



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria
de Manresa



Treball final de Grau

Disseny d'una instal·lació d'assecatge de pernils

Grau en enginyeria mecànica

Curs 16/17

Autor: Romà Puig Abad

Director: Jordi Vives Costa

Data:09/05/2017

RESUM DEL PROJECTE

En el present projecte es detallen les operacions que comporta tota l'enginyeria sobre el procés d'assecatge que s'ha de dur a terme pel correcte curat del producte, en aquest cas pernils.

A partir de les dimensions de la nau escollida i el flux de matèria primera emprada en el procés es durà a terme el càlcul de la potència requerida per climatitzar correctament totes les sales necessàries i l'equip essencial per complir tals requisits.

Per altra banda, es farà l'estudi climàtic i fluidodinàmic d'una de les sales d'assecatge a través d'una simulació complexa mitjançant el programa Autodesk CFD Motion 2016 i així poder obtenir uns resultats en un càlcul transitori i observar gràficament com varien els valors tèrmics i la velocitat del fluid al interior de la sala i les tuberes al llarg del temps.

ABSTRACT

The following project details all the operations and engineering processes needed to be done in order to design a hams drying plant.

From the dimensions of the drying plant and the raw material flow used in the drying process, we will be able to make calculations about the frigorific power and improve air Conditioning in all the rooms and select the correct refrigeration equipment so as to meet the requirements.

On the other hand, we are going to make a climate and analyse fluidodinàmic behaviour of a specific room through a complex simulation by means of Autodesk CFD Motion 2016 program and in this way we will be able to get the results in transitional performance and turn attention to the different graphic results and see how they change during the whole simulation.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	4
1.1. OBJECTIUS DEL PROJECTE	4
1.2. ABAST DEL PROJECTE	5
2. ANTECEDENTS	6
2.1. ENGINYERIA DEL PROCÉS DE CURAT DE PERNILS	6
2.1.1. IDENTIFICACIÓ I DESCRIPCIÓ D'ACTIVITATS	6
2.1.2. UBICACIÓ DE LA NAU I DISTRIBUCIÓ EN PLANTA	15
2.1.3. PROGRAMA PRODUCTIU I GESTIÓ	18
2.2. ENGINYERIA DE LES MÀQUINES FRIGORÍFIQUES	22
3. INSTAL·LACIÓ FRIGORÍFICA	37
3.1. NECESSITATS TÈRMiques	37
3.1.1. DADES I CÀLCULS PREVIS	37
3.1.2. ESTIMACIÓ CÀRREGUES TÈRMiques	41
3.2. POTÈNCIA FRIGORÍFICA REQUERIDA	47
3.3. DISSENY DEL CIRCUIT FRIGORÍFIC	49
3.3.1. CIRCUIT FRIGORÍFIC PRINCIPAL	49
3.3.2. DISSENY DEL CIRCUIT FRIGORÍFIC DELS ASSECADORS	54
4. SIMULACIÓ TERMODINÀMICA PER ELEMENTS FINITS SALA Nº5	63
5. CONCLUSIONS	85
6. BIBLIOGRAFIA	87
6.1. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	87
6.2. LLISTAT BIBLIOGRÀFIC FIGURES	88
6.3. LLISTAT BIBLIOGRÀFIC FIGURES	90
6.4. LLISTAT BIBLIOGRÀFIC TAULES	93

1. INTRODUCCIÓ

En els darrers anys, el sector de la indústria alimentaria ha crescut considerablement, però el que ha donat un pas més endavant és el sector de curat de productes càrnics, concretament el del pernil Ibèric. Aquest creixement és degut a la constant demanda de nous clients procedents de països com Estats Units i Xina on la fama del producte ha assolit nivells inimaginables.

Durant l'any 2016 es va assolir un creixement de vendes del 12% a EEUU (500 tones d'exportacions) i un 2'6% a Xina (1100 tones d'exportacions), durant els propers anys es preveu una demanada exponencial del producte ibèric, ja que per aquests països es tracta d'un producte de gran interès gràcies a la seva bona qualitat i sabor. És per això que grans empreses com ElPozo, Campofrío i fins un total de 34 grans empreses Espanyoles han acabat desembarcant en aquest gran mercat amb tendència a desbordar les demandes.

1.1. OBJECTIUS DEL PROJECTE

En el següent projecte es pretén dissenyar la instal·lació frigorífica necessària per posar en marxa una planta dedicada exclusivament al processat i curat de pernil ibèric.

Aquesta planta estarà dissenyada per portar a terme un programa productiu de 80.000kg de pernil per setmana.

A través d'aquesta dada es faran un seguit de càlculs per determinar la potència frigorífica necessària per tal de dur a terme el correcte procés de curat i és farà una selecció del material necessari a instal·lar en la nau industrial en qüestió.

També es realitzarà una simulació per elements finits amb el programa Autodesk CFD Motion 2016 per tal de fer un estudi del sistema climatitzat i del moviment fluidodinàmic de l'aire dintre d'una de les diferents sales d'assecatge i observar de forma gràfica com varien les condicions al llarg del temps.

Finalment es realitzarà el pressupost de tot el material necessari a instal·lar i es realitzarà una conclusió dels resultats obtinguts.

1.2. ABAST DEL PROJECTE

En el present projecte es presenta un estudi en detall d'una instal·lació frigorífica per una nau industrial situada a la població de Navàs al polígon industrial situat a la carretera del Mujal concretament la B-423. S'ha escollit aquesta nau degut a la seva posició estratègica, logística i dimensional per tal d'obtenir el programa productiu esmentat.

El seu estudi estructural i elèctric necessari per el disseny de la nostre instal·lació no es tindrà en consideració en el projecte. Per altra banda, tot el que estigui relacionat amb la instal·lació elèctrica de cada component seleccionat, la programació necessària de tots els PLC de control de climatització, elaboració d'esquemes elèctrics, etc. no es tindran en consideració.

Totes les màquines de processat o que intervenen en el curs del processat de pernil (classificadores, etiquetadores, rentadores, saladores...) no es tindran en mirament en l'estudi tecnològic de la màquina ni en el pressupost, ja que no forma part del sistema de climatització del projecte en qüestió.

Tanmateix, en el present projecte s'ha detallat un estudi enfocat en l'àmbit termomecànic i fluidodinàmic analitzant tots els paràmetres a estudiar per tal de determinar els equips a escollir i finalment realitzar un estudi en detall simulant una de les càmeres frigorífiques, en concret la més petita degut a la seva complexitat, ja que els programes actuals que treballen per elements finits enfocats en l'àmbit fluidodinàmic són molt potents i no pots simular models gaire complexos, pel fet de tenir moltes possibilitats que no et puguin convergir els resultats.

Aquesta simulació s'ha dut a terme per tal de poder validar el correcte funcionament dels conductes i tuberes dissipadores instal·lades al llarg de tota la sala i garantir un correcte desenvolupament dinàmic dels sistemes de ventilació i per altra banda assegurar que no hi hagin punts termodinàmicament crítics i optimitzar el circuit al màxim possible per abaratir costos.

2. ANTECEDENTS

2.1. ENGINYERIA DEL PROCÉS DE CURAT DE PERNILS

2.1.1. IDENTIFICACIÓ I DESCRIPCIÓ D'ACTIVITATS

Al llarg de la història, el procés d'elaboració de pernil ha anat variant i actualitzant-se, ja que cada zona o cada empresa té la seva recepta pròpia i metodologia del procés de manufactura.

Les primeres notícies sobre el curat de pernil daten sobre l'època de l'Imperi romà encara que els primers porcs (*Sus escrofa domestica*) van aparèixer als inicis del Neolític. A Tàrraco es va trobar un pernil fossilitzat de gairebé dos mil anys.

Les races actuals de porc ibèric són el producte de llargs processos de selecció i adaptació a les condicions ambientals locals: tot i que tampoc s'ha de descartar el paper que juga el fet de hibriditzar-los amb porcs senglars.

El procés tècnic d'assecatge i curat del pernil ibèric en aquesta instal·lació de disseny es realitzarà seguint les següents operacions:

1r. Recepció del pernil:

Si el pernil és adquirit, en estat congelat, dels camions frigorífics procedents de diferents escorxadors, es descongelarà en una càmera on un equip tèrmic de descongelat especial, equipat amb unes resistències elèctriques, una humitat de 70/80 % i amb una temperatura programada d'entre 5/10°C durant les primeres 24 hores, farà que la temperatura de la matèria primera arribi als 3/4°C.

Si és adquirit fresc a 3/4°C podrà passar directament a la sala d'emmagatzematge de gènere rebut, on prèviament se li faran unes proves a un nombre determinat de pernils per comprovar el seu estat o bé per detectar bacteries no desitjades com la salmonel·la, etc. Altrament, es durà a terme una classificació del gènere on els criteris de selecció són:

- Control d'aspecte extern.
- Classificació segons la massa.
- Control de PH: comprès entre 5'5 i 5'8.

- Control de temperatura: abans de començar el procés d'elaboració, la temperatura completa tan externa com interna, no pot superar els 4°C.

Un cop els tens classificats, necessites dur a terme un enregistrament del producte, per tant és necessari un equip d'etiquetatge per tal de marcar de forma llegible i permanent amb un segell on figura la setmana i l'any d'inici del salatge per tal de verificar el seu curs.

Les empreses estan obligades a enregistrar el producte depenent de la procedència, tipus de raça i el temps de curat que el client li imposa. Actualment s'utilitzen 4 tipus de colors generals segons la normativa vigent (RD 4/2014). El color negre indica que la raça del porc és 100% ibèrica alimentat amb glans a la devesa, el vermell que la raça no és 100% ibèrica però estan alimentats amb glans a la devesa, el verd que estan alimentats majoritàriament amb pinso i finalment el color blanc indica que són porcs alimentats amb pinso i criats a una cort.

2n. Elaboració i salatge:

En aquesta fase comença el procés de curació del pernil, on un cop sortit del magatzem de gènere rebut, se li fa l'operació de salatge.

El salatge té com a finalitat la incorporació de sal comuna o altres agents de salat com el clorur sòdic, nitrats, nitrats, etc. a la massa muscular del pernil, contemplats per la Directiva 95/2/CE. D'aquesta manera s'aconsegueix afavorir la deshidratació i conservació de les peces i a la vegada contribuir en el correcte desenvolupament del l'aroma i el color típics dels productes curats.

El procés de salatge s'inicia amb una màquina anomenada sagnadora que s'encarrega d'aplicar una pressió amb uns corròns cònics per tal d'alliberar possibles restes de sang i excessos d'aigua.



Figura 1: Màquina sagnadora.

A continuació, es fa passar per un tambor motoritzat que va girant i va aplicant petites porcions de nitrits, nitrats, àcid ascòrbic, etc. que impedeix l'oxidació de la grassa del pernil i el risc d'agafar possibles fongs o bacteries no desitjades a fi d'accelerar la seva penetració i uniformització.



Figura 2: Tambor motoritzat dosificador de sals i nitrats.

Un cop surt de la màquina es col·loca en uns contenidors higiènics d'acer inoxidable AISI316 o bé de plàstic alimentari i s'omplen de sal on romandran un temps que dependrà del seu pes i contingut gras, aproximadament 0'65/2 dies per Kg de pes del pernil.



Figura 3: Operari omplint de sal els contenidors higiènics amb els pernils.

El procés es realitzarà en unes condicions de temperatura compreses entre 0/4°C i una humitat relativa entre 75/95%.

3r. Rentat i premsat:

La fase del rentat consisteix en l'eliminació del residu salí de la superfície gràcies a un sistema de reixes amb uns vibradors incorporats en l'estructura per tal d'extreure la major quantitat possible de sal residual provinent dels contenidors higiènics. A continuació, un sistema de cargols sense fi retornen la sal al dipòsit amb la finalitat de repetir el cicle sense la necessitat de renovar gran part de la sal en cada lot de producte.



Figura 4: Expulsió restes residuals i excessos de sal.

Després del sacseig queda una part residual molt més petita que també s'extreu, per tant és necessari l'ús d'una rentadora que s'encarrega d'extreure la sal mitjançant uns injectors d'aigua a pressió i uns raspalls pneumàtics.



Figura 5: Màquina rentadora per aigua a pressió.

Aquesta aigua forma part d'un circuit tancat que es diposita en un tanc estancat on a partir de la sedimentació es pot recuperar un percentatge de sal i al mateix temps no alliberes el fluid salí a la xarxa residual evitant la contaminació de les aigües.

Un cop netejat el pnil, es col·loca en una premsa per donar-li la forma desitjada i per extreure excessos de líquids i posar-lo a les gàbies el màxim de sec possible per enviar-lo a la càmera d'assecatge primària o anomenada també de post-salat.

