	21
Planta 2 – Ala Nord – Local 1	DAC 18-1000	15	382	0,62	0,20	4,23	<15
Planta 2 – Ala Nord – Local 2	DAC 18-1000	3	527	0,85	0,39	5,83	<15
Planta 2 – Ala Nord – Local 3	DAC 18-1000	4	461	0,75	0,29	5,1	<15
Planta 2 – Ala Nord – Local 4	DAC 18-1000	20	431	0,7	0,20	4,77	<15
Planta 2 – Ala Nord – Local 5	DAC 18-1000	3	819	1,48	1,08	10,09	<15
Planta 2 – Ala Nord – Local 6	DS 10"	6	313	2,43	5,69	1,91	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 1	DAC 16-1000	3	521	0,95	0,49	6,12	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 2	DAC 16-1000	3	521	0,95	0,49	6,12	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 3	DAC 16-1000	3	521	0,95	0,49	6,12	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 4	DAC 18-1000	4	580	0,94	0,49	6,42	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 5	DAC 18-1000	5	463	0,75	0,29	5,12	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 6	DAC 18-1000	10	600	0,97	0,49	6,64	<15

Taula 4.1 Selecció de difusors

Figura 4.1 Model DAC

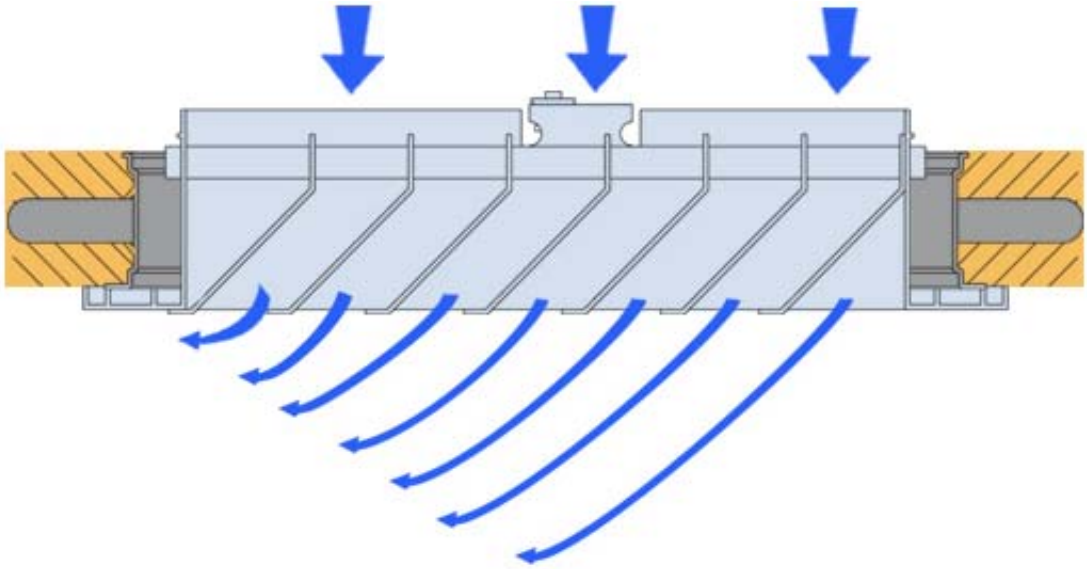


Figura 4.2 Esquema model DAC

Figura 4.3 Model DS

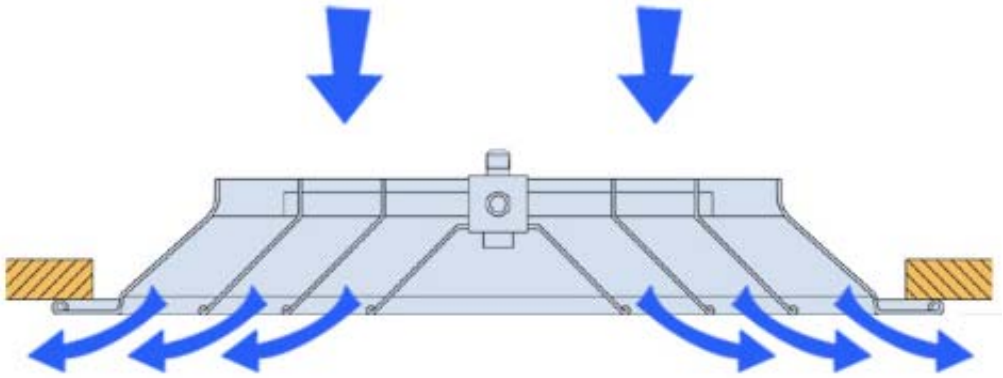


Figura 4.4 Esquema model DS

4.4. Selecció de les reixes de retorn

Les reixes de retorn també seran de DIRU. S'ha optat pel model RRF per les falses columnes i el model RRP per les portes dels despatxos. Tos dos models corresponen a reixes rectangulars.

La diferència entre els dos models és que el RRP té les dos tires de làmines orientades en direccions diferents per tal d'evitar que es vegi el que hi ha a l'altra banda de la reixa. La qual cosa es justifica per un despatx però no per una columna de retorn.

Igual que s'ha fet amb la selecció de difusors, també s'ha vigilat que les reixes siguin silencioses i no xiulin a causa de l'aire passant a velocitats excessives.

A diferència dels difusors les reixes no tenen registre, ja que no s'han d'equilibrar.

La Taula 4.2 resumeix el model escollit en cada cas.

Reixes de retorn						
Local	**Model**	**#**	**Q (m^3/h)**	**V_{ef} (m/s)**	**P.C. (Pa)**	**Soroll (dB)**
Planta 0 – Ala Nord – Local 1	RRP 900x600	2	2293	1,96	9,03	<15
Planta 0 – Ala Nord – Local 6	RRF 1500x800	2	6739	2,78	4,51	<15
Planta 0 – Ala Nord – Local 8	RRF 1200x300	1	2070	2,96	5,20	<15
Planta 0 – Ala Sud – Local 1	RRF 1500x600	2	4578	2,54	3,83	<15
Planta 0 – Ala Sud – Local 2	RRF 1500x600	1	4578	2,54	3,83	<15
Planta 1 – Ala Nord – Local 6	RRF 1500x800	2	8870	3,66	7,85	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 1	RRP 800x600	1	2134	2,06	10,01	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 2	RRP 700x600	1	1391	1,55	5,59	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 3	RRP 900x600	2	2265	1,94	8,83	<15
Planta 1 – Ala Sud – Local 4	RRP 1000x600	1	3502	2,68	16,97	17
Planta 1 – Ala Sud – Local 5	RRP 700x600	1	1777	1,98	9,22	<15

Planta 1 – Ala Sud – Local 6	RRP 900x600	1	2910	2,49	14,52	17
Planta 1 – Ala Sud – Local 7	RRF 1500x600	3	4225	2,34	3,24	<15
Planta 2 – Ala Nord – Local 5	RRF 1500x800	2	8598	3,55	7,46	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 1	RRP 700x600	1	1564	1,74	7,16	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 2	RRP 700x600	1	1564	1,74	7,16	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 3	RRP 700x600	1	1564	1,74	7,16	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 4	RRP 900x600	1	2322	1,98	9,22	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 5	RRP 900x600	1	2314	1,98	9,22	<15
Planta 2 – Ala Sud – Local 6	RRF 1300x600	3	3519	2,25	2,94	<15

Taula 4.2 Selecció de reixes de retorn

Figura 4.5 Reixa RRF

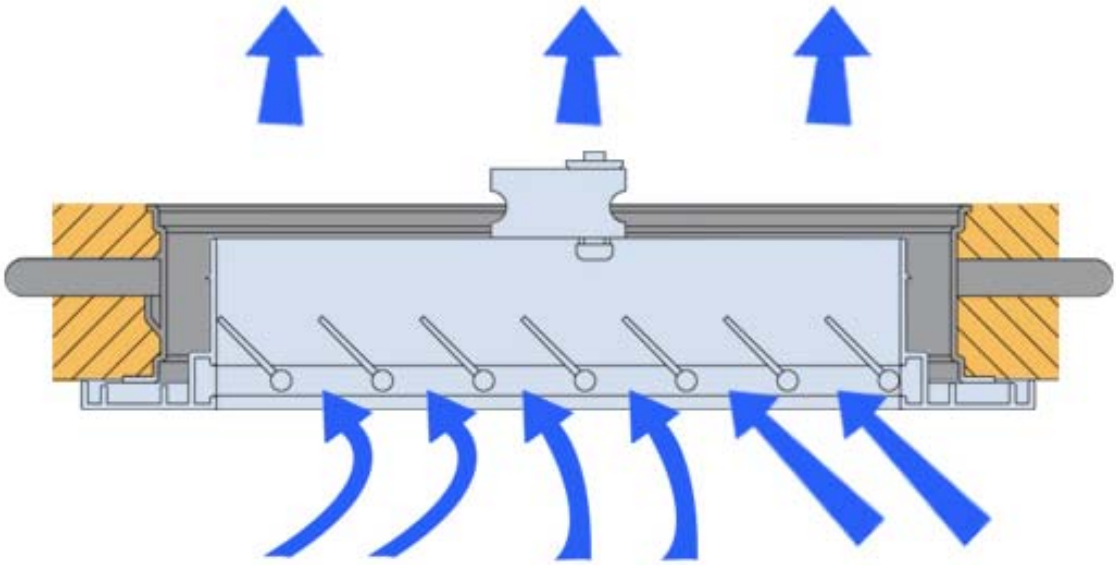


Figura 4.6 Esquema reixa RRF

Figura 4.7 Reixa RRP

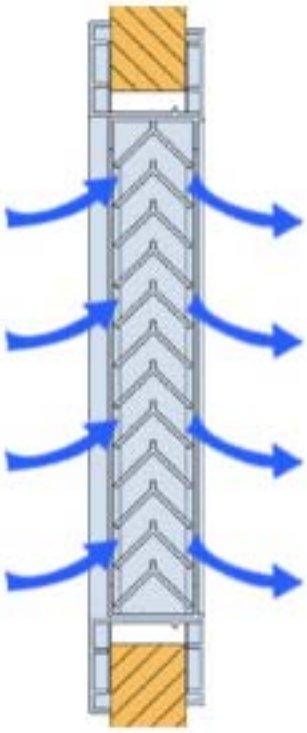


Figura 4.8 Esquema reixa RRP

4.5. Càlcul de la xarxa de conductes

El càlcul de la xarxa de conductes permetrà determinar quines dimensions ha de tenir cada tram de la xarxa així com la pèrdua de càrrega entre l'inici i el final del tram. Aquestes variables depenen del cabal a distribuir, el traçat a seguir i la velocitat d'impulsió. Tots aquests paràmetres estan relacionats per les equacions que regeixen la mecànica de fluids.