4t. Post-salatge:

La fase del post-salatge té com a finalitat aconseguir una distribució homogènia de la sal per l'interior de la peça, inhibir el creixement microbià indesitjable i canalitzar els processos bioquímics d'hidròlisis (lipòlisis i proteòlisis) que produiran l'aroma i el gust característic.

Al mateix temps es produeix l'eliminació lenta i gradual de l'aigua superficial, aquest fet comporta que la peça vagi adquirint una major consistència externa.

En aquesta fase els pernils romandran a baixes temperatures, mantenint-se entre 0 i 6°C de temperatura i una humitat relativa entre 70/95%. Aquí és de vital importància controlar la humitat i reduir-la el màxim possible, ja que és on més quantitat de líquids s'alliberaran a l'ambient, per tant l'equip d'assecatge ha d'estar en constant funcionament per tal de condensar l'aigua que alliberarà el pernil.

El temps mínim és de 40 a 60 dies.



Figura 6: Sala de post-salatge.



Figura 7: Sala de post-salatge.

5è: Assecatge/Maduració:

Durant aquesta etapa persisteix la deshidratació gradual del producte i té lloc el suat o fusió natural d'una part de les grasses del seu teixit adipós, moment en què s'estima que la dessecació és suficient.

El pernil es col·locarà en una càmera amb una temperatura d'entre 6 i 16°C per tal d'anar reduint la humitat fins assolir valors de 60/70% durant un període mínim de 90 dies.

Posteriorment, la temperatura s'eleva entre 16 i 26°C i la humitat es mantindrà entre el 55 i 70% durant un període mínim de 90 dies.



Figura 8: Sala d'assecatge.

6è. Bodega:

Durant aquest període els processos bioquímics iniciats en les fases anteriors continuen presents amb la intervenció de la flora microbacteriana que li adoptarà una aroma i gust concret en funció del temps de descans en la bodega.

En aquesta etapa el pernil manté una humitat relativa entre el 60/70% i la temperatura es reduirà entre els 12 i 22°C, mantenint aquests valors durant un mínim de 115 dies en funció de la qualitat que el client desitgi del seu producte.



Figura 9: Sala d'assecatge de grans dimensions.

7è. Control de qualitat

- **Fase 1:** Determinació de paràmetres sensorials.

S'analitzen paràmetres com l'aspecte, color, olor, textura i gust.

Dintre de l'aspecte s'avalua tant la grassa com el marcatge, centrant-se en el color, la brillantor i el grau de vetes de grassa en el marcatge.

Referent a la textura, s'avalua la grassa, tenint en compte la duresa i fluïdesa.

A l'interior del producte s'analitza la duresa, fibrositat, sequedat i suculència.

En estudiar l'aroma i el gust s'avalua el grau de salat i la persistència dels mateixos.

- **Fase 2:** Determinació dels paràmetres físico-químics.

Els paràmetres físics a analitzar són la humitat, l'activitat de l'aigua(Aw) i el PH superficial.

També es centren en temes com el contingut i composició de la grassa, la determinació de diferents variables pel què fa a l'oxidació, l'anàlisi de compostos volàtils i l'anàlisi de compostos derivats de la proteòlisis. La proteòlisis consisteix en la degradació de proteïnes ja sigui mitjançant enzims (molècules de naturalesa proteica que catalitzen reaccions químiques sempre que siguin termodinàmicament possibles) específics anomenats peptidases o per mitjançant la digestió intracel·lular.

Els resultats de la proteòlisis mostren el comportament de la grassa en el pernil i el contingut en àcids grassos.

També s'analitza el TBA (índex d'àcid trobarbitúric) on es quantifica la quantitat de malonaldehid (un producte final d'oxidació).

- **Fase 3:** Determinació microbiològica:

Existeixen diferents eines per determinar els diferents grups microbacterians necessaris pel correcte curat del pernil i són els següents:

- PCA: recompte de mesòfils i psicrotrofs.
- DRBC (Dicloran Rosa Bengala Cloroanfenicol): estudi de la floridura i llevadores.
- DG18 (Dicloran Glicerol al 18%): indicador de floridura xeròfils.

8è. Expedició:

Els pernills es pesaran, s'etiquetaran segons la qualitat i providència i s'empaquetaran pel seu correcte enviament.

Diagrama del procés complet:

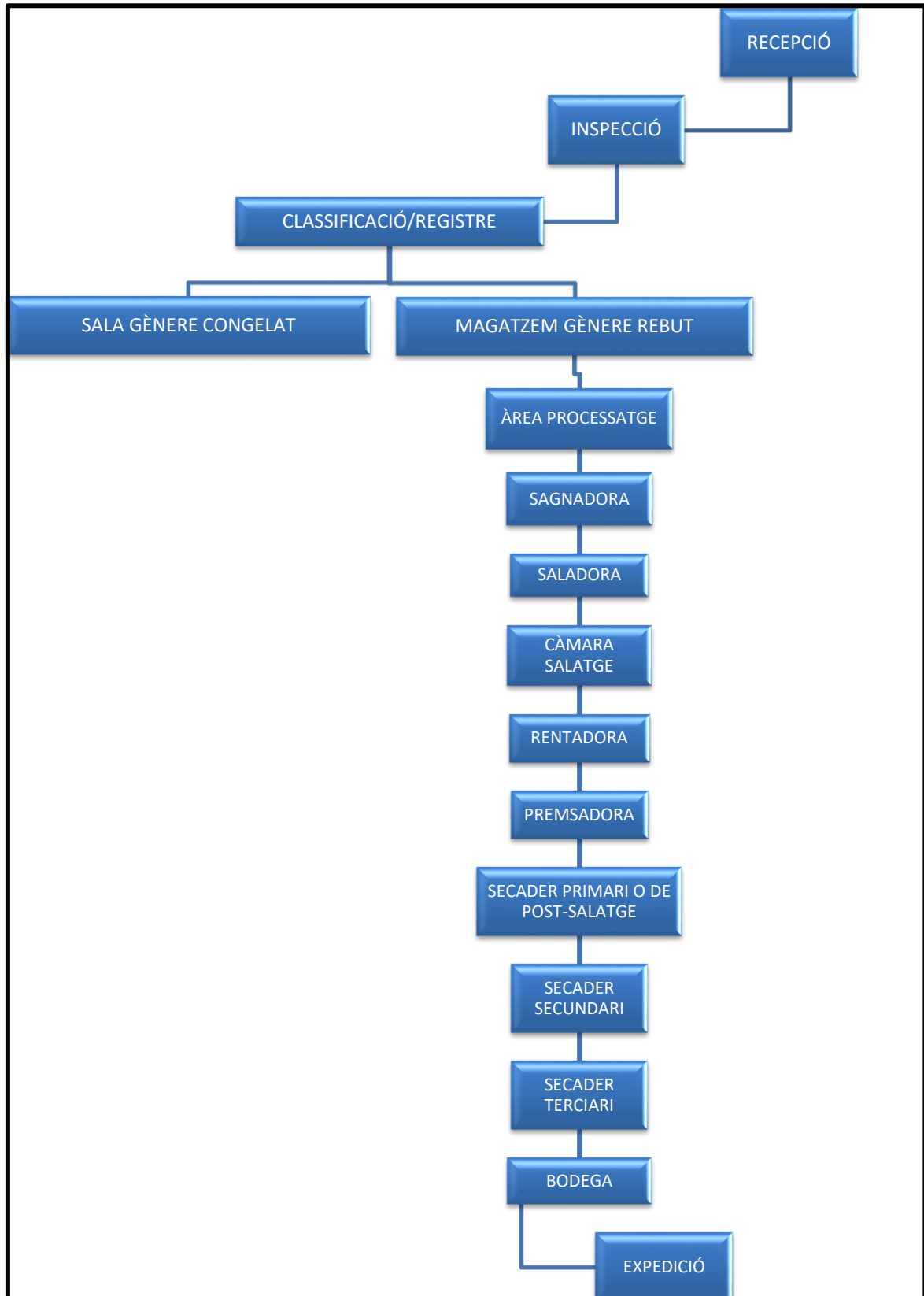


Figura 10: Diagrama del procés d'elaboració del pernil curat.

- **Disseny de distribució en planta:**

La missió del disseny implementat en el projecte és la de disposar de la millor posició possible de les àrees de treball i de l'equip per tal d'aconseguir la màxima economia en el treball i al mateix temps, major seguretat i satisfacció dels treballadors.

La distribució en planta adoptada s'ha tingut en compte els següents objectius:

- Principi de la satisfacció i la seguretat.
- Principi de la integració del conjunt: la bona distribució és la que integra els homes, matèria, maquinària, activitats auxiliars, etc.
- Principi de la mínima distància recorreguda possible.
- Principi de la circulació del flux de la matèria primera.

Aquest principis són els essencials, però també s'ha de tenir en compte que en aquesta indústria de climatització has de tenir en consideració el fet que no pots distribuir les sales de forma que en alguns sectors tinguis fonts energètiques de diferent potencial tèrmic, és a dir, has d'ordenar les sales de fred a una zona en concret de la nau i les de caràcter tèrmic més positius a un altre sector. Si les barreges no compliràs les normes de seguretat i higiene del sector càrnic per perill de contaminació tèrmica.

Per una banda, també s'ha de tenir en consideració la ubicació correcta de les màquines de desinfecció del personal de treball que marca la reglamentació INSHT (Institut Nacional de Seguretat i Higiene en el Treball). Aquestes màquines es col·loquen de tal forma que el personal es vegi obligat a dur-les a terme a fi de poder entrar a la zona de treball. La màquina consisteix en una passarel·la on uns raspalls impregnats amb substàncies desinfectants (alcohols) freguen les soles de les sabates i al mateix temps l'operari ha de posar les mans dintre d'uns orificis on un pulmó descarrega un desinfectant a través d'aire a pressió.

Per l'altre banda, al llarg de tota la nau es distribuïran una sèrie de canons d'Ozó per tal d'assegurar la desinfecció total d'agents bacterians no desitjats.

A continuació, es classificaran totes les àrees de la nau juntament amb les seves referències numèriques representades en el plànol A1 a través de la taula 1 que es mostra a continuació:

Departament	Àrees del departament	Sala i referència d'ubicació	Activitat
Recepció	Àrea de recepció	Moll de descàrrega (1)	Recepció
	Àrea gènere congelat	Sala gènere congelat (2)	
	Àrea magatzem gènere rebut	Magatzem gènere rebut (3)	
Producció	Àrea processat	Càmera de salatge (4)	Elaboració
	Àrea salatge	Càmera assecatge principal (5)	Salatge
	Àrea assecatge	Càmera assecatge secundari (5.1)	Rentat
		Càmera assecatge terciari (5.2)	Premsatge
		Bodega (6)	
Administració i Logística	Àrea d'expedició	Sala d'emalatge i moll d'expedició (7)	Assecatge
	Àrea d'oficines	Oficines (11)	Maduració
		Vestuari (12)	Curat
		Sala descans (13)	Expedició
		Serveis (14)	
Manteniment	Àrea manteniment	Taller (8)	Control
	Àrea de neteja	Magatzem material de neteja (9)	Manteniment
	Àrea control de qualitat	Sala de màquines (10)	Higiene
	Àrea desinfecció	Passadís desinfectant (15)	
		Laboratori (16)	

Tabla 1: Taula de classificació de les diferents àrees respecte les sales de la nau.

2.1.3. PROGRAMA PRODUCTIU I GESTIÓ

En una indústria càrnica concretament sobre el curat de pernil, els condicionants bàsics sobre la producció són dos:

- Demanda d'empreses encarregades de vendre embotits o solament pernil. Moltes grans empreses com Guissona, El Pozo, Casa Tarradellas, Export el Bruguer, etc. envien els seus productes a assecadors externs, ja que els és molt més econòmic i s'asseguren de tenir un correcte curat donat que l'assecador ja té l'ambient preparat i compost per un determinat sistema microbacterià encarregat de curar el producte.
El mateix passa amb empreses estrangeres on prefereixen enviar el seu producte a empreses de l'exterior especialitzades en l'estudi del curat.
- Capacitat dels assecadors.

El procés productiu dissenyat per aquest projecte en concret i en funció de les dimensions de la nau mostrades en el plànol A2 és el següent:

El procés productiu s'iniciaria quan la sala d'emmagatzematge de gènere **(3)** hi haguessin suficients pernils com per omplir 96 gàbies on cada una hi pengen 84 pernils, és a dir, 8064 pernils a fi de salar-los en un sol dia per poder iniciar el procés de curat de tot el lot de producte. Aquest procés es portaria a terme cada setmana, per tant és necessari l'entrada de 1613 pernils cada dia, tot i que la sala de gènere actuaria de pulmó si variés la quantitat entregada.