Aquest càlcul implica un complex procés iteratiu i més encara tenint en compte la magnitud de la xarxa estudiada. Per aquest motiu, i per poder donar un resultat el més acurat possible, s'ha realitzat un programa de càlcul en Visual Basic basat en la normativa ASHRAE.

El programa parteix d'un dibuix esquemàtic de la distribució dels diferents conductes i difusors, les longituds de cada tram, el cabal impulsat per cada difusor i la pèrdua de carrega dels mateixos. Entrades aquestes dades aconsella una velocitat d'impulsió de l'aire en funció del cabal d'aire i pregunta pel material dels conductes i la forma dels mateixos. Amb totes aquestes dades utilitza la mecànica de fluids per determinar les dimensions i la pèrdua de càrrega de cada tram de conducte tenint en compte la pèrdua per elements singulars com colzes i derivacions. Les dimensions les arrodoneix de 25 mm en 25 mm, en el cas de conductes rectangulars, ja que aquestes són les mides disponibles al mercat. A més vigila que l'alçada i l'amplada no siguin mai una 5 cops més gran que l'altre, ja que això podria donar lloc a problemes de vinclament. A partir de les pèrdues de carrega de cada tram i l'esquema de la xarxa es determina totes les possibles línies que pot seguir l'aire i la pèrdua de carrega de cada línia. Finalment, coneguda la línia de màxima pèrdua es calcula la pèrdua de carrega que s'ha d'afegir a cada difusor per tal d'equilibrar la xarxa.

El programa té en compte la zonificació de la instal·lació limitant el cabal en els trams comuns de dues branques que puguin funcionar de forma selectiva. Així si d'un tram parteixen dues ramificacions amb necessitats de cabal diferents, permet dissenyar el tram comú amb el cabal més gran en lloc de la suma de tots dos. Això redueix considerablement les dimensions que ha de tenir del tram comú. Aquesta instal·lació s'ha calculat limitant el cabal dels conductes compartits al màxim que pot bufar el ventilador de cada climatitzador. No te cap sentit dissenyar els conductes per un cabal més gran del que pot arribar-hi a haver.

Tots els resultats obtinguts pel càlcul tant dels conductes d'impulsió com els de retorn es troben detallats als fulls de l'annex de càlculs i en els plànols inclosos.

5. Equips exteriors

5.1. Selecció dels equips exteriors

Els equips exteriors seran dues bombes de calor marca Carrier model 30DQ90. Aquestes màquines treballen amb refrigerant ecològic R-407C per refredar o escalfar aigua. Les capacitats frigorífiques i calorífiques en regim de funcionament són les mostrades a les taules 5.1 i 5.2.

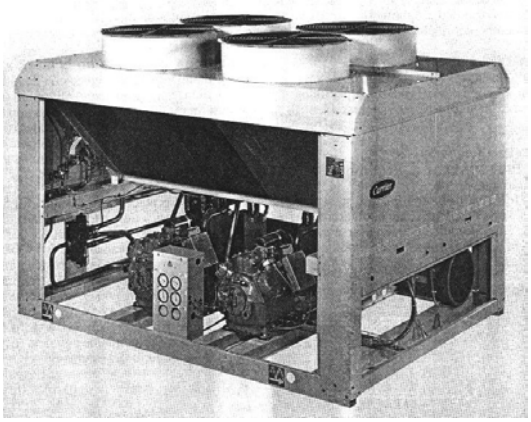


Figura 5.1 Bomba de calor Carrier 30DQ90

Capacitats frigorífiques 30DQ90				
Temperatura Aire Exterior (ºC)	Temperatura de sortida de l'aigua refrigerada (ºC)			
	5		7	
	POT (kW)	Consum (kW)	POT (kW)	Consum (kW)
25	235,4	67,6	252,7	70,3
30	222,2	71,8	239,0	74,7
35	209,1	75,8	225,3	78,9
40	195,9	79,5	211,5	83,0

45	182,8	82,9	197,6	86,7

Taula 5.1 Característiques frigorífiques de la bomba de calor Carrier 30DQ90

Capacitats calorífiques 30DQ90				
Temperatura Aire Exterior (ºC)	**Temperatura de sortida de l'aigua calenta (ºC)**			
	35		**40**	
	POT (kW)	**Consum (kW)**	**POT (kW)**	**Consum (kW)**
15	268,1	62,5	263,0	66,7
7	240,3	58,7	235,2	62,9
4	205,9	57,2	200,8	61,4
0	184,1	53,9	179,1	58,1
-5	156,3	50,5	151,2	54,7
-10	127,5	47,2	122,4	51,4

Taula 5.2 Característiques calorífiques de la bomba de calor Carrier 30DQ90

La instal·lació està dissenyada per una temperatura exterior de 31ºC a l'estiu i 2ºC a l'hivern. Les màquines treballaran refrigerant aigua a 5ºC a l'estiu i escalfant-la a 35ºC a l'hivern. En aquestes condicions cada màquina donarà 220 kW de fred i 195 kW de calor. Això suposa una potència total disponible de 440 kW de fred i 390 kW de calor.

A la Taula 5.3 figura la potència frigorífica necessària per cada planta i es compara amb la disponible. Es pot observar com les dues màquines escollides cobreixen la demanda necessària del pitjor dia de l'any en les condicions utilitzades per calcular.

Potència necessària		
Planta	**Potència frigorífica (kW)**	**Potència calorífica (kW)**
Planta 0 - Ala Nord	76,4	53,1
Planta 0 - Ala Sud	118,5	71,6
Planta 1 - Ala Nord	88,9	55,9
Planta 1 - Ala Sud	64,7	47,2
Planta 2 - Ala Nord	76,1	44,6
Planta 2 - Ala Sud	45,1	32,3
Global	**436**	**280**
Disponible (30DQ100 x 2)	**440**	**390**

Taula 5.3 Potència disponible

5.2. Descripció i muntatge dels equips

Les dues unitats s'instal·laran al terrat de l'edifici. Es fixaran pels orificis de muntatge sobre una bancada lleugerament inclinada per poder facilitar les tasques de drenatge d'aigua deguda a la condensació o al cicle de desgebrament de la bateria. Al voltant de cada unitat es deixaran els espais indicats a la Figura 5.2 com a àrea de servei i espai per les connexions hidràuliques i elèctriques. Així s'assegura que el cabal d'aire no troba obstruccions i entra lliurement a la màquina.

No s'instal·larà cap mena de coberta o teulada sobre la màquina ja que això impediria la sortida de l'aire calent i la màquina no treballaria com es desitja. El xassís de la màquina és d'acer galvanitzat amb un acabat de pintura de pols de poliester, color gris clar, aplicada electroestàticament i assecada a estufa abans del muntatge.

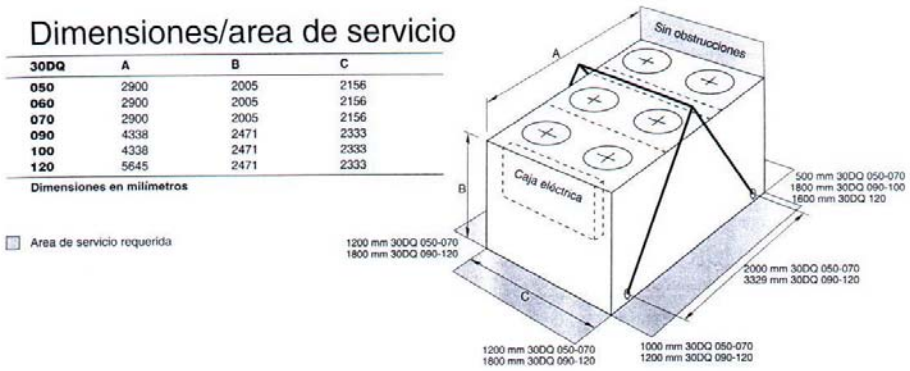


Figura 5.2 Àrea de servei Carrier 30DQ90

El circuit de refrigerant consta de tres compressors, filtre en la línia d'aspiració, indicador d'humitat, vàlvula d'inversió de cicle, pressostat d'alta i vàlvula d'expansió termostàtica. La Figura 5.3 mostra la disposició de tots aquests elements.

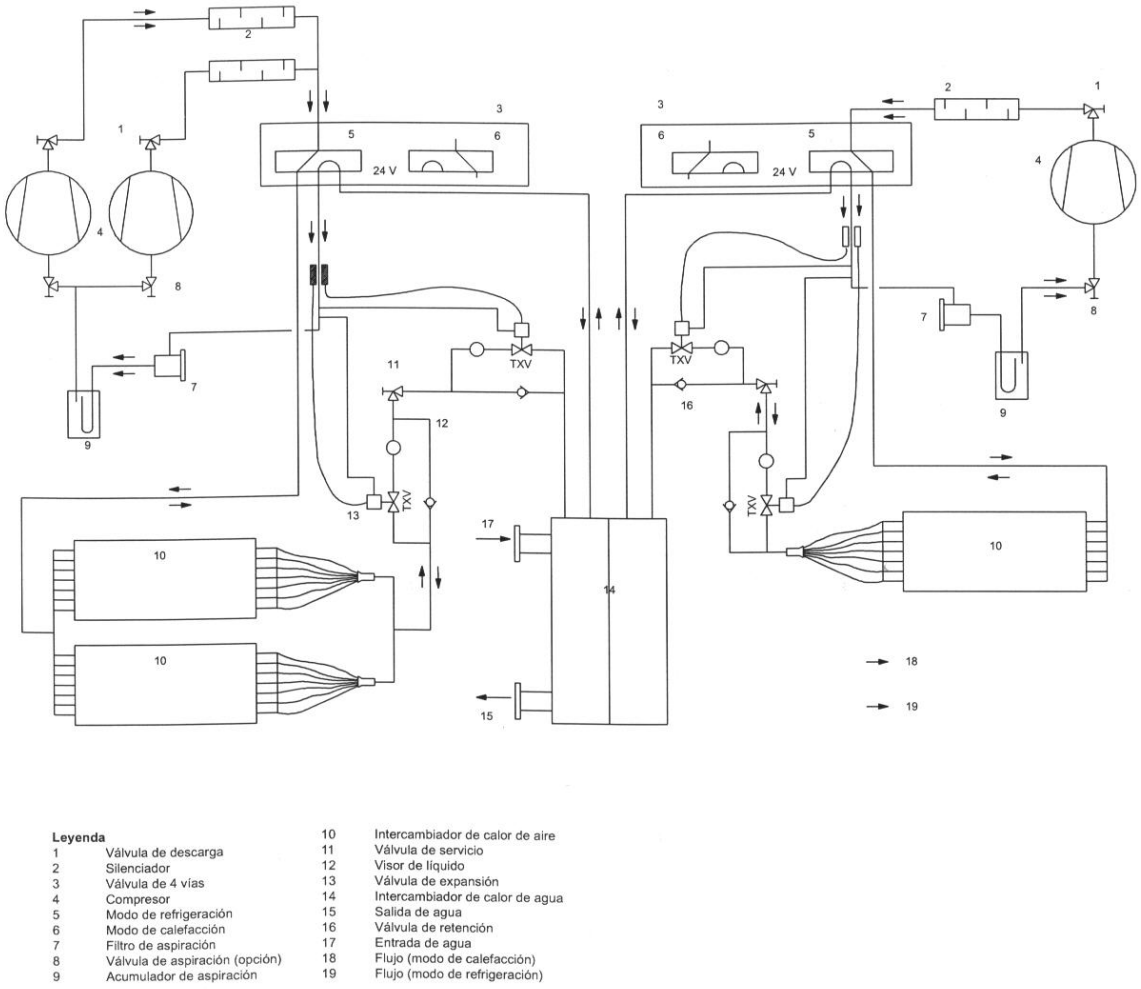
El model 30DQ90 té tres compressors alternatius semihermètics. Cada compressor va equipat amb una resistència elèctrica per escalfar el carter i evitar així que l'oli lubricant absorbeixi refrigerant quan es para el compressor.

El motor dels compressors és de quatre pols i dos debanats. Es refrigera amb el gas d'aspiració. Per protegir-lo de condicions de funcionament anormals hi ha un termòstat que mesura la temperatura del gas de descarrega i pararia el compressor si aquesta fos superior a 145 ºC. El tornaria a connectar quan s'assolissin els 115 ºC. En cas de sobrecarrega elèctrica o de travament del rotor, un ruptor magnetotèrmic, calibrat a 22 kA, s'encarregaria de parar el compressor.

Els compressors es munten damunt d'antivibradors de goma i van provistos de silenciador de descàrrega i vàlvules de servei d'aspiració i descàrrega.

Els intercanviadors de calor d'aire són d'aletes d'alumini fixades mecànicament a tubs de coure amb subrefredadors incorporats per tal de millorar les prestacions de l'intercanviador en el cicle de refrigeració.

Els ventiladors, Flying Bird, són axials i ultrasilenciosos. Tenen quinze pales i envolvent giratòria. Estan fabricats amb material compost reciclable. El motor elèctric és trifàsic de vuit pols i va protegit per un ruptor de circuit.



Leyenda

1	Válvula de descarga	10	Intercambiador de calor de aire
2	Silenciador	11	Válvula de servicio
3	Válvula de 4 vías	12	Visor de líquido
4	Compresor	13	Válvula de expansión
5	Modo de refrigeración	14	Intercambiador de calor de agua
6	Modo de calefacción	15	Salida de agua
7	Filtro de aspiración	16	Válvula de retención
8	Válvula de aspiración (opción)	17	Entrada de agua
9	Acumulador de aspiración	18	Flujo (modo de calefacción)
		19	Flujo (modo de refrigeración)

Figura 5.3 Esquema de la bomba de calor Carrier 30DQ90

L'intercanviador de calor d'aigua-refrigerant consta d'evaporador, carcassa y tub amb dos circuits de refrigerant. Els tubs són de coure amb aletes interiors, expandits en plaques de tubs amb deflectors interns de polipropilè. Les connexions d'aigua van roscades. Va aïllat amb espuma de poliuretà de 19 mm de gruix y un calentador per evitar la congelació per temperatures exteriors de fins a –20ºC.

La caixa de control és feta d'acer galvanitzat acabat amb pintura de poliester. Té portes d'accés robustes, amb frontisses i pantalla de protecció solar desmuntable. Conté: ruptors de circuit, els contactors dels compressors i els ventiladors, el transformador del circuit de control, els terminals d'alimentació trifàsica i una alimentació separada, a 230V, pels circuits dels calentadors.

La unitat 30DQ90 disposa del sistema de control numèric PRO-DIALOG Plus que ofereix els següents avantatges:

- Control PID de la temperatura de sortida de l'aigua amb compensació de la temperatura de retorn pel control dels compressors i els ventiladors

- Protecció contra situacions anormals de funcionament, avaries del compressor, pressió alta o baixa del refrigerant, temperatura baixa de d'aspiració, congelació de l'evaporador i vuit quan es para el circuit.

- Pantalla digital de paràmetres: pressions i temperatures d'aspiració i descàrrega, temperatures d'entrada i sortida de l'aigua a l'intercanviador, nombre de compressors funcionant, hores de funcionament del compressor, historial d'avaries registrades, etc.

6. Equips interiors

6.1. Descripció dels equips interiors

Les unitats interiors seran climatitzadors marca Servo Clima. En total s'instal·laran sis climatitzadors, dos a cada planta. Cada climatitzador donarà servei a una de les ales de la planta.

Les unitats s'instal·laran al pati interior de la façana est. Es muntarà una plataforma, a 2,5 metres del nivell de la planta, amb bancades on poder-los fixar i al mateix temps facilitar-ne l'accés per a les tasques de manteniment.

Cada climatitzador estarà format per quatre parts funcionals: la secció de mescla, el filtre d'aire, la bateria de fred/calor i la caixa de ventilació. A la secció de mescla és on es barrejarà l'aire de ventilació que ve del carrer amb l'aire de retorn que torna de la sala. El filtre netejarà l'aire un cop mesclat. A la bateria de fred l'aire intercanviarà calor amb l'aigua que ve de la unitat exterior. Si la unitat exterior treballa per donar fred arribarà aigua freda i la bateria actuarà com a bateria de fred refredant l'aire. Si la màquina exterior funciona en cicle invers, arribarà aigua calenta i escalfarà l'aire. El ventilador de la caixa de ventilació dóna a l'aire la pressió necessària per vèncer tots els obstacles de la xarxa de conductes.

A la Figura 6.1 es pot veure l'esquema de col·locació de cadascuna de les part citades.

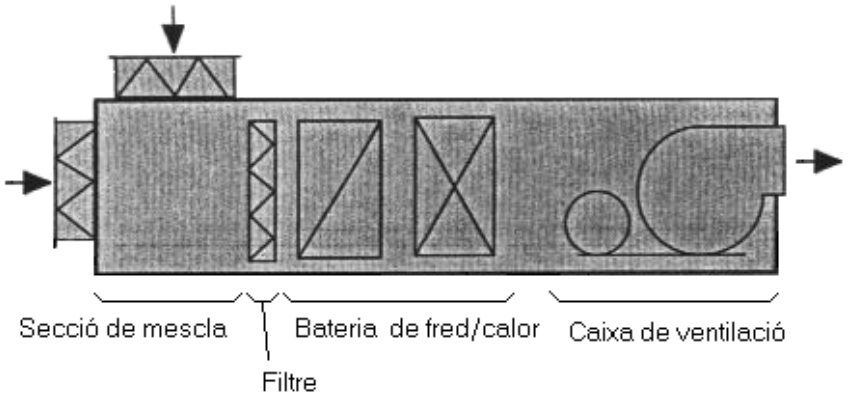


Figura 6.1 Esquema del climatitzador

6.2. Càlcul de les bateries de fred/calor

Les bateria de fred/calor de cada climatitzador Servo Clima es construirà a mida de les necessitats de la planta on doni servei. En aquest apartat es calcularan les dades que cal facilitar al fabricant per tal que les pugui construir.

6.2.1. Necessitats d'aigua

En primer lloc cal saber el cabal d'aigua necessari per absorbir la calor dels locals. Per calcular el cabal d'aigua que ha de passar per la bateria de fred s'ha considerat que l'aigua, que surt a 5ºC de la màquina exterior, arribarà a la bateria a uns 6ºC. I en sortirà a uns 11ºC després d'haver refredat l'aire d'impulsió de 25ºC a 15ºC.

Per calefacció s'ha considerat que l'aigua entra al climatitzador a uns 34ºC i surt a 29ºC després d'escalfar l'aire de 18ºC a 27ºC.

L'equació 8.1 relaciona la calor absorbida amb la massa, la capacitat calorífica (4,18 kJ/kg·K en el cas de l'aigua) i el salt tèrmic. Els cabals obtinguts es resumeixen a la Taula 6.1:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \qquad \text{(Eq 6.1)}$$

Cabals d'aigua del climatitzador		
Planta	**Cabal refrigeració (l/h)**	**Cabal calefacció (l/h)**
Planta 0 - Ala Nord	13160	9146
Planta 0 - Ala Sud	20411	12333
Planta 1 - Ala Nord	15313	9629
Planta 1 - Ala Sud	11144	8130
Planta 2 - Ala Nord	13108	7682
Planta 2 - Ala Sud	7768	5564

Taula 6.1 Cabals d'aigua del climatitzador

A l'hora de dissenyar la xarxa de canonades d'aigua s'han tingut en compte només els cabals per refrigeració ja que són els més grans.

6.2.2. Càlcul de la superfície d'intercanvi tèrmic

La bateria de fred/calor és un intercanviador de calor aire/aigua. La bateria en si consisteix en un serpentí de tubs que van i venen diverses vegades. El corrent d'aire passa a través del serpentí per on circula l'aigua. Al fer-ho es va refredant i surt de la bateria a la temperatura d'impulsió desitjada. Per la seva banda a l'aigua li passa tot el contrari. Entra freda al serpentí i a cada tram que recorre s'escalfa una mica a conseqüència d'absorbir la calor de l'aire.

Per tal d'assolir les condicions desitjades de sortida de l'aire i de l'aigua amb els cabals calculats cal determinar la superfície d'intercanvi tèrmic entre els dos fluids. Si la superfície fos massa petita l'aire no es refredaria prou i fos massa gran es refredaria en excés. Per tant cal determinar la superfície justa i necessària.

El càlcul de la superfície es farà en les condicions de bateria de fred (condicions d'estiu) ja que són les més desfavorables. La superfície d'intercanvi es calcula amb l'equació 6.2, partint de la potència necessària a cada planta i les temperatures de servei calculades anteriorment.

$$S = \frac{Q}{U \cdot MLDT} \qquad \text{(Eq 6.2)}$$

U és el coeficient global de transmissió de cada bateria. Depèn del fabricant. En aquest cas ha donat un valor de 39 W/m2·K.