El pernil un cop s'extreu de la sala d'emmagatzematge de gènere rebut o bé de la sala de descongelat es ficaria a salar a la càmera de salatge **(4)**, on primerament es faria passar el producte per la sagnadora i a continuació, es col·locaria dintre del tambor motoritzat per impregnar-los de sals, nitrats, etc. per conseqüentment desar-los en els contenidors higiènics de 1.24x1.08x1.25m on hi caben 42 pernils juntament amb la sal dipositada gràcies a la màquina de salar, que és una màquina basada en un cargol sense fi que prové d'un gran dipòsit de sal on es reutilitza gran part de la sal provinent del rentat dels pernils que entren en fase de post-salatge.

Seguidament es dessalarien, es farien passar per la màquina de rentat, es premsarien i s'anirien col·locant novament en gàbies fins assolir novament les 96 gàbies per tal de poder aprofitar el màxim volum que t'ofereix la sala d'assecatge principal **(5)**.

El disseny de la nau està dotat de 8 sales d'assecatge principal, oferint així la possibilitat d'omplir una sala per setmana i buidar-ne una per setmana ja que, 7 dies que té una setmana per 8 sales, donen el marge de temps de 56 dies d'assecatge recomanat en aquesta fase del procés de post-salatge.

Les sales de curat **(5.1)/(5.2)** estan dissenyades amb unes dimensions pensades per acollir 1248 gàbies que equivaldria a 13 sales d'assecatge principal per tal de que cada lot pugui romandre en la sala un mínim de 90 dies.

Per altra banda, la bodega **(6)** té la capacitat de 1248 gàbies tenint en compte una estimació, ja que cada client escull un número de dies determinat a gust i petició personal.

- **Balanç matèria primera:**

El flux de producte pel qual estan dissenyades les dimensions de la nau i la sèrie escollida de refrigeració està pensat per suportar el tractament de **8000 pernils per setmana** on cada pernil pesa una mitjana de 10 kg, per tant estem parlant de l'entrada de **80.000 Kg** cada setmana.

- **Inventari utilatge pel procés productiu:**

En la següent taula 2 es mostra un recull de l'inventari necessari per posar en marxa el procés productiu per tal de fer possible el processat de 80.000 kg pernil cada setmana.

Departament	Material o utilatge	Unitats
• Àrea recepció de gènere	Cinta extensible pel moll de descàrrega	1
	Màquina de pesatge dinàmic	1
	Màquina de classificat	1
	Serra sable (tallar residus)	2
	Cordills d'identificació client i subjecció	n
	Màquina de marcatge identificació sanitària	1
	Etiquetador codi de barres	1

• Àrea de salatge	Dipòsit de sal + circuit cargols sense fi	1
	Massatjadora/sagnadora	1
	Tambor motoritzat (salador/dosificador sals)	1
	Taula dessalatge vibratori	1
	Rentadora	1
	Premsa	2
	Contenidors higiènic AISI316 1.24x1.08x1.25 m	1026
	Gàbies 1.2x1.2x2m	5000
• Àrea d'expedició	Transpalet hidràulic	3
	Màquina empaquetatge	3
	Etiquetadora xapa identificació RSI	2
	Bàscula palets	1
	Màquina expenedora de llard	2
	Màquina de desconnar	2
• Taller	Carretons elevadors	4
	Equips de soldadura	1
	Material de manteniment	

Taula 2: Utilitatge essencial pel correcte programa productiu.

- **Inventari jeràrquic i mà d'obra necessària pel procés productiu:**

Considerant les dimensions del projecte en qüestió i per garantir un correcte desenvolupament de l'enginyeria que comporta el procés de producció de pernil es requereix de la següent plantilla jeràrquica desenvolupada seguint la guia d'una empresa del polígon industrial de Bufalvent anomenada Pernils Bufalvent S.L.

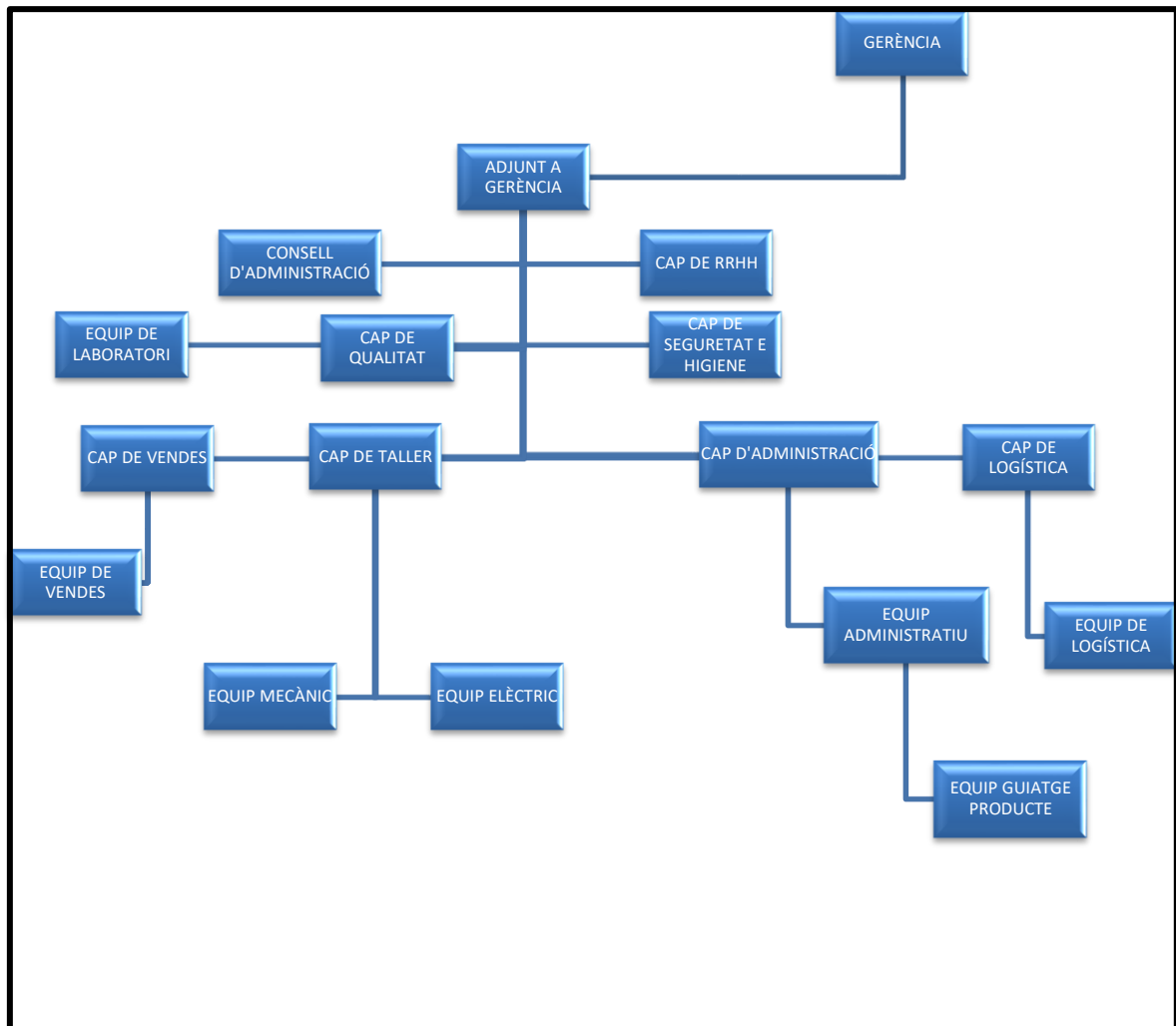


Figura 12: Diagrama jeràrquic d'una empresa dedicada al sector d'assecatge.

2.2. ENGINYERIA DE LES MÀQUINES FRIGORÍFIQUES

Una màquina frigorífica és un motor tèrmic funcionant a la inversa; en el motor tèrmic, el fluid termodinàmic obté calor del focus calent, realitza un treball mecànic i cedeix calor al focus fred. En la màquina frigorífica, el fluid agafa calor del focus fred i el cedeix al focus calent. Com es pot observar, la transferència d'energia tèrmica es realitza en sentit contrari al que es produeix de forma espontània en la naturalesa, i segons el segon principi de la termodinàmica, això només pot passar si es realitza un consum de treball.

- Components bàsics d'una instal·lació frigorífica:

Compressor: s'encarrega de comprimir el fluid frigorigen en estat vapor i a baixa pressió i l'eleva fins a un valor on la temperatura de saturació sigui superior a la temperatura ambient que existeix en l'exterior de la màquina, de forma que sigui possible el canvi d'estat del fluid de vapor a líquid amb cessió de calor. Més endavant farem un recull dels tipus de compressors més utilitzats en aquesta enginyeria.

Condensador: es tracta d'un conducte en forma de serpentí per aconseguir una gran superfície de contacte facilitant el ràpid intercanvi de calor entre el flux intern respecte el medi exterior. Aquest conducte es va omplint de vapor provinent del compressor i va augmentant la seva pressió fins arribar a la pressió de vapor, moment el qual es liqua, cedint calor al exterior.

Vàlvula d'expansió: aquest dispositiu s'utilitza per regular l'entrada en l'evaporador del fluid frigorigen provinent del condensador. Mitjançant aquesta vàlvula s'aconsegueix que l'evaporador s'alimenti de forma contínua. Així, es disposa en l'evaporador del fluid frigorigen necessari per aconseguir que es mantingui la pressió de vapor que es necessita, segons la temperatura desitjada, per tal de que es produeixi el pas de líquid a vapor amb la corresponent absorció de calor.

Evaporador: és un intercanviador de calor similar al condensador. En aquest cas, l'evaporador va rebent fluid en estat líquid a baixa pressió, procedent de la vàlvula d'expansió. Les propietats termodinàmiques del fluid frigorigen permeten que, per la pressió existent en l'evaporador, la temperatura de vapor a la que es produeix el canvi de líquid a vapor sigui inferior a la temperatura del local que es desitja refredar. D'aquesta forma, el fluid absorbeix el calor que necessita pel canvi d'estat del medi exterior i el refrigera.

- Cicle termodinàmic teòric de la màquina real.

Les transformacions termodinàmiques realitzades pel fluid són les que es mostren en la següent figura:

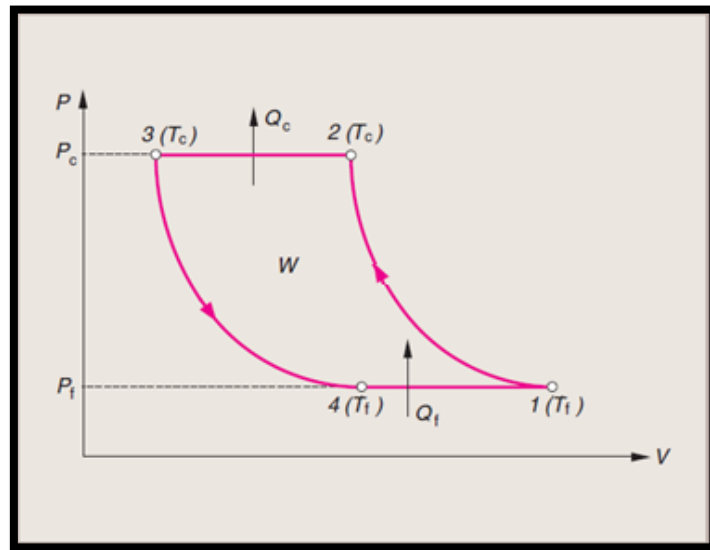


Figura 13: Diagrama P-V cicle termodinàmic real de la màquina frigorífica

- Transformació 1-2: compressió adiabàtica: el fluid, a temperatura T_f i pressió P_f , rep un treball (W), augmentant la seva pressió i temperatura fins P_c i T_c , però sense intercanvi de calor amb l'exterior.
- Transformació 2-3: condensació: el fluid realitza un canvi d'estat, passant de vapor a líquid. Aquest canvi d'estat condueix a una alliberació de calor (Q_c) per part del fluid termodinàmic fins al focus calent. Teòricament, aquesta transformació es realitza a pressió i temperatura constant.
- Transformació 3-4: expansió adiabàtica: es permet l'expansió del líquid, amb el qual es disminueix la pressió i la temperatura fins els valors P_f i T_f . En aquesta transformació, el líquid realitza un cert treball, però és tan petit que, en la pràctica, no pot ser aprofitat. Teòricament, aquesta expansió es realitza sense intercanvi de calor.
- Transformació 4-1: evaporació: per tancar el cicle, el fluid canvia novament d'estat, ara de líquid a vapor, absorbint calor (Q_f) des del focus fred. En aquest cicle teòric, es suposa que aquest canvi es realitza a temperatura i pressió constant.