MLDT és la mitja logarítmica de les temperatures (Eq. 6.3)

$$MLDT = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln(\Delta T1 - \Delta T2)} \qquad \text{(Eq 6.3)}$$

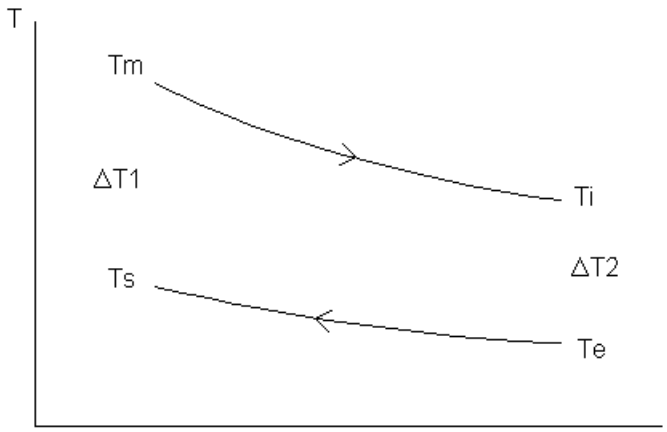


Figura 6.2 Intercanviador de calor del climatitzador

Tm i Ti són les temperatures d'entrada i sortida de l'aire a la bateria. S'han calculat al capítol 3 on se n'ha obtingut un valor aproximat de 25ºC i 15ºC respectivament. Te i Ts són les temperatures d'entrada i sortida de l'aigua i, com s'ha comentat més amunt, valen 6ºC i 11ºC. Amb aquests valors s'obté una MLDT=11,6ºC.

A la Taula 6.2 es mostra la superfície d'intercanvi calculada per cada bateria.

Superfície d'intercanvi necessària per cada bateria		
Planta	**Potència (kW)**	**Superfície (m^2)**
Planta 0 - Ala Nord	76,4	168,62
Planta 0 - Ala Sud	118,5	257,61
Planta 1 - Ala Nord	88,9	195,29
Planta 1 - Ala Sud	64,7	141,97
Planta 2 - Ala Nord	76,1	167,56
Planta 2 - Ala Sud	45,1	99,29

Taula 6.2 Superfície d'intercanvi necessària per a cada bateria

A partir de la superfície d'intercanvi i les dimensions desitjades el fabricant proporciona les bateries de la Taula 6.3. A la taula es recull informació sobre les dimensions de la bateria, el nombre d'aletes i de tubs, la velocitat de pas de l'aire, les pèrdues de carrega que pateixen les corrents d'aire i aigua al travessar la bateria i el volum d'aigua que hi cap a la bateria.

Característiques bateries fred/calor										
Planta	**Alt (mm)**	**Ample (mm)**	**Llarg (mm)**	**Nf**	**Nc**	**Na**	**Vf (m/s)**	**P.C.aire (Pa)**	**P.C.aigua (Pa)**	**V (l)**
Planta 0 - Ala Nord	1200	1470	216,5	24	5	700	2,45	83,3	16187	26,7
Planta 0 - Ala Sud	1100	1365	389,7	22	9	650	2,54	161,4	24525	40,9
Planta 1 - Ala Nord	1200	1512	259,8	24	6	720	2,72	122,9	18639	32,9
Planta 1 - Ala Sud	1100	1365	216,5	22	5	650	2,34	76,4	13734	22,7
Planta 2 – Ala Nord	1200	1512	216,5	24	5	720	2,63	96,3	16187	27,4
Planta 2 - Ala Sud	1000	1260	173,2	20	4	600	2,35	61,3	9516	15,2

Taula 6.3 Característiques de les bateries de fred/calor

Nf: Nombre de files de tubs

Nc: Nombre de columnes de tubs

Na: Nombre d'aletes

Vf: Velocitat de l'aire quan travessa la bateria

P.C. aire/aigua: Pèrdua de càrrega de l'aire/l'aigua al travessar la bateria

V: Volum d'aigua que hi cap al climatitzador

6.3. Selecció de les caixes de ventilació

La caixa de ventilació es seleccionarà del catàleg de caixes de ventilació de Servo Clima. Per seleccionar-la cal conèixer el cabal d'aire que ha de moure cada ventilador i la pèrdua de càrrega que ha de vèncer. El cabal s'ha calculat al capítol 5 mitjançant el diagrama psicromètric. La pèrdua de càrrega és la suma de les pèrdues de carrega de tot el circuit que recorre l'aire. Es a dir: la xarxa de conductes, els difusors, les reixes de les portes, les reixes de retorn, els conductes de retorn, el filtre del climatitzador i la bateria de fred/calor. La Taula 6.4 mostra aquestes pèrdues de càrrega.

Les pèrdues de càrrega de la bateria i el filtre del climatitzador s'han considerat un 20% majors que les proporcionades per el fabricant. D'aquesta manera s'obté un valor més semblant al que tindran quan el filtre estigui brut i s'assegura que el ventilador no es quedarà curt quan hagi de treballar en aquestes condicions.

Pèrdua càrrega total del circuit d'aire			
Planta	**P.C. conductes (Pa)**	**P.C. bateria + filtre (Pa)**	**P.C. Total (Pa)**
Planta 0 – Ala Nord	128,0	100,0	228,0
Planta 0 – Ala Sud	87,5	193,7	281,2
Planta 1 – Ala Nord	121,9	147,5	269,4
Planta 1 – Ala Sud	119,7	91,7	211,4
Planta 2 – Ala Nord	118,9	115,6	234,5
Planta 2 – Ala Sud	85,2	73,6	158,7

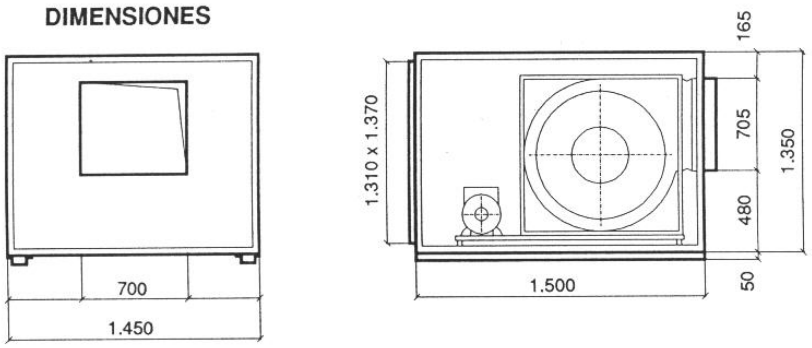
Taula 6.4 Pèrdua de càrrega total del circuit

A partir de les gràfiques de treball dels diferents models de caixes de ventilació subministrades per Servo Clima s'han seleccionat els models de la Taula 6.5.

Punt de treball de les caixes de ventilació							
Zona	**Cabal (m^3/h)**	**Model**	**P.C. (mmca)**	**RPM**	**Rendiment (%)**	**Potència (kW)**	**Soroll (dB)**
Planta 0 - Ala Nord	15548	TC 22/22	24	425	65	1,5	76
Planta 0 - Ala Sud	13733	TC 20/20	30	540	67	1,8	77
Planta 1 - Ala Nord	17740	TC 22/22	26	450	61	2	78
Planta 1 - Ala Sud	12675	TC 18/18	22	460	67	1,2	75
Planta 2 - Ala Nord	17196	TC 22/22	26	450	61	2	78
Planta 2 - Ala Sud	10656	TC 18/18	17	390	67	0,7	70

Taula 6.5 Selecció de les caixes de ventilació

Els gràfics de funcionament i les dimensions de cada model de caixa de ventilació es poden veure a les figures següents.