- Sistemes de refrigeració directes i indirectes:

Un sistema de refrigeració d'expansió directa, l'evaporador del qual, fa servir un refrigerant d'expansió directa que es troba en contacte amb l'espai o material per refrigerar o en conductes d'aire que comuniquen amb aquests espais.

Circular un frigorigen d'expansió directa a l'àrea o àrees en què es requereix el refredament sòl ser antieconòmic i un inconvenient. En aquests casos, s'empra el sistema de refrigeració indirecta, per això es refreda aigua o salmorra (o qualsevol altre líquid adequat) per mitjà d'un refrigerant d'expansió directa en un refredador de líquid, i tot seguit es bombeja a través de canonades dirigides a l'espai o producte que es desitja refrigerar. El líquid refredat, anomenat refrigerant secundari, pot circular directament a través del producte o recipient refrigerat, o bé pot passar a través d'un serpentí de refredament d'aire o algun altre tipus de superfície de transferència de calor. En qualsevol cas, el refrigerant secundari, escalfat per l'absorció de calor de l'espai o producte refrigerat, torna al refredador per ser novament refredat i recirculat.

Els sistemes de refrigeració indirecta, generalment s'empren avantatjosament en qualsevol instal·lació en què l'espai o producte per refredar es trobi localitzat a una distància considerable de l'equip de condensació. De fet, les línies de refrigerant d'expansió directa poques vegades són pràctiques. En primer lloc, són costoses en la seva instal·lació i necessiten una càrrega de frigorigen considerable. D'altra banda, les línies de frigorigen llargues, particularment elevadors llargs, originen problemes de retorn d'oli i causen pèrdues excessives en la pressió de frigorigen, que tendeixen a reduir la capacitat i eficiència del sistema. A més, les fuites són més serioses i més probables a les canonades de refrigerant primari que en canonades d'aigua o salmorra.

La refrigeració indirecta és necessària també en molts processos industrials, en els que sovint no és pràctic mantenir un tancament hermètic al voltant del producte o recipient que està sent refredat. Els sistemes indirectes, són més avantatjosos en qualsevol aplicació quan hi ha una fuga de frigorigen o d'oli, des de les línies, perquè es pot evitar la contaminació o un altre mal a un producte emmagatzemat. L'anterior s'aplica particularment a les plantes empacadores de carn i grans aplicacions d'emmagatzematge en fred, quan s'empra amoníac com a frigorigen.

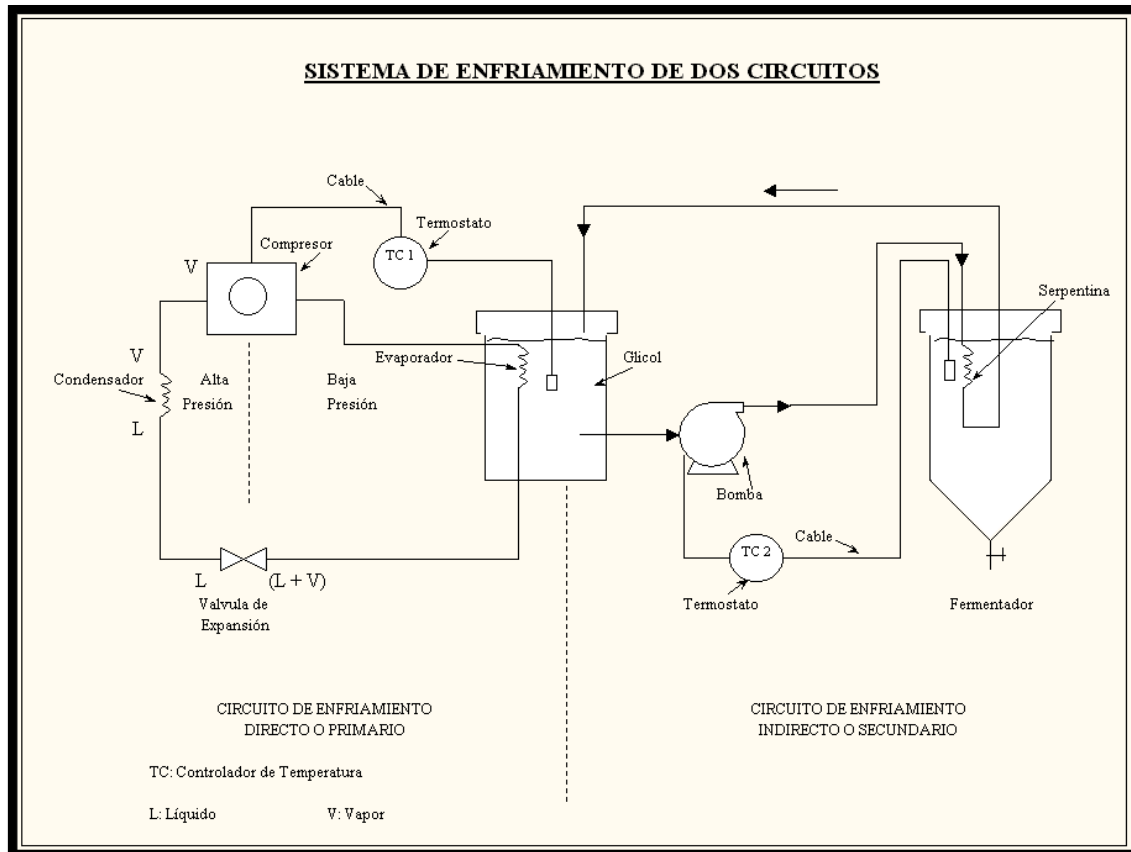


Figura 14: Exemple dels dos circuits de refrigeració esmentats anteriorment.

- Tipo de compresors:

Els compresors són els dispositius encarregats de fer passar el fluid frigorífic des de la pressió d'evaporació, corresponent a les condicions del focus fred, a la pressió de condensació del focus calent, cosa que comporta realitzar un treball extern.

El tipus de compressor depèn del tipus de fluid frigorífic emprat. En les màquines de desplaçament positiu s'aplica una força exterior per obligar a un cert volum de gas o vapor a desplaçar-se des del recinte a baixa pressió fins al recinte d'alta pressió. En els turbocompressors, el moviment d'un rotor comunica al gas un increment d'energia cinètica que posteriorment es tradueix en un increment de pressió al passar el fluid per un conducte de secció variable que actua com a difusor.

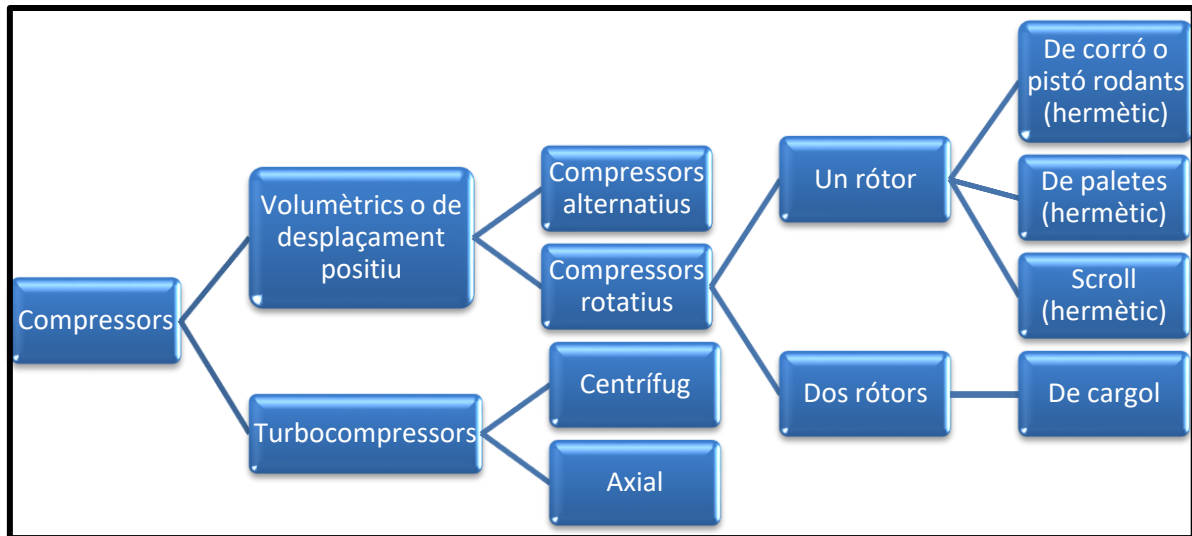


Figura 15: Classificació dels compresors atenent el seu principi de funcionament.

- Compresors alternatius: són màquines de desplaçament positiu on el gas és comprimit per mitjà d'èmbols que funcionen amb el mateix principi dinàmic i cinemàtic dels motors de combustió interna. Simplement en lloc de crear una combustió, es dedica a aspirar l'aire just quan l'èmbol retrocedeix, i comprimeix quan l'èmbol s'acosta a la culata de la càmera del pistó. Es basen en la transformació d'un moviment rotatiu en un d'alternatiu. Resulten insubstituïbles en instal·lacions de mitjana i elevada capacitat, degut a la seva gran flexibilitat i relació qualitat-preu.

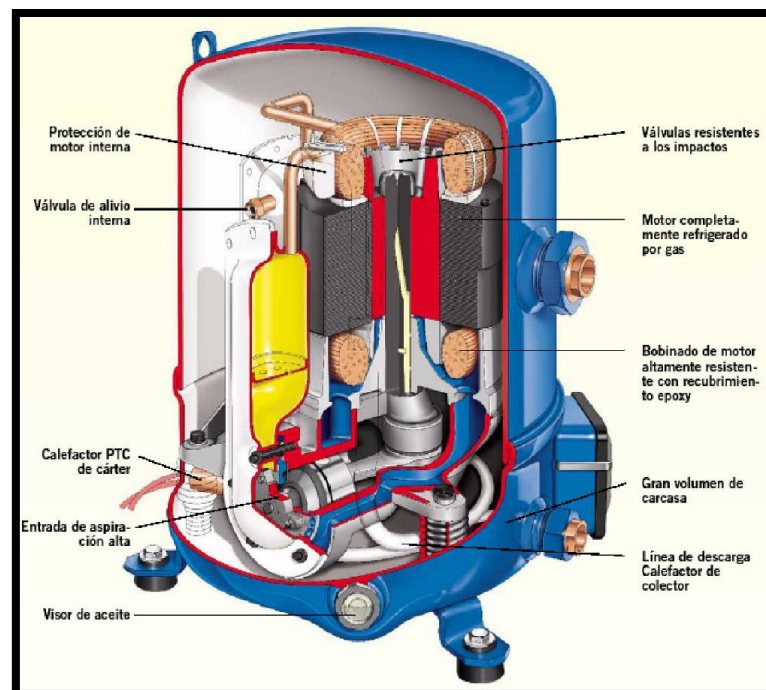


Figura 16: Vista seccionada compresor alternatiu del tipus hermètic.

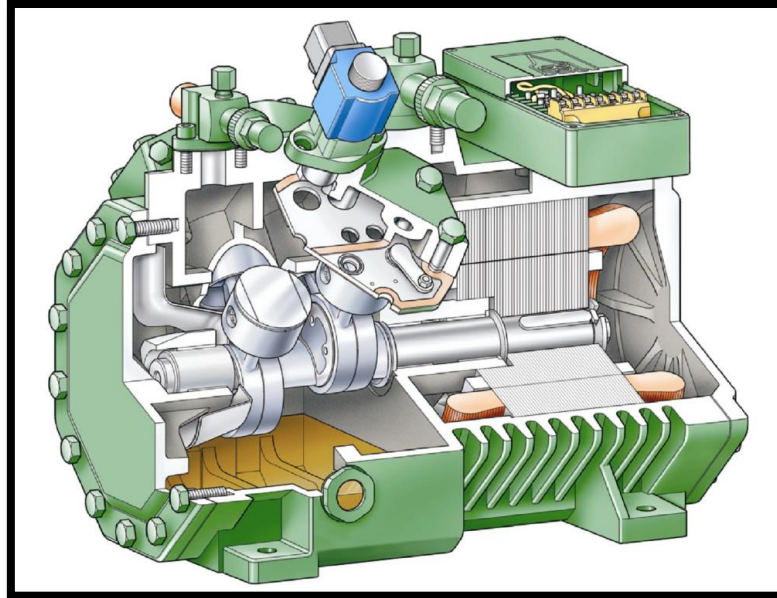


Figura 17: Vista seccionada compressor alternatiu del tipus semi-hermètic.



Figura 18: Compressor alternatiu del tipus obert

- Compressors rotatius: són particularment adequats per les aplicacions en les que es requereix un desplaçament volumètric elevat a pressions d'operació moderades.

Estan constituïts per un o diversos elements dotats de moviment rotatori que conformen el rotor, i aquest es troba situat en l'interior d'un cilindre (estator). La gràcia d'aquests compressors es basa en provocar una variació de volum gràcies a la forma del rotor. La diferència fonamental entre els rotatius i els alternatius és que per una part, al no realitzar-se un desplaçament alternatiu, fa

que es redueixi la presència de vibracions i, per altra part, el cabal màssic de gas és molt menys polsant.

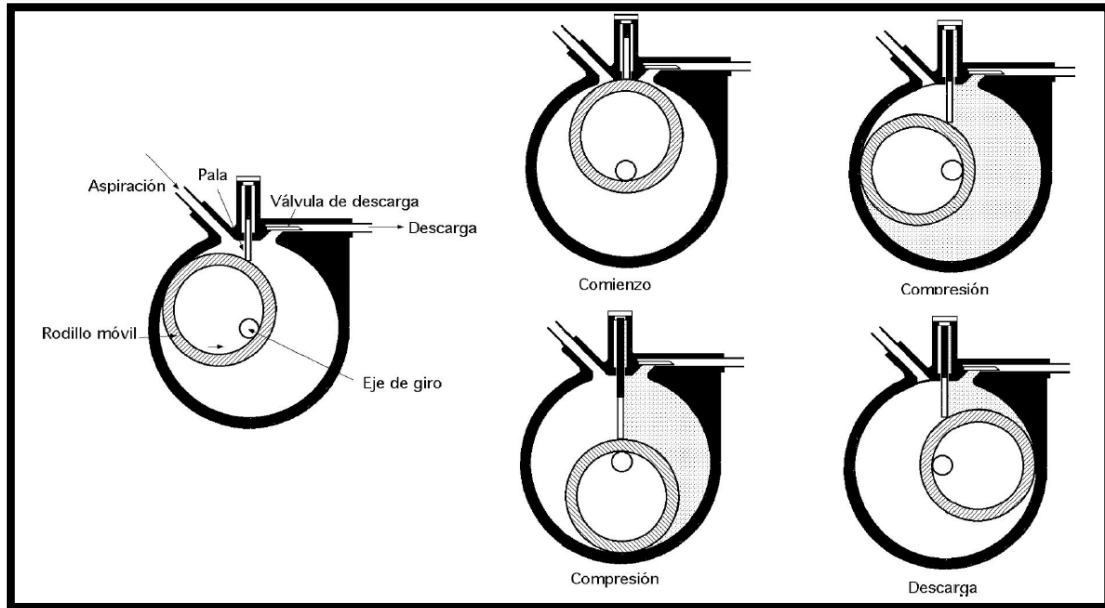


Figura 19: Compressors de corró o pistó rotatiu.

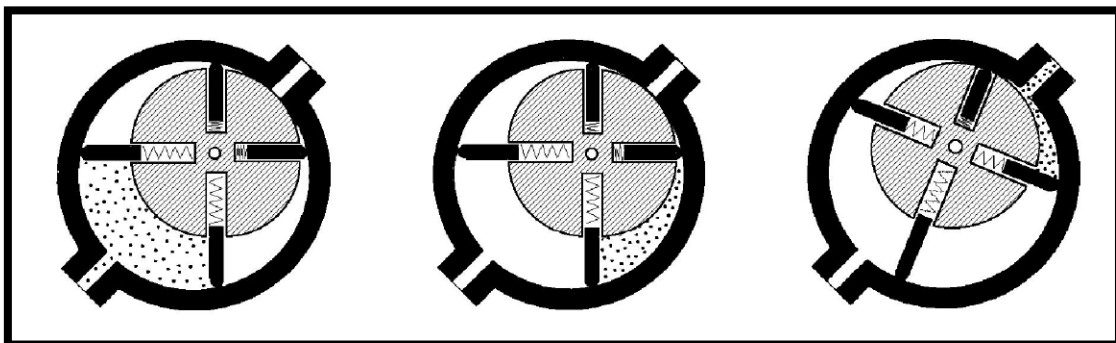


Figura 20: Compressor de paletes.

- Compressor Scroll: està dotat d'un espiral mòbil que segueix una trajectòria definida pel mecanitzat en una espiral fixe, a diferència del que succeeix amb la tecnologia a pistó, que requereix una gran quantitat de parts mòbils per aconseguir l'efecte de la compressió. L'espiral fixe està encaixada rígidament al cos del compressor. L'espiral mòbil orbita, acoblat a l'eix del compressor. El moviment orbital crea una sèrie de compartiments de gas que es desplacen entre les dues espirals. Aquests compartiments es formen en la perifèria de les espirals i van desplaçant-se cap al centre, on es produeix la descàrrega. A mida que aquests compartiments es desplacen, va disminuint el seu volum i

augmentant la temperatura i pressió del gas que està dintre d'ells, generant l'efecte de compressió que estem buscant.

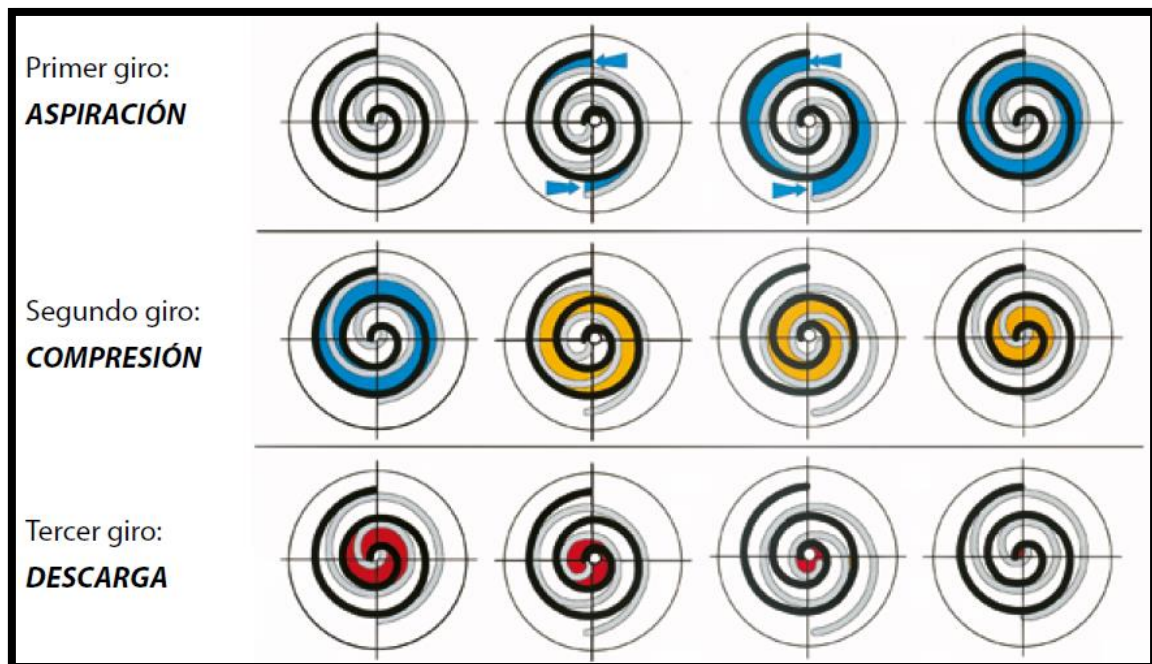


Figura 21: Principi de funcionament motor Scroll espiral fixe, espiral excèntrica rotativa.

- Compressors de cargol: el funcionament es basa en fer rotar dos cargols sense fi, un mascle i una femella dissenyats de tal geometria que a mida que avança l'aire pel seu interior es va comprimint. Són molt utilitzats en empreses de grans dimensions volumètriques, ja que són màquines molt pesants i de grans potències.

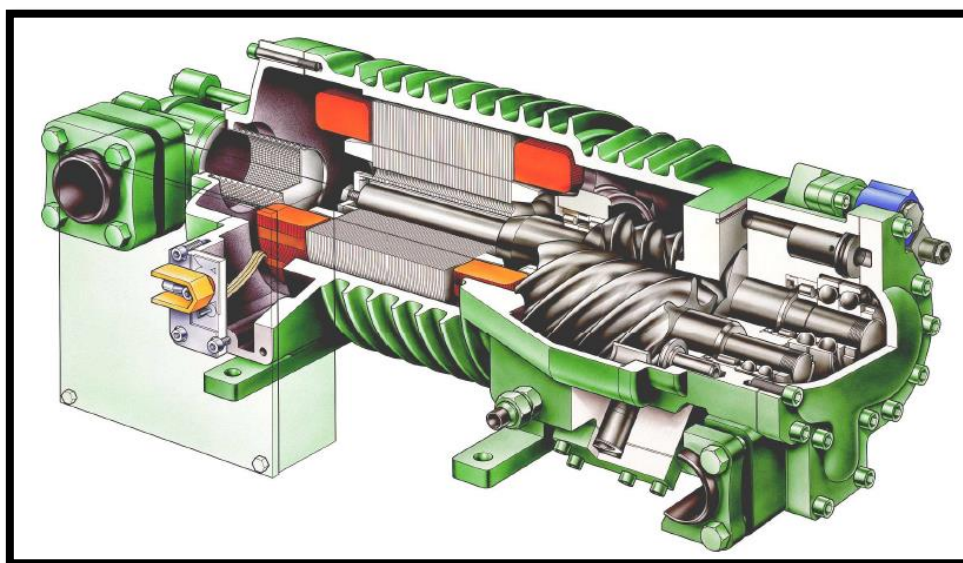


Figura 22: Compressor de cargol semi-hermètic amb vista seccionada.

- Evaporadors:

Els evaporadors són intercanviadors de calor construïts per un feix de tubs els quals permeten evaporar el fluid frigorigen, extraient el calor de l'espai que es vol refredar, que és en essència, el fenomen de producció de fred o potència frigorífica que es desitja aconseguir.

Els evaporadors es fabriquen amb una àmplia varietat de criteris, tipus, formes, dimensions i materials podent-se classificar de la següent manera:

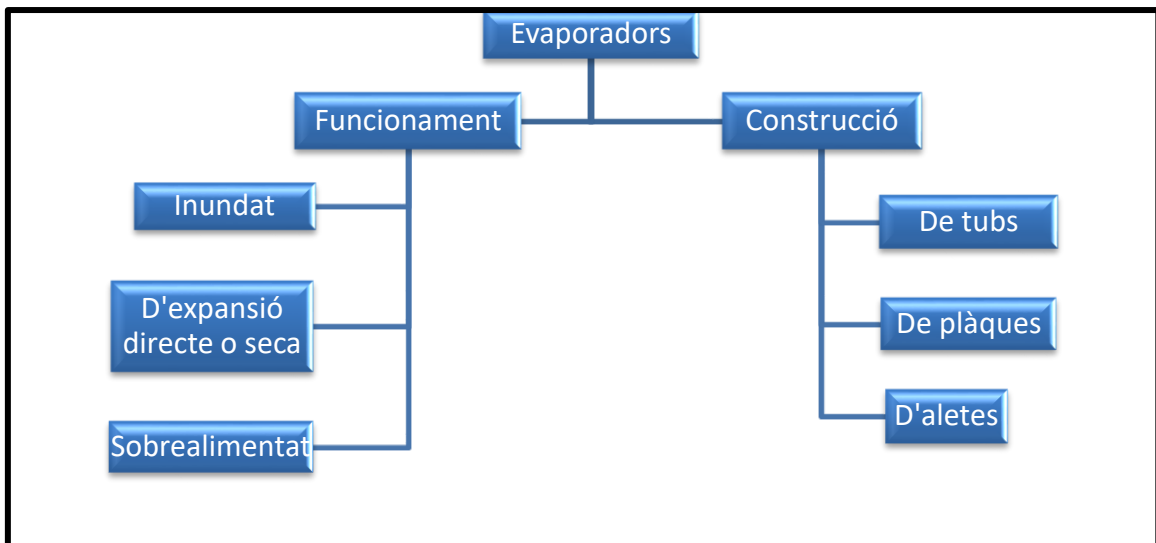


Figura 23: Classificació dels evaporadors

- Evaporadors segons el seu funcionament:

- Evaporadors d'expansió directe o seca: l'alimentació del frigorigen es realitza mitjançant un sistema d'expansió, de forma que el líquid s'evapora totalment al llarg de l'evaporador, generalment amb un lleuger sobreescalfament. El frigorigen està en la proporció estrictament necessària per formar un vapor saturat sec el qual proporcionarà un bon funcionament al compressor.