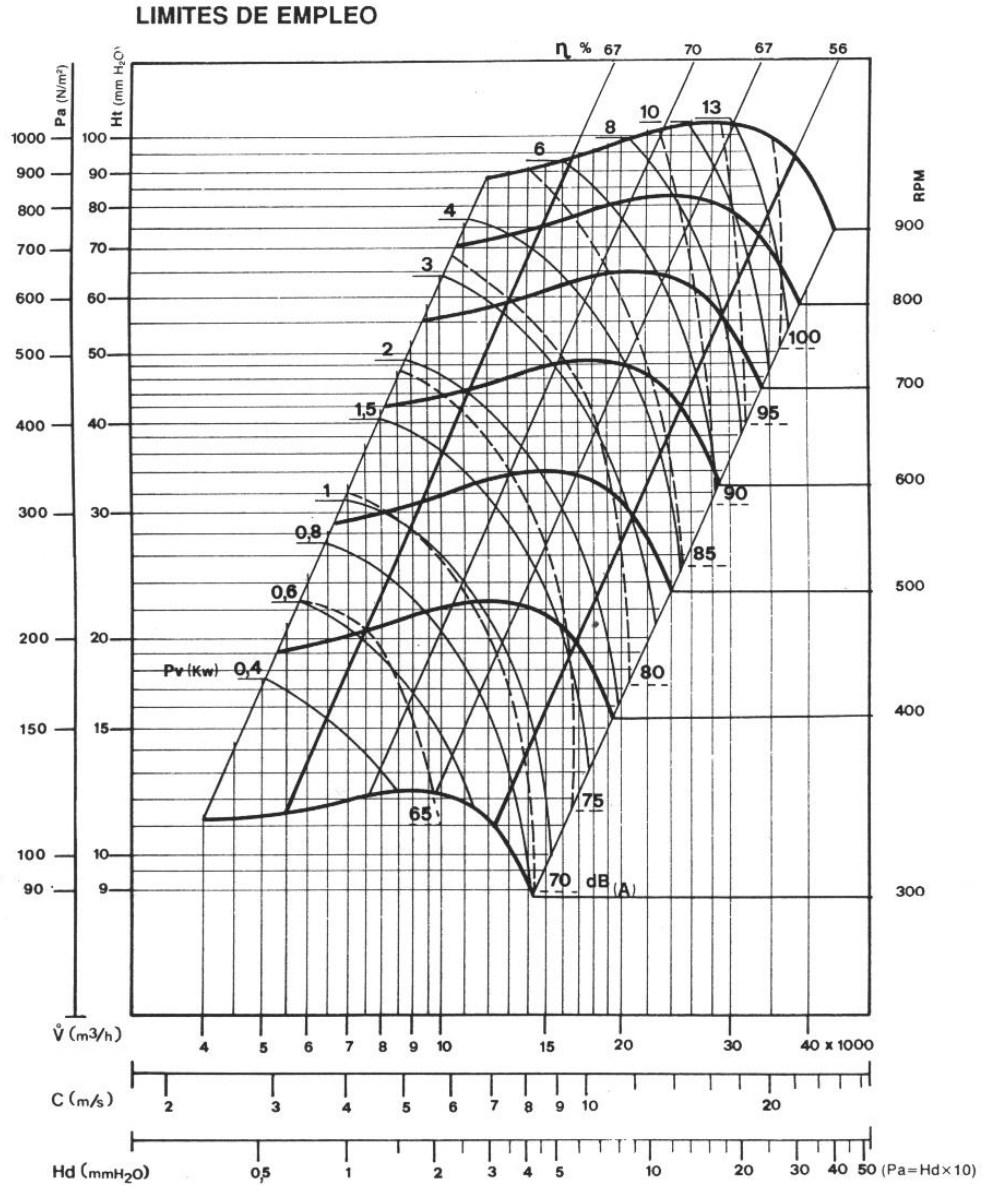


Figura 6.3 Caixa de ventilació SERVO CLIMA. Model TC 22/22

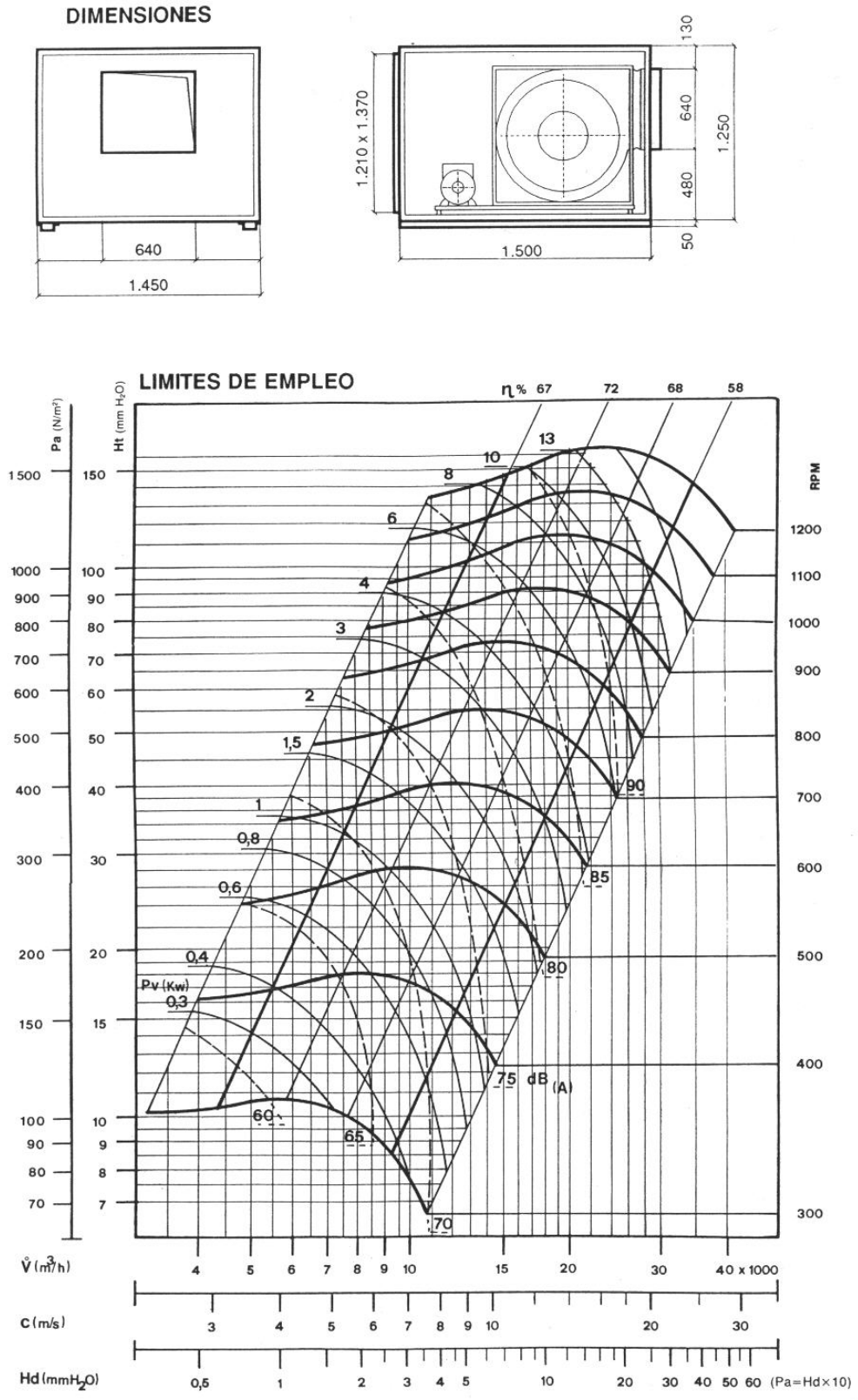


Figura 6.4 Caixa de ventilació SERVO CLIMA. Model TC 20/20

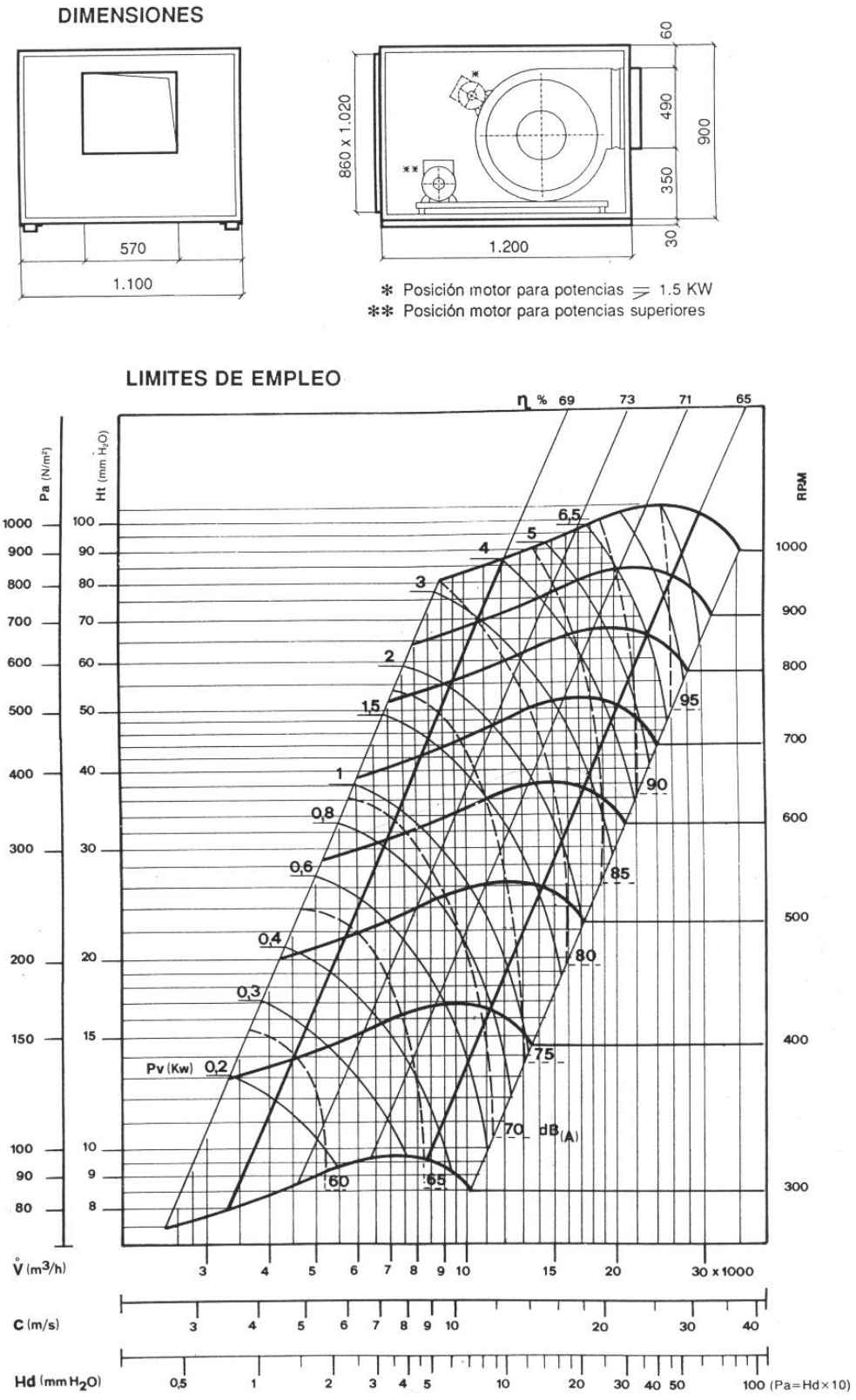


Figura 6.5 Caixa de ventilació SERVO CLIMA. Model TC 18/18

6.4. Selecció de la caixa del climatitzador

Les caixes dels climatitzadors s'han seleccionat del catàleg de Servo Clima en funció de les dimensions de la caixa de ventilació i de la bateria de fred. Els models seleccionats per cada zona figuren a la Taula 6.6.

Models de climatitzadors Servo Clima		
Zona	**Caixa de ventilació**	**Climatitzador**
Planta 0 - Ala Nord	TC 22/22	CTA-12
Planta 0 - Ala Sud	TC 20/20	CTA-10
Planta 1 - Ala Nord	TC 22/22	CTA-12
Planta 1 - Ala Sud	TC 18/18	CTA-8
Planta 2 - Ala Nord	TC 22/22	CTA-12
Planta 2 - Ala Sud	TC 18/18	CTA-6

Taula 6.6 Models de caixes de climatitzador seleccionats

Conegut el climatitzador queden determinades les dimensions de la resta d'accessoris. La taula següent mostra les dimensions dels diferents components:

Dimensions dels mòduls dels climatitzadors							
Model	**Alt (mm)**	**Ample (mm)**	**Llarg (mm)**				
			Secció de mescla	**Filtre**	**Bateria**	**Caixa de ventilació**	**Total**
CTA-12	1370	1630	800	100	500	1500	2900
CTA-10	1270	1580	700	100	500	1400	2700

CTA-8	1170	1430	700	100	500	1300	2600
CTA-6	1080	1330	600	100	500	1100	2300

Taula 6.7 Dimensions dels mòduls dels climatitzadors

6.5. Descripció detallada de la caixa del climatitzador

Cada caixa consta de diversos mòduls fets de pannell sandvitx units a una estructura de perfil especial amb cantoneres d'alumini injectat. La Figura 6.6 mostra l'aspecte exterior que ofereix la caixa.

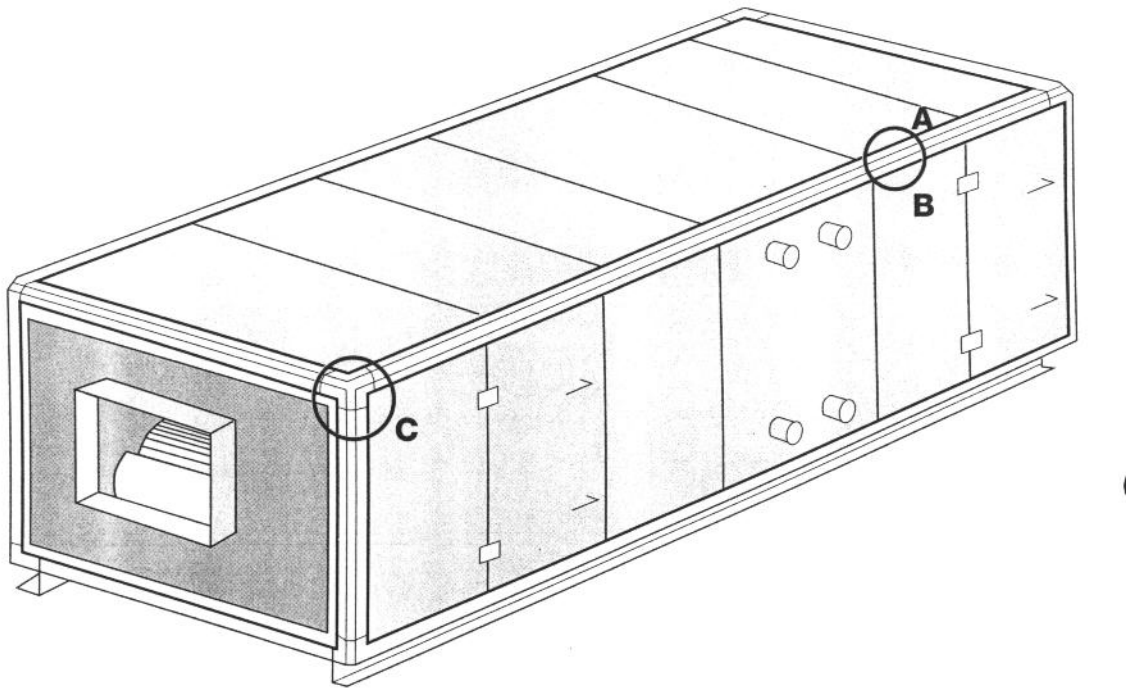


Figura 6.6 Caixa Servo Clima models CTA-6, CTA-8, CTA-10, CTA-12

El suport base està format per un perfil especial de tub soldat i galvanitzat. La unió entre perfils es realitza mitjançant esquadres d'alumini injectat formant una estructura rígida i compacte.

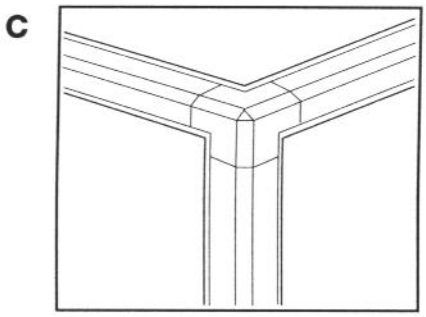


Figura 6.7 Unió entre els perfils de l'estructura

Els diferents mòduls estan acabats amb pannell sandvitx. El pannell es compon d'una planxa exterior lacada de 1,2 mm, una capa de 60 mm d'aïllament termo-acustic de fibra de vidre i una planxa galvanitzada a l'interior.

La unió del pannell sandvitx a l'estructura es realitza mitjançant passadors i cargols que proporcionen molta rigidesa al conjunt evitant la soldadura.

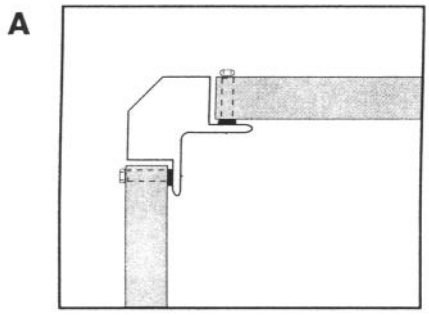


Figura 6.8 Unió entre els pannells i l'estructura

Les unitats es troben situades a l'exterior. Per protegir-les se les proveeix d'una coberta lleugerament inclinada per evitar l'acumulació d'aigua. La impermeabilitat s'aconsegueix amb una capa de fibra de vidre i poliester que també protegeix contra la corrosió.

Les portes dels mòduls tenen frontisses i tanca d'execució pesada de doble maneta, de forma que pot ser oberta des de dins de la unitat. Per proporcionar l'estanquitat necessària el sistema té una llengüeta de pressió progressiva i una junta de goma indeformable en tot el perímetre del marc de la porta. A més a més les portes tenen espiells d'inspecció construïts amb doble vidre i cambra d'aire per impedir les pèrdues de calor.

El mòdul de refrigeració té el terra lleugerament inclinat per tal de garantir que no s'hi acumuli l'aigua condensada. El terra de la resta de la unitat, així com les parets i el sostre són llisos, eliminant les parts susceptibles d'acumular brutícia. Les zones que es poden trepitjar estan proveïdes de planxa d'alumini gravat o una reixa galvanitzada.

Tots els mòduls accessibles disposen de llum interior per facilitar les tasques de manteniment. La llum es protegeix, amb pantalles IP 55, contra cops i projeccions d'aigua.

Al motor del ventilador s'hi instal·len esmorteïdors a fi d'evitar la transmissió a l'exterior de soroll i vibracions no desitjades. També se'n protegeixen les corretges amb tapacorretges.

7. Xarxa de canonades d'aigua

Com ja s'ha comentat en els capítols anteriors, la instal·lació disposa de dues plantes refrigeradores al terrat de l'edifici i diversos climatitzadors a les diferents plantes. En aquest capítol es descriu el circuit hidràulic i se'n calculen els seus components i els conductes que porten l'aigua de la planta refrigeradora fins a cadascun dels climatitzadors.

7.1. Descripció del circuit hidràulic

La planta refrigeradora s'instal·la a la part més alta de l'edifici, al mateix pati interior on s'han col·locat els climatitzadors. La planta consta de dues bombes de calor Carrier 30DQ90 connectades en paral·lel. Al voltant de la planta refrigeradora hi ha una sèrie d'elements que complementen el circuit hidràulic. Són la bomba, el dipòsit d'inèrcia i el vas d'expansió.

La bomba és l'encarregada de la circulació de l'aigua dins del circuit. A causa de la seva importància se n'han instal·lat dues en sèrie per disminuir la probabilitat de fallada del sistema. Normalment funcionarà una i es mantindrà l'altre de reserva. S'han instal·lat antivibratoris al voltant de les bombes per tal que les vibracions inherents al seu funcionament no malmetin les canonades del circuit. Al tram desdoblat s'hi han instal·lat vàlvules antiretorn per impedir el pas de l'aigua en sentit contrari al desitjat.

El vas d'expansió és l'element encarregat de regular la variació del volum de l'aigua del circuit a causa de la seva variació de temperatura durant el funcionament. Al augmentar la temperatura de l'aigua aquesta dilata més que no pas les canonades. L'excés de volum d'aigua respecte el volum de les canonades és el que ocuparà el vas d'expansió.

El dipòsit d'inèrcia s'instal·la per mantenir la temperatura de l'aigua durant les parades de la bomba de calor i reduir així les pèrdues d'energia de la instal·lació. El dipòsit conté el volum d'aigua necessari per tal que la inèrcia tèrmica de l'aigua garanteixi que la temperatura del sistema no pugi més de 0,5ºC durant els 5 minuts que pot estar parada la bomba de calor.

S'han instal·lat vàlvules de tall a l'entrada i la sortida de cada element per tal de poder-los aïllar del circuit al realitzar tasques de reparació i manteniment.

A la Figura 7.1 es mostra l'esquema de principi de la instal·lació amb la col·locació de tots aquests elements.

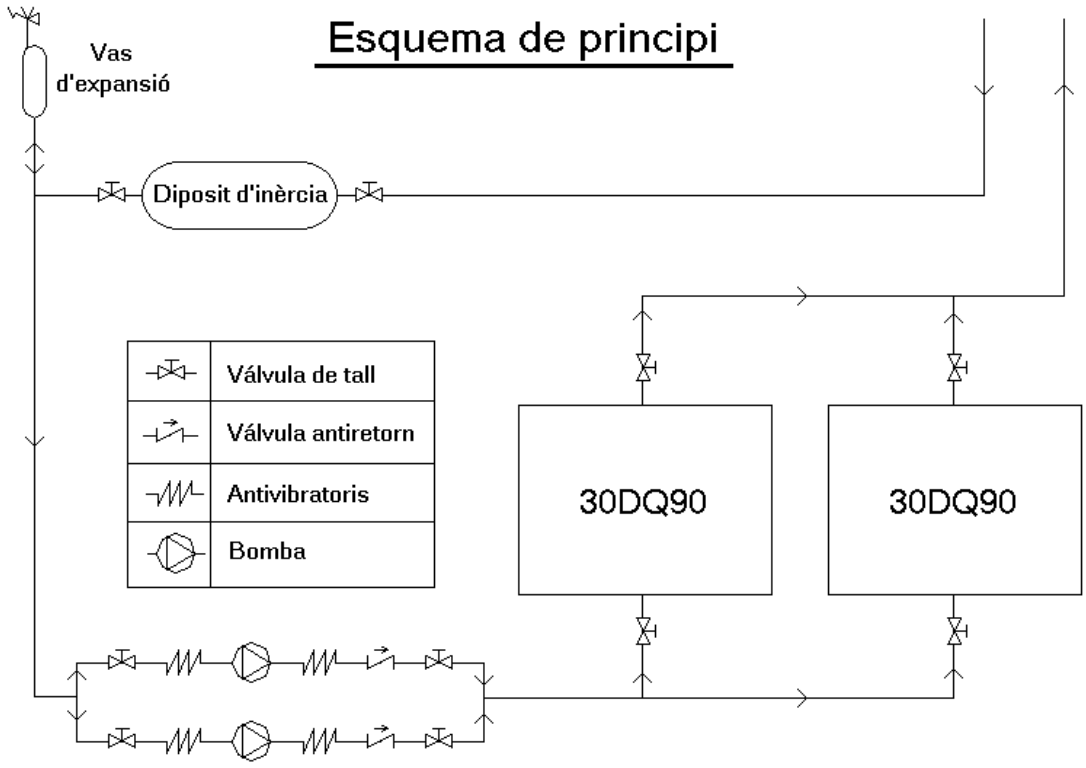


Figura 7.1 Esquema de principi del circuit hidràulic

Tot aquest conjunt d'elements es connecta amb els climatitzadors repartits per l'edifici mitjançant la xarxa de canonades.