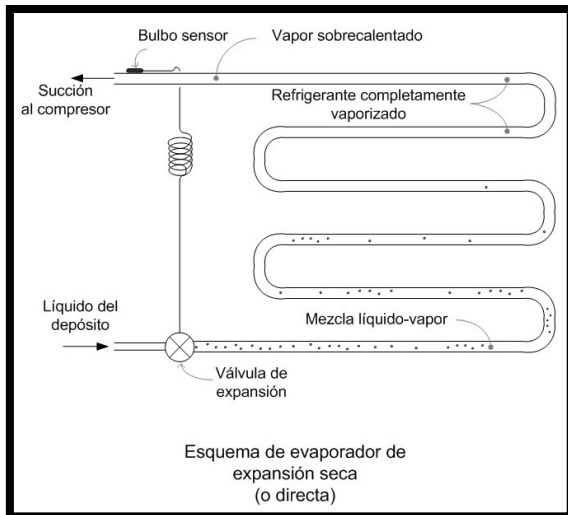


Figura 24: Evaporador d'expansió directa o seca

Figura 25: Esquema funcionament evaporador directe o seca

- Evaporadors inundats: es troben sempre completament plens de refrigerant líquid, regulant-se l'alimentació mitjançant una vàlvula de flotador, la qual manté constant el nivell de líquid en l'evaporador. Preferentment són utilitzats en aplicacions industrials, amb un nombre considerable d'evaporadors, operant a baixa temperatura i utilitzant amoníac (R717) com a refrigerant.

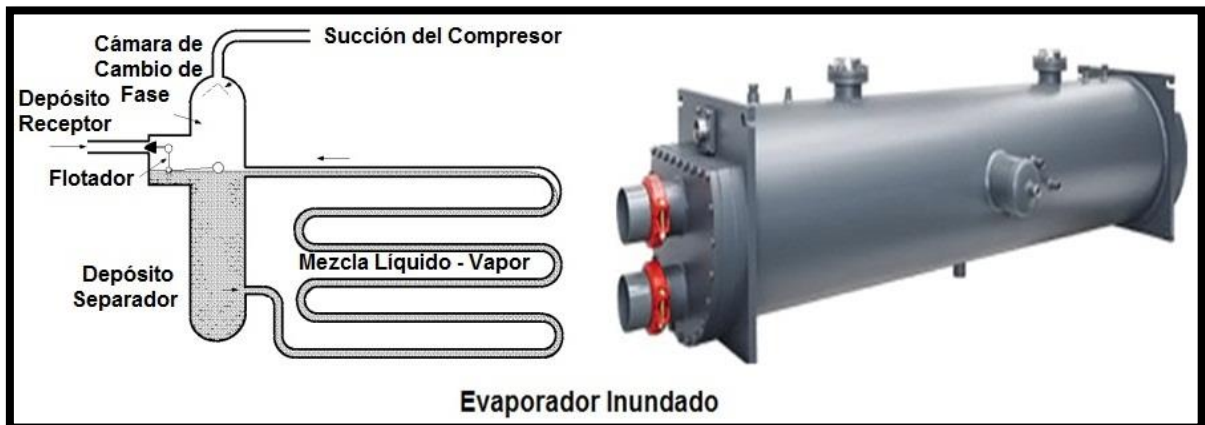


Figura 26: Esquema funcionament evaporador inundat

- Evaporador sobrealimentat: en aquest tipus d'evaporadors, el flux màssic de líquid supera considerablement el flux de vapor produït en l'evaporador. D'aquesta manera, el flux que abandona l'evaporador es barreja vapor-líquid d'alt títol, que no arriba a ser vapor saturat. Són preferentment utilitzats en aplicacions industrials.

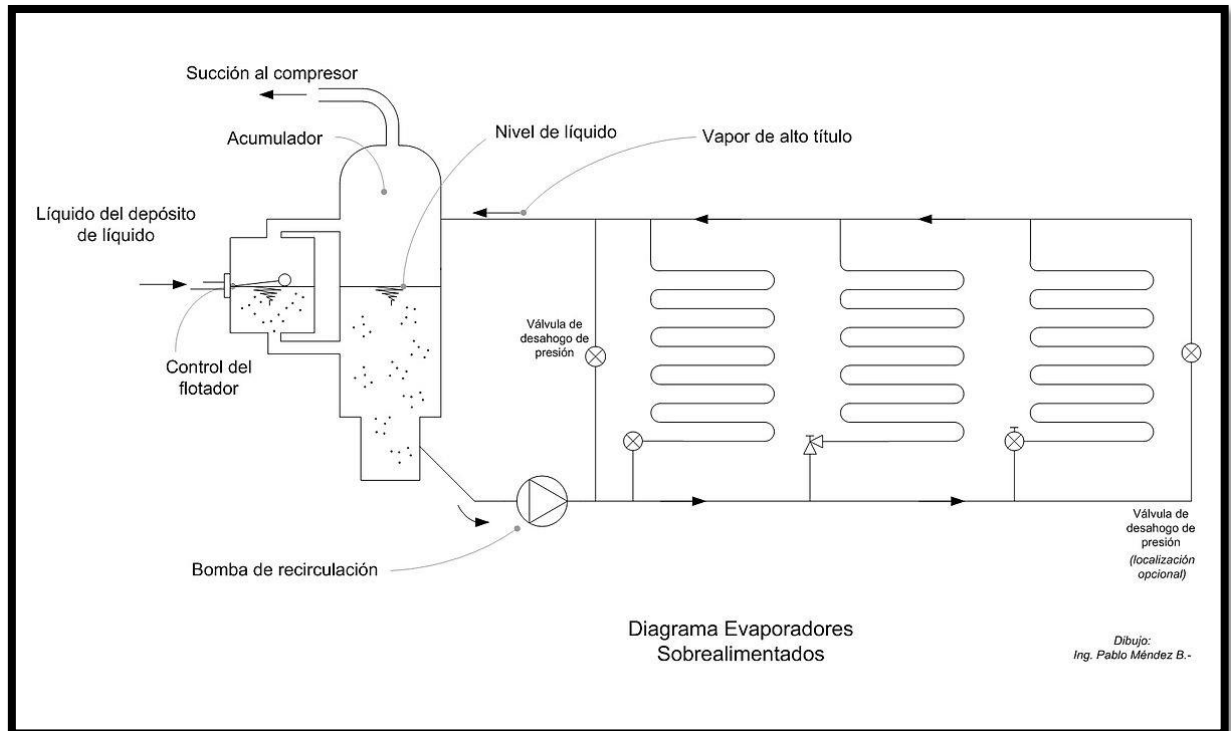


Figura 27: Esquema funcionament evaporador sobrealimentat

- Evaporadors segons la seva construcció:

- Evaporadors de tub llis: estan construïts per un tub d'acer o coure de forma geomètrica variada, segons convingui. Són els anomenats fan-coil, els quals funcionen exclusivament per aigua amb glicol o altres additius anticongelants.

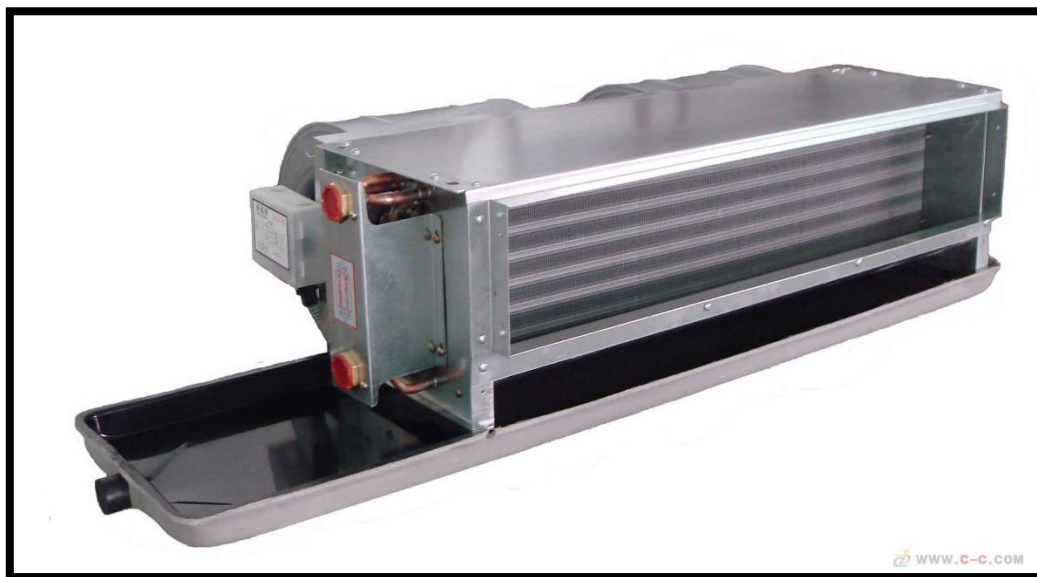


Figura 28: Exemple d'un Fan-coil amb tub llis de coure

- Evaporador de plaques: consisteixen en dos plaques metàl·liques, unides mitjançant soldadura, a les quals se li donen les formes més òptimes per tal de que circuli correctament el refrigerant, conformant així una estructura interior de tubs on es produeix la vaporització del refrigerant. També poden estar formats per una tubera, normalment en zig-zag, embotida entre dos xapes metàl·liques i soldades entre si en els extrems.



Figura 29: Evaporador de plaques

- Evaporador d'aletes: estan formats per un serpenti de tuberes de coure a les quals se li apliquen unes aletes d'alumini per augmentar així la superfície de transmissió del propi tub.

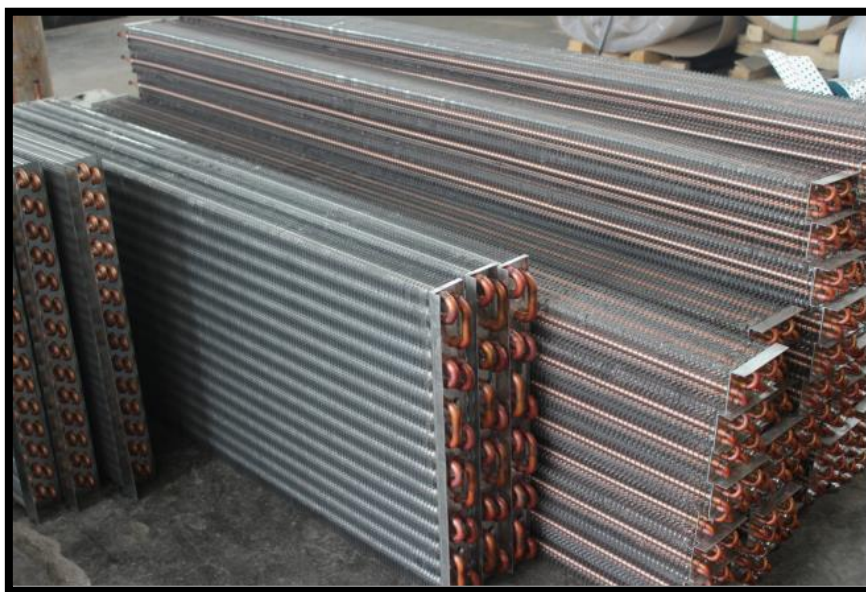


Figura 30: Evaporadors d'aletes

- Problemes dels evaporadors:

Els evaporadors presenten dos tipus de problemes importants:

➤ Problemes de flux d'aire:

L'evaporador està brut o gelat.

Les aspes o el motor del ventilador presenten errors elèctrics o mecànics.

➤ Problemes de flux d'aire:

Poc o massa cabal màssic de refrigerant.

El dispositiu de control (PLC) presenta problemes.

El distribuïdor presenta problemes.

- Les unitats de refrigeració tan per mitjana com per baixa temperatura generen glaç, la qual cosa pot donar lloc a problemes en el flux d'aire pel seu interior.

- Desgel:

Podem distingir els següents tipus de desgel segons l'ús de la càmera frigorífica:

➤ Càmera de temperatura mitja:

Descongelació per aire.

➤ Càmera de temperatura mitja:

Descongelació per resistències elèctriques.

Descongelació per gas calent.

Descongelació per inversió de cicle.

Descongelació per aspersió d'aigua.

Descongelació per aire:

Com que la temperatura del serpentí de l'evaporador (-9/-4°C) és inferior a la que hi ha en la càmera (1°C/4°C), és normal que s'acumuli gel en les aletes del evaporador durant el "cicle d'activitat" mentre el compressor està funcionant.

Quan el termòstat detecta la temperatura adequada, el compressor es para i els ventiladors de l'evaporador fan que segueixi circulant aire de la càmera a través de les aletes del serpentí. Com que les temperatures de la càmera i del propi producte estan per sobre de la temperatura de congelació, l'evaporador s'escalfa i el gel es fon.