7.2. Distribució de la xarxa de canonades

La climatització de tot l'edifici es binària: o es dona aire condicionat o es dona calefacció, però mai les dues coses a l'hora. Això vol dir que per la xarxa només ha de circular aigua freda en un cas o calenta en l'altre. El disseny més indicat per aquest és una instal·lació a dos tubs. Un tub porta l'aigua a la temperatura necessària des de la planta refrigeradora fins al climatitzador, i l'altre la retorna fins a la planta. El traçat dels dos tubs serà simètric. Si fos necessari distribuir aigua freda i calenta a l'hora s'hauria de fer una instal·lació a 4 tubs: dos per aigua freda i dos per aigua calenta.

Les canonades estaran situades al pati interior del cantó est on hi ha la planta refrigeradora i els climatitzadors. El muntant vertical baixarà per la paret nord del pati. A nivell dels climatitzadors derivaran dues branques secundaries independents que connectaran amb cadascun d'ells. A la Figura 7.2 es mostra un esquema amb la distribució de les canonades.

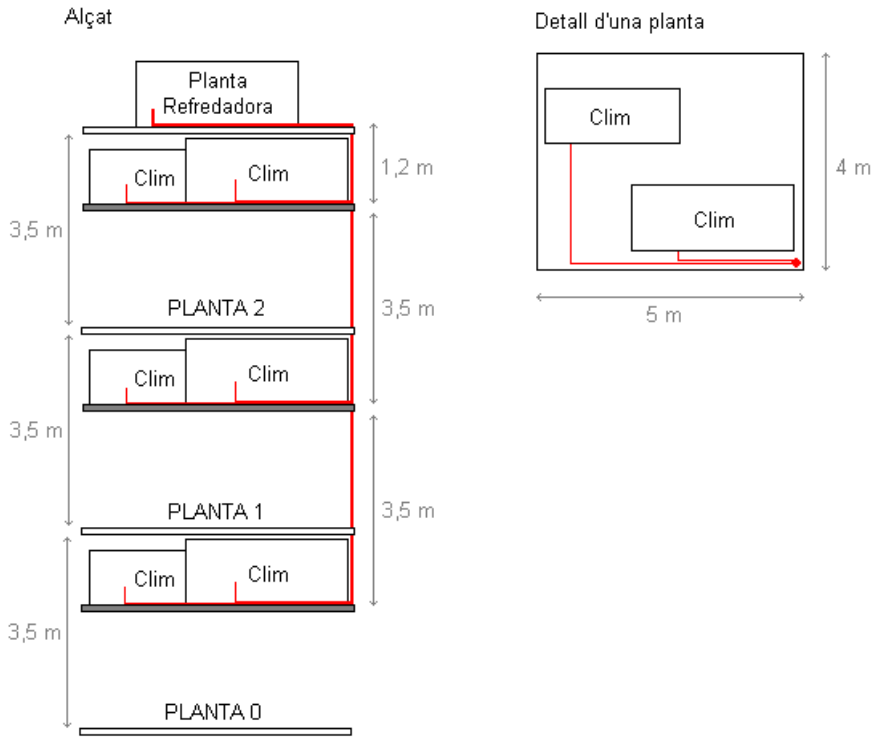


Figura 7.2 Detall del muntant vertical de les canonades d'aigua

A l'entrada de cada pis s'instal·laran vàlvules de tall per tal de poder-lo aïllar de la resta de la xarxa si fos necessari. Tanmateix els climatitzadors disposaran també de d'una sèrie de vàlvules a l'entrada per regular el seu funcionament:

- Vàlvula de 3 vies de regulació de cabal: Per poder regular el cabal d'aigua que entra al climatitzador fent un bypass del cabal no desitjat. Així s'aconsegueix regular la potència del climatitzador.

- Vàlvula d'equilibrat: Permet ajustar la pèrdua de carrega del grup del climatitzador per tal que el circuit estigui equilibrat i l'aigua circuli per tots els ramals.

- Vàlvules de tall: Una a la canonada d'entrada i l'altre a la de sortida. Permeten aïllar el climatitzador de la xarxa i dur a terme les tasques de manteniment i reparació.

Es pot veure un detall de la connexió de totes aquestes vàlvules a la Figura 7.3.

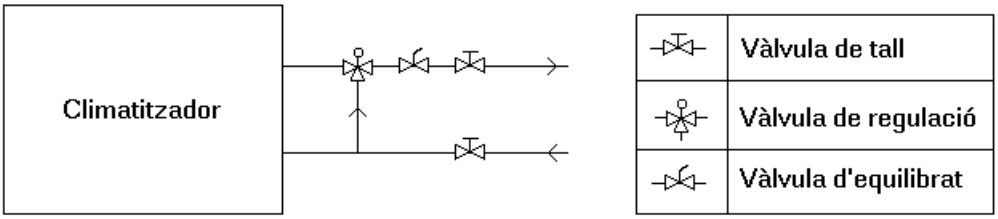


Figura 7.3 Vàlvules del climatitzador

Les canonades seran d'acer amb les unions entre tubs soldades. S'aïllaran amb una capa de poliuretà flexible, tipus ARMAFLEX o similar, de 40 mm de gruix. Així es minimitzaran les pèrdues tèrmiques de l'aigua en circulació.

7.3. Càlcul de la xarxa de canonades

Un cop definit el traçat de la xarxa cal calcular el diàmetre de les canonades. Aquestes han de poder distribuir el cabal d'aigua necessari sense superar la pèrdua de càrrega fixada per la normativa vigent. El reglament RITE determina que les canonades no superin els 392 Pascals de pèrdua per metre de canonada.

Per realitzar el càlcul de forma més exacta i precisa s'ha utilitzat el programa *"Cálculo de tuberías de agua"* del paquet AIRPACK de la UPC. El programa parteix de la distribució dels conductes, el cabal i la pèrdua de càrrega de cada climatitzador, i el material de la canonada. Amb aquestes dades calcula quin dels diàmetres disponibles al mercat serveix per tenir una pèrdua de càrrega per metre que no superi la fixada pel reglament. Determinats els diàmetres i la pèrdua de càrrega per fricció de la canonada afegeix les pèrdues de càrrega provocades pels accessoris (colzes, derivacions i vàlvules), la pèrdua de càrrega provocada pels climatitzadors i la provocada per la bomba de calor i els seus accessoris. Sumant totes les pèrdues obté la pèrdua total que hi ha des de la bomba a cada climatitzador i calcula la pressió d'equilibrat que s'ha de donar a les vàlvules d'equilibrat. Aquesta pressió és la

diferència entre la pèrdua de càrrega del climatitzador que es vol equilibrar i la pèrdua màxima del circuit que es pren de referència.

Els resultats obtinguts es mostren detalladament als annexos. S'han calculat les dimensions i les pèrdues de carrega. També s'ha determinat que la capacitat d'aigua total del circuit és de 338 litres.

7.4. Càlcul del dipòsit d'inèrcia

Les dues bombes de calor Carrier 30DQ90 instal·lades tenen cada una 6 etapes de potència. Aquestes regulen la potència generada per la planta frigorífica en cada moment. Cada bomba de calor es configura per tal d'aconseguir una determinada temperatura de l'aigua de sortida. S'aniran activant etapes a mesura que les necessitats tèrmiques dels locals creixin i s'aniran parant a mesura que disminueixin.

Per evitar les parades i arrencades de les etapes de la plata refrigeradora massa sobtades s'utilitza el dipòsit d'inèrcia. L'objecte d'aquest dipòsit és disposar d'un volum d'aigua, afegit a la resta del volum acumulat de la instal·lació, de forma que s'aprofiti la seva inèrcia tèrmica per evitar la connexió i desconnexió d'una mateixa etapa en un temps massa breu, cosa que escurçaria la vida útil de la màquina.

La potència frigorífica total de cada bomba Carrier 30DQ90 és 225 kW. Segons el fabricant, la potència mínima que pot subministrar cadascuna, és el 20%, que correspon a 45 kW. L'interval de temps mínim considerat entre la connexió i la desconnexió d'una etapa és de 5 minuts. I el diferencial del control de temperatura entre la connexió i la desconnexió de l'etapa és de 0,5ºC.

$$Volum = \frac{Potència}{c \cdot \Delta T} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot Temps \qquad \text{(Eq 7.1)}$$

On *c* és la capacitat calorífica de l'aigua i ρ la seva densitat.

En aquestes condicions, utilitzant l'equació 7.1, s'ha calcular que el volum d'aigua necessari per mantenir la temperatura és de 6.459 l. Restant a aquest volum l'aigua que ja ocupa els climatitzadors, la planta refrigeradora i les canonades, resulta un dipòsit de 6 m^3 de volum.

7.5. Selecció del vas d'expansió

L'aigua de la instal·lació varia de temperatura des de la posta en marxa de la mateixa, a temperatura ambient, fins a la temperatura de treball. I també canvia entre les condicions d'estiu i les condicions d'hivern.

Aquest canvis de temperatura provoquen una variació del volum total que ocupa l'aigua del circuit hidràulic a causa a la seva dilatació tèrmica. Per evitar que un augment de volum trenqui la canonada s'utilitza el vas d'expansió.

El vas d'expansió és un dipòsit amb dues cambres separades per una membrana. La cambra superior conté nitrogen a una pressió inicial. La cambra inferior va connectada al circuit hidràulic de la instal·lació. A mesura que la pressió del circuit augmenta, l'aigua empeny la membrana desplaçant-la, omplint el dipòsit i comprimint al nitrogen. El dipòsit esta protegit de sobrepressions amb una vàlvula de seguretat tarada a una pressió determinada. Si se superés aquesta pressió la vàlvula obriria deixant sortir el nitrogen a l'atmosfera.

El volum d'aigua total de la instal·lació és 6.688 litres i la variació de temperatura que experimenta l'aigua és de 30 ºC.

Planta refrigeradora (2)	184 l
Climatitzadors (6)	166 l
Canonades	338 l
Dipòsit d'inèrcia	6.000 l
Total	**6.688 l**

Taula 7.1 Volum d'aigua de la instal·lació

S'ha escollit un vas d'expansió marca Sedical model Reflex 200N. La pressió inicial del nitrogen serà de 0.5 bar, per trobar-se en el punt més alt de la instal·lació. El dipòsit té un volum total de 200 l. La pressió de tarat de la vàlvula de seguretat és de 3 bar.

7.6. Selecció de la bomba

La bomba és l'encarregada del moviment de tota l'aigua del circuit. Degut a la importància d'aquesta funció s'ha decidit de doblar-la per tenir-ne una de reserva en cas de fallada. Les dues bombes es col·locaran en paral·lel tal com es pot observar a l'esquema de principi de la Figura 7.1. L'ús d'una o altre bomba es canviarà periòdicament per que tinguin un desgast similar. A la sortida de cada bomba es col·loquen vàlvules antiretorn per tal que l'aigua no circuli en sentit contrari quan la bomba estigui parada. Tanmateix es s'instal·len antivibradors a fi que la bomba no malmeti el circuit hidràulic.