Els termòstats dels equips de refrigeració comercials es dissenyen amb un diferencial de temperatura. Aquest diferencial és la diferència entre els punts de connexió i desconnexió d'un dispositiu de control.

Descongelació per resistència elèctrica:

Consisteix en col·locar una o varies resistències elèctriques en l'evaporador; després de forma automàtica i ordenada, fer-la funcionar amb el fi d'escalfar l'evaporador descongelant la seva superfície.

El programador serà l'encarregat de controlar l'hora i el temps del desgel. Aleshores, la màquina deixarà de produir fred quedant totalment parada. Al mateix temps, el programador ordena a la resistència posar-se en marxa, aquesta escalfarà l'evaporador fins a desfer completament el gel.



Figura 31: Resistències elèctriques de desgel.

Descongelació per gas calent:

El desgel per gas calent no és molt diferent que l'anterior. Les funcions són les mateixes, però la forma de subministrar calor a l'evaporador és diferent.

Es proporciona calor que prové des de la descàrrega del compressor, amb el fi de realitzar el desgel, és a dir, injectem gas calent en l'evaporador. Per tal de ser possible aquesta funcionalitat s'ha d'instal·lar una vàlvula solenoide, fent un by pass entre la descarrega i l'entrada a l'evaporador.

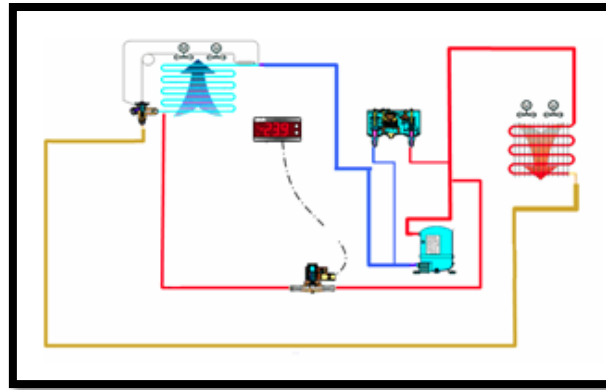


Figura 32: Esquema by pass recirculació aire calent pel desgel

Descongelació per inversió de cicle:

El desgel per inversió de cicle consisteix en invertir el cicle de refrigeració utilitzant una vàlvula de 4 vies.

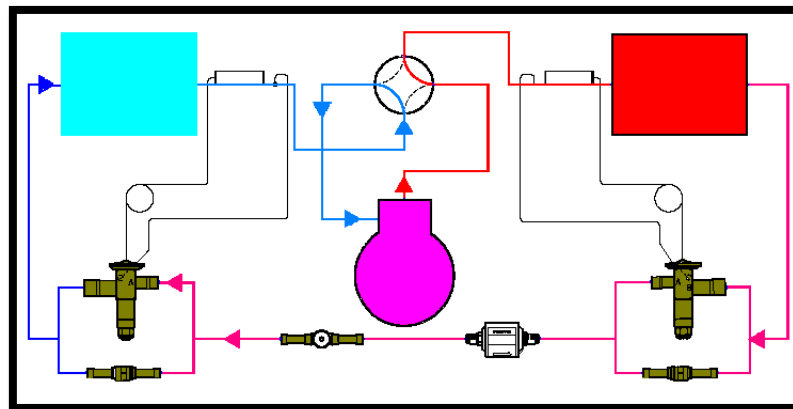


Figura 33: Esquema funcionament inversió de cicle

Descongelació per aspersió d'aigua:

Aquest mètode de desgel consisteix en polvoritzar aigua a través de les làmines de l'evaporador. La polvorització s'obté per mitjà de tubs foradats en la bateria distribuïdora d'aigua. O encara millor, per mitjà de polvoritzadors fixats en aquesta bateria. Aquest mètode pot utilitzar-se en instal·lacions tan de refrigeració com de congelació.

És necessari que es reguli l'operació de desgel de forma que la màquina no pugui posar-se de nou en funcionament fins que hagi gotejat totalment l'evaporador i, a més a més, en el cas de les càmeres de congelació, haurà de preveure's un dispositiu que asseguri el buidat de l'aigua que quedi retinguda en la bateria de polvorització, amb la fi d'evitar la seva congelació durant el període de funcionament de la màquina.

3. INSTAL·LACIÓ FRIGORÍFICA

3.1. NECESSITATS TÈRMiques

En aquest apartat es farà un estudi aproximat del càlcul de les càrregues tèrmiques que s'utilitzen per estimar les necessitats de potència frigorífica per dia (MJ/dia) i així poder dimensionar la maquinària frigorífica necessària per produir fred a partir de l'energia elèctrica.

Els càlculs que es mostraran a continuació segueixen la normativa del Real Decreto 138/2011 de seguretat en instal·lacions frigorífiques a Espanya.

3.1.1. DADES I CÀLCULS PREVIS

- **Càlcul del volum i superfície de transmissió de les càmeres:**

En el fred industrial, a diferència de la climatització, no es distingeix entre sòl, parets i sostre, i tampoc es té en compte la seva orientació perquè el gènere refredat a la cambra té una elevada inèrcia tèrmica i no resulta rellevant en els resultats entrar en aquests detalls.

L'expressió per calcular el volum de les càmeres és la següent:

$$V = A \cdot L \cdot H \quad (\text{Eq. 1.1})$$

on:

V = Volum de la càmera en [m³]

A = Ample de la càmera [m]

L = Longitud de la càmera [m]

H = Alçada de la cambra [m]

L'expressió per calcular la superfície total del sòl, el sostre i les parets és la següent:

$$S_{spt} = 2 \cdot (A \cdot L) + 2 \cdot (A \cdot H) + 2 \cdot (L \cdot H) \quad (\text{Eq. 1.2})$$

on:

S_{spt} = Superfície total del sòl + sostre + parets [m²]

A = Ample de la càmera [m]

L = Longitud de la càmera [m]

H = Alçada de la cambra [m]

Referència sala	Dimensions L·A·H (m)	Superfície contacte sala (m ²)	Volum sala (m ³)
(3) Magatzem gènere rebut	11.9 x 9.9 x 8	584.42	942.48
(4) Camara de salatge	21.9 x 38 x 8	2622.8	6657.6
(5) Assecador principal (8 sales)	5.8 x 12.6 x 8	440.56	584.64
(5.1) Assecador secundari	63.6 x 16 x 8	3038.8	8140.8
(5.2) Assecador terciari	63.6 x 16 x 8	3038.8	8140.8
(6) Bodega	63.6 x 16 x 8	3038.8	8140.8
(7) Sala d'embalatge i expedició	31.8 x 12.6 x 8	1511.76	3205.44
Passadissos (20)	5.5 x 202.5 x 8	5555.5	8910
(1) Moll de descàrrega	9.9 x 10 x 8	516.4	792

Taula 3: Taula de les corresponents dimensions de les sales.

- **Estimació massa del producte emmagatzemat i massa producte rotacional diari:**

És la massa del producte emmagatzemada màxima que pot cabre a la sala. S'agafa la major quantitat per agafar l'opció més desfavorable i assegurar la quantitat de fred que necessites.

També hem de distingir si es tracta d'un magatzem de producte fresc o magatzem de producte congelat, en tots els nostres casos de les diferents sales es tracta d'un producte fresc. L'única sala que conté producte congelat és la sala de gènere congelat, però al tractar-se d'una sala expressa i preparada per descongelar el producte, en aquest cas no és necessari el càlcul de la potència de refredat, ja que es portarà a terme l'opció inversa.

L'expressió per calcular la massa de producte fresc o bé de producte congelat emmagatzemat que utilitzen moltes empreses alimentàries és la següent:

$$M_{pf/pc} = d_{f/c} \cdot V$$

$M_{pf/pc}$ = massa de producte fresc/congelat emmagatzemat [kg]

$D_{f/c}$ = Densitat de producte fresc/congelat [kg / m³], emprant valors estudiats per l'empresa

V = Volum de la càmera en [m³]

La massa de producte de rotació diària (M_{pr}) a emmagatzemar és la quantitat màxima de producte nou que pot introduir-se al dia en una càmera tant si està buida com si està plena.

La massa de rotació diària és molt complicada de determinar i preveure, a més, les sales d'assecatge es renoven tot el seu producte un dia determinat complint el temps de curat especificat, és a dir, la rotació diària serà pràcticament nul·la. La normativa del Real Decreto 138/2011 de seguretat en instal·lacions frigorífiques a Espanya t'obliga a posar un mínim de producte rotacional, per tant, per no sobredimensionar la instal·lació s'aplicarà un 1% de rotació diària respecte la massa màxima de pernil de la sala **(5)**, **(5.1)**, **(5.2)** i **(6)**.

Per altra banda, les sales **(3)**, **(4)**, **(1)**, **(7)** suposarem una entrada mitja de 1600 pernills diaris per poder dur a terme els càlculs que indica la normativa.

En el nostre cas, a l'haver realitzat l'estudi del programa productiu, la resposta en Kg és directe, on es mostra en la taula 4 a continuació:

Referència sala ubicada	Massa producte fresc (pernil) màxima per sala (Kg)	Massa producte rotacional diari (kg/dia)
(1) Moll de descàrrega	80000	16000
(3) Magatzem gènere rebut	80000	16000
(7) Sala d'embalatge i expedició	80000	16000
Passadissos (20)	0	16000
(4) Càmera de salatge	160000	16000
(5) Assecador principal	80000	800
(8 sales)	640000	

(5.1) Assecador secundari	1040000	10400
(5.2) Assecador terciari	1040000	10400
(6) Bodega	1040000	10400

Taula 4: Taula de les corresponents masses de producte.

- **Determinació temperatura màxima exterior:**

La temperatura màxima exterior $[T_{ext}]$ és necessària per contemplar l'escenari més desfavorable en què la instal·lació es veurà forçada a treballar i mantenir les condicions desitjades en l'interior de les càmeres.

Per determinar la temperatura màxima exterior de les càmeres es tindrà en compte la normativa UNE 100001:1985 Climatització. La normativa està referenciada per províncies, per tant escollim la de Barcelona.

Finalment els valors emprats són:

- $[T_{ext}]$: 31°C
- $[H_r]$ (exterior): 68%

- **Determinació coeficient global de transmissió:**

El coeficient global de transmissió de parets, sostre i terra $[U]$ és un coeficient que expressa en forma de potència calorífica $[W]$ la transmissió entre l'exterior i l'interior de la càmera a través de les parets, sostre, terra i l'aïllament per m^2 de superfície per cada °K.

L'expressió per calcular aquest coeficient $[U]$ és:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_{int}}} = \frac{\lambda}{e}$$

$[U]$ = coeficient global de transmissió $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

h_{ext} = coeficient de convecció del aire exterior $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

h_{int} = coeficient de convecció del aire interior $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

$\frac{1}{h_{ext}}$ i $\frac{1}{h_{int}}$ El seu valor es pot aproximar a 0 tenint en compte que el seu ordre serà molt menor al del sumador $\frac{\lambda}{e}$.

λ = conductivitat tèrmica de les parets (panell Sandwich de 100mm gruix de poliuretà d'alta densitat)

e = gruix paret o panell (aïllant) [m]

$$U = \frac{\lambda}{e} = \frac{0.0231}{0.1} = 0.231$$

3.1.2. ESTIMACIÓ CÀRREGUES TÈRMIQUES

L'estimació de la càrrega tèrmica total [Q] en $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{dia}}\right]$ ve donada per la següent expressió:

$$Q_{\substack{\text{necessitats} \\ \text{tèrmiques} \\ \text{totals}}} = \left(Q_{\substack{\text{transmissió calor} \\ \text{parets, sostre, terra}}} + Q_{\text{serveis}} + Q_{\substack{\text{refredament} \\ \text{gènere}}} + Q_{\text{ventiladors}} \right)$$

Per calcular cadascuna de les càrregues necessitem fixar les condicions de treball que s'expressen a continuació:

- Condicions interiors desitjades per la sala Moll de descàrrega **(1)**:
 - Temperatura interior per als frescos: $T_{\text{int.f}} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Humitat relativa: $H_{r \text{ int.f}} = 80\%$
- Condicions interiors desitjades per la sala emmagatzematge de gènere **(3)**:
 - Temperatura interior per als frescos: $T_{\text{int.f}} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Humitat relativa: $H_{r \text{ int.f}} = 80\%$
- Condicions interiors desitjades per la sala de salatge **(4)**:
 - Temperatura interior per als frescos: $T_{\text{int.f}} = 0/4^{\circ}\text{C}$ en el càlcul escollirem 1°C
 - Humitat relativa: $H_{r \text{ int.f}} = 80/98\%$
- Condicions interiors desitjades per la sala d'assecatge principal **(5)**:
 - Temperatura interior per als frescos: $T_{\text{int.f}} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Humitat relativa: $H_{r \text{ int.f}} = 70/85\%$
- Condicions interiors desitjades per la sala d'assecatge secundari **(5.1)**:
 - Temperatura interior per als frescos: $T_{\text{int.f}} = 6/16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en el càlcul escollirem 6°C
 - Humitat relativa: $H_{r \text{ int.f}} = 60/80\%$
- Condicions interiors desitjades per la sala d'assecatge terciari **(5.2)**:

- Temperatura interior per als frescos: $T_{int.f} = 16/26$ °C en el càlcul escollirem 16°C
- Humitat relativa: $H_{r.int.f} = 55/70\%$
- **Condicions interiors desitjades per la bodega (6):**
 - Temperatura interior per als frescos: $T_{int.f} = 12/22$ °C en el càlcul escollirem 12°C
 - Humitat relativa: $H_{r.int.f} = 55/70\%$
- **Condicions interiors desitjades pel (passadissos):**
 - Temperatura interior per als frescos: $T_{int.f} = 3$ °C
 - Humitat relativa: $H_{r.int.f} = 70/80\%$
- **Condicions interiors desitjades per la sala d'embalatge/expedició (7):**
 - Temperatura interior per als frescos: $T_{int.f} = 12$ °C
 - Humitat relativa: $H_{r.int.f} = 70/80\%$
- **Càrrega tèrmica per transmissió de calor:**

La càrrega tèrmica deguda a la transmissió de calor a través de les parets, sostre i terra

$Q_{\text{transmissió calor}}_{\text{parets,sostre,terra}}$, expressa les pèrdues frigorífiques o la quantitat de calor transmesa

per unitat de temps a través de parets, sostre y terra de la càmera.