El cabal d'aigua que ha de poder moure la bomba és de 81m^3/h i la màxima pressió que ha de vèncer és de 131 kPa.

La bomba seleccionada és una bomba centrífuga monobloc normalitzada marca Grundfos model DBP 65-125/137. La velocitat de rotació del rodet és 2.900 rpm.

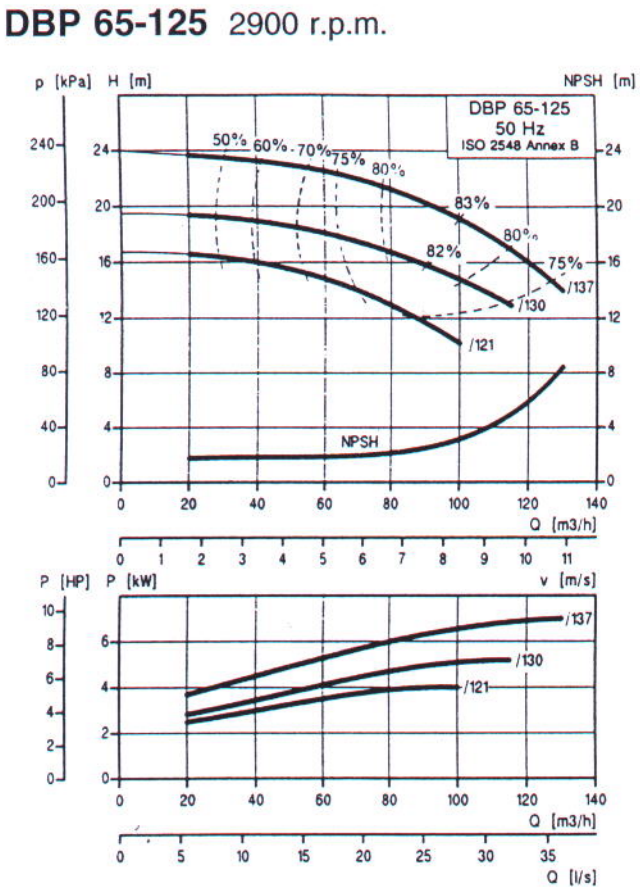


Figura 7.4 Corbes característiques de la bomba Grundfos DBP 65-125

8. Sistemes de control

8.1. Aire d'impulsió

La impulsió d'aire a cadascun dels locals tèrmics es regula mitjançant un regulador de temperatura. Aquest rep la senyal d'una sonda de temperatura d'aire ambient que detecta si el local es troba o no en les condicions de confort. En funció de la diferencia de temperatures entre la temperatura de la sonda i la desitjada a la zona, el regulador envia una senyal al servomotor de la comporta de regulació situada al conducte d'impulsió d'aire del local. La comporta s'obra o es tanca de forma proporcional per buscar en tot moment la temperatura desitjada.

D'aquesta manera s'aconsegueix enviar la potencia allà on és necessària. Per exemple, el cas de l'estiu quan hi ha locals a l'ombra, a la banda oest, i locals on incideix el sol, a la banda est. Els locals a l'ombra tindran molta menys necessitat de potència que els que estan al sol. Quan els locals de l'oest arribin al punt de confort, les sondes que hi ha instal·lades informaran als reguladors per tal que tanquin les comportes. Al fer-ho tot l'aire d'impulsió es destinarà als locals de la banda est aconseguint arribar al punt de confort més ràpidament. Quan la temperatura dels locals de l'oest torni a augmentar es tornaran a obrir les comportes l'estona que sigui necessària per arribar a la situació de confort. Aquest procés s'anirà repetint en el temps.

Si no es repartís l'aire d'impulsió d'aquesta manera el que passaria és que hi hauria el problema de la inestabilitat tèrmica. Als locals de la banda oest hi hauria excés de potència frigorífica i per tant hi faria fred. Mentre que als de la banda est hi faltaria potència i per tant hi faria calor. No hi hauria confort en cap zona. S'estaria malgastant tota la potencia de la planta refrigeradora per no arribar enlloc. Aquesta es l'avantatge de la zonificació.

8.2. Unitats exteriors

El control de les unitats exteriors està inclòs amb el subministrament de les unitats, pel propi fabricant. Aquest garanteix el correcte funcionament i la garantia del servei.

8.3. Unitats interiors

Les unitats interiors es regulen mitjançant un regulador proporcional de temperatura. Aquest controla la temperatura de la zona actuant sobre una vàlvula motoritzada de tres vies, situada a la sortida del climatitzador. El regulador respon en funció d'una sonda de temperatura situada al conducte de retorn.

Per exemple a l'estiu quan la temperatura de la zona augmenta, el regulador envia una senyal d'obrir la vàlvula de tres vies. Al fer-ho augmentant el cabal d'aigua freda que passa pel climatitzador augmentant la potència subministrada aconseguint disminuir la temperatura de la zona.

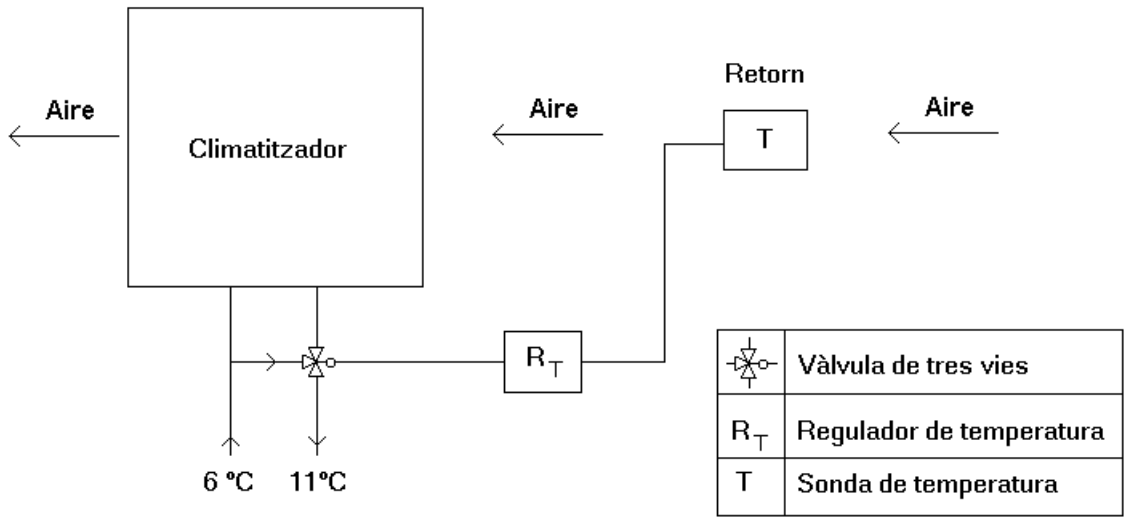


Figura 8.1 Esquema de control del climatitzador

9. Consideracions mediambientals

Aquest projecte s'orienta especialment en aconseguir un sistema de climatització més conservador amb el medi ambient que no pas les instal·lacions convencionals.

S'ha pensat fonamentalment de cara a aconseguir l'estalvi d'energia. Tal i com s'ha demostrat, els criteris de zonificació permeten aconseguir el mateix confort, o fins i tot millor, que una instal·lació convencional. Però amb una instal·lació més petita i que per tant consumeix menys. A més a més el sistema de comportes de regulació permet tancar les zones desocupades de manera que no s'hi malgasti potència.

El refrigerant de la planta refrigeradora és R407C. Aquest és un dels refrigerants ecològics utilitzats en l'actualitat. Això vol dir que en cas de fuita a l'atmosfera, no provoca la destrucció de la capa d'ozó al no tenir present el clor en la seva molècula.

Conclusions

La zonificació a la climatització és molt important i avantatjosa. Les millores obtingudes es donen tant per abaratiment de costos com per millores del servei.

Tal com s'ha demostrat en els capítols que componen aquest document, una instal·lació zonificada consumeix molta menys energia que una instal·lació convencional equivalent. Destina l'energia només a les zones on fa falta. De manera que no es malgasta climatitzant zones que ja es troben en les condicions de confort o que estan desocupades. I tot això millorant el benestar dels usuaris. Aquests es troben millor ja que desapareixen les zones excessivament refrigerades o escalfades que es donen en la climatització convencional quan es destina tota la potència de la planta refrigeradora a zones que no ho necessiten.

Amb la climatització zonificada cada local rep la quantitat de fred, o calor, necessària per mantenir les condicions de confort escollides de manera que mai no hi ha excés ni carència.

A nivell d'obra i components la instal·lació zonificada no és gaire més cara que la instal·lació convencional. Ambdues utilitzen les mateixes màquines, els mateixos conductes, els mateixos mètodes de construcció. La diferència està en la manera d'utilitzar-les. Només es tracta de fer les coses amb seny: destinar la potència allà on és més útil. Aquí és on radica la importància de la instal·lació zonificada, més confort i a més aconseguit amb estalvi energètic.

Agraïments

Vull donar les gràcies especialment al meu tutor J.M. Nacenta per la seva ajuda durant la realització d'aquest projecte i sobretot per haver despertat en mi l'interès per aquesta apassionant ciència que és la termotècnia.

Mai no podré agrair prou la col·laboració i el suport que m'ha donat en molts moments la Catalina Cánovas, sense els quals aquest projecte no seria el que és.

Finalment voldria agrair la paciència que han tingut els meus pares, la meva parella i tots els meus amics esperant el moment que aquesta obra estigués finalitzada.

Bibliografia

[1] ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Fundamentals Volume (S.I. edition.)*. Atlanta: 2001

[2] ALFRED FONTANALS GARCÍA, *Cálculo de los conductos de aire.* Barcelona: Ceac, 1997

[3] CARLO PIZZETTI, *Acondicionamiento del aire y refrigeración. Teoría y cálculo de las instalaciones*, Madrid: Interciencia. 1971.

[4] CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, *Manual de Aire Acondicionado.* Barcelona: Marcombo, 1970

[5] ANGEL LUIS MIRANDA, *Enciclopedia de la climatización. Aire acondicionado.* Barcelona: Ceac, 1994

[6] MINISTERIO DE INDÚSTRIA. *Regalmento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE).* Real Decreto 1751/1998, de 31 juliol 1998.

[7] I.E IDEL'CIK, *Memento des pertes de charge. Coefficients de pertes de charge singulières et de pertes de charge par frottement.* Paris: Eyrolles.