L'Expressió per calcular la transmissió de calor a través de sòl + sostre + parets és la següent:

$$Q_{\text{transmissió calor}}_{\text{parets,sostre,terra}} = U \cdot S_{\text{superfície}} \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \cdot 24\text{hores} \cdot \frac{3600\text{segons}}{\frac{10^6\text{J}}{\text{MJ}}}$$

On:

$Q_{\text{transmissió calor}}_{\text{parets,sostre,terra}}$ [MJ/dia]

$U = 0.231 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$ Calculat al apartat anterior

$S_{\text{superfície}}$ [m^2]

T_{ext} [°K]

T_{int} [°K]

En la següent taula 5 es recullen les dades de temperatura i superfície analitzades anteriorment per tal d'ordenar-les i poder realitzar el càlcul de la càrrega tèrmica:

Referència sala ubicada	Temperatura exterior [°K]	Temperatura interior [°K]	Superfície [m ²]	Q _{transmissió calor parets,sostre,terra} [MJ/dia]
(1) Moll de descàrrega	304	276	516.4	288.58
(3) Magatzem gènere rebut	304	276	584.42	326.6
(7) Sala d'embalatge i expedició	304	285	1511.76	573.27
Passadissos (20)	304	276	5555.5	2771.97
(4) Càmera de salatge	304	274	2622.8	1570.4
(5) Assecador principal (8 sales)	304	275	440.56 3524.48	276 2208
(5.1) Assecador secundari	304	279	3038.8	1516.24
(5.2) Assecador terciari	304	289	3038.8	909.74
(6) Bodega	304	285	3038.8	1152.34

Taula 5: Taula valors càrrega tèrmica perduda per la transmissió calor parets, sostre i terra.

Com es pot observar en la taula 5, la temperatura de les parets s'ha imposat que la temperatura exterior és la mateixa per totes les parets, això es realitza per tal de simplificar els càlculs i fer una estimació, en aquest cas, com a la més desfavorable que es pugui donar. Si es realitzés un estudi profund, s'hauria d'analitzar cada superfície de cada sala i assignar-li un valor de temperatura exterior que dependria de la posició on es troba, ja que les parets més properes a l'exterior de la nau, la temperatura seria major que les internes.

- **Càrrega tèrmica de serveis:**

La càrrega deguda als serveis expressa la calor aportada per la llum, les persones, les màquines que es troben treballant en l'interior de la càmera, l'intercanvi de calor al obrir les càmeres frigorífiques degut al moviment de matèria primera o per realitzar accions de manteniment, etc.

Com que l'entrada de personal en les càmeres d'assecatge **(5), (5.1), (5.2), (6)** és un fet molt puntual i que no es porta a terme cada dia, simplement quan es realitza el canvi puntual del producte emmagatzemat aplicarem un factor de pèrdues del 5% respecte el valor de pèrdues per transmissió de calor de superfície calculat anteriorment en la taula 5 a fi de no sobredimensionar la instal·lació frigorífica. Altrament, a l'haver un major moviment de producte i de personal a la resta de les sales, s'aplicarà un factor del 10%.

Referència sala ubicada	Factor de pèrdua per serveis en %	$Q_{serveis}$ [MJ/dia]
(1) Moll de descàrrega	10	28.86
(3) Magatzem gènere rebut	10	32.6
(7) Sala d'embalatge i expedició	10	57.33
Passadissos (20)	10	277.1
(4) Càmera de salatge	10	157.04
(5) Assecador principal (8 sales)	5	13.8 110.4
(5.1) Assecador secundari	5	75.81
(5.2) Assecador terciari	5	45.5
(6) Bodega	5	57.61

Taula 6: Taula valors de la càrrega tèrmica de servei.

Càrrega tèrmica per refredament de gènere:

Aquesta càrrega reflexa el calor que s'ha d'aportar al producte per arribar a la temperatura de conservació, la qual depèn del calor específic del producte en qüestió.

L'expressió per estimar la càrrega de refredament de gènere és la següent:

$$Q_{\text{refredament}}^{\text{gènere}} = \left(M_{pr} \cdot C_e \cdot \left(T_{\text{entrada producte}} - T_{\text{int}} \right) \cdot \frac{1MJ}{10^3 KJ} \right)$$

On:

$$Q_{\text{refredament}}^{\text{gènere}} \text{ [MJ/dia]}$$

M_{pr} = massa producte rotacional diari [kg/dia]

C_e = calor específic del producte $\left[\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K} \right]$

$T_{\text{entrada producte}}$ [°K]

T_{int} = temperatura interior sala [°K]

Durant el procés de curat el calor específic del pernil va variant al llarg del temps, per tant s'han escollit dos valors, un C_e com a producte fresc, i un C_e com a producte curat escollits respecte la referència bibliogràfica esmentada en la bibliografia [1].

Referència sala ubicada	$T_{\text{entrada producte}}$ [°K]	Temperatura interior sala [°K]	Massa producte rotacional diari [kg/dia]	C_e producte	$Q_{\text{refredament gènere}}$ [MJ/dia]
(1) Moll de descàrrega	277	276	16000	2.3	36.8
(3) Magatzem gènere rebut	277	276	16000	2.3	36.8
(7) Sala d'embalatge i expedició	295	276	16000	1.2	368.8
Passadissos (20)	283	276	16000	1.5	96
(4) Càmera de salatge	277	274	16000	2.3	110.4
(5) Assecador principal (8 sales)	277	275	1450	2	5.8 46.4
(5.1) Assecador secundari	276	279	10400	1.5	-46.8

(5.2) Assecador terciari	289	289	10400	1.3	0
(6) Bodega	295	285	10400	1.3	189.3

Taula 7: Taula valors de la càrrega tèrmica per refredar el gènere.

- **Càrrega tèrmica degut al calor dissipat pels ventiladors:**

La càrrega tèrmica dels ventiladors del propi evaporador també es tindrà en compte. Per altra banda, per controlar la humitat als assecadors **(5)**, **(5.1)**, **(5.2)**, **(6)** el sistema que s'adopta es basa en instal·lar unes resistències elèctriques que aporten calor a la sala per tal que el sistema de refrigeració hagi de treballar més sovint per condensar la humitat i poder-la expulsar a través d'un sistema col·lector instal·lat al propi evaporador, per tant aquesta aportació s'ha de tenir en consideració aplicant un factor del 15% a la suma parcial de les càrregues tèrmiques calculades en els apartats anteriors.

Referència sala ubicada	Factor de pèrdua ventiladors + resistències de desglaç o estufatge %	$Q_{\text{ventiladors+resistències}}$ [MJ/dia]
(1) Moll de descàrrega	5%	17.712
(3) Magatzem gènere rebut	5%	19.8
(7) Sala d'embalatge i expedició	2%	38.77
Passadissos (20)	5%	157.24
(4) Càmera de salatge	5%	91.9
(5) Assecador principal (8 sales)	15%	44.3 354.4
(5.1) Assecador secundari	15%	245.8
(5.2) Assecador terciari	15%	143.3
(6) Bodega	15%	206.4

Taula 8: Taula valors de la càrrega tèrmica que impliquen els ventiladors.

- Càrregues tèrmiques totals de cada sala:

Referència sala ubicada	$Q_{\text{transmissió calor paret, sostre, terra}}$ [MJ/dia]	Q_{serveis} [MJ/dia]	$Q_{\text{refredament gènere}}$ [MJ/dia]	$Q_{\text{ventiladors + resistències}}$ [MJ/dia]	Q_{total} [MJ/dia]
(1) Moll de descàrrega	288.6	28.86	36.8	17.712	372
(3) Magatzem gènere rebut	326.6	32.6	36.8	19.8	416
(7) Sala d'embalatge i expedició	573.27	57.33	364.8	38.77	1034
Passadissos (20)	2772	277.1	96	157.24	3302
(4) Càmera de salatge	1570.4	157.04	110.4	91.9	1930
(5) Assecador principal (8 sales)	276 2208	13.8 110.4	5.8 46.4	44.3 354.4	340 2720
(5.1) Assecador secundari	1516.24	75.81	-46.8	245.8	1791
(5.2) Assecador terciari	909.74	45.5	0	143.3	1098
(6) Bodega	1152.34	57.61	189.3	206.4	1605

Taula 9: Taula càrregues tèrmiques totals de cada sala

3.2. POTÈNCIA FRIGORÍFICA REQUERIDA

En aquest apartat es determinaran les potències necessàries de cada sala amb l'objectiu de mantenir la climatització necessària i poder plantejar i desenvolupar un disseny correcte del sistema de refrigeració de la planta completa.

L'expressió per determinar la potència frigorífica [Qf], és la següent:

$$Q_f = Q_{\text{necessitas tèrmiques Totals}} \cdot \frac{\text{dia}}{n^{\circ} \text{hores}} \cdot \frac{10^3 \text{KJ}}{1 \text{MJ}} \cdot \frac{1 \text{h}}{3600 \text{s}}$$

A continuació, en la taula 10 es mostra un recull del resum de les potències frigorífiques necessàries per a cada càmera o zona de la nau que necessita ser climatitzada:

Referència sala ubicada	Potència frigorífica necessària [KW]
(1) Moll de descàrrega	4.3
(3) Magatzem gènere rebut	4.8
(7) Sala d'embalatge i expedició	12
Passadissos (20)	37
(4) Càmera de salatge	21.27
(5) Assecador principal	4
(8 sales)	32
(5.1) Assecador secundari	20.7
(5.2) Assecador terciari	12.71
(6) Bodega	18.58
	$\sum Q_T = 163.5 \text{ KW}$

Taula 10: Taula resum de les potències necessàries per cada sala o zona de la nau

Per tal d'assegurar la potència total que requereix tota la planta pel correcte funcionament del sistema de climatització, s'ha sumat la potència de cada càmera a fi d'aplicar el cas més desfavorable, tenint en funcionament el 100% de la planta.

3.3. DISSENY DEL CIRCUIT FRIGORÍFIC

3.3.1. CIRCUIT FRIGORÍFIC PRINCIPAL

L'objectiu d'aquest apartat és estudiar i calcular la instal·lació frigorífica encarregada de climatitzar les sales escollides a partir del plànol A3. S'han escollit aquestes sales excepte en les que intervé un procés d'assecatge, ja que les màquines escollides a continuació no estan preparades per realitzar un control del nivell d'humitat i no estan pensades per realitzar un procés d'estufatge i curat del pernil.

En aquest circuit de refrigeració principal, l'objectiu primordial és regular la temperatura de la sala, per tant s'han escollit uns equips especials que treballen amb aigua i un percentatge d'entre el 20 i 30% de propilenglicol amb l'objectiu de poder treballar a una temperatura de flux d'entre $-5/0$ °C.

Gràcies als càlculs realitzats en l'apartat anterior podem saber la potència total frigorífica necessària que haurem de vèncer per tal de poder mantenir les sales a unes condicions de temperatura concretes i assegurant que la potència escollida és la més desfavorable.

La idea del circuit de refrigeració dissenyat a continuació es basa en tenir una única unitat de refrigeració amb gas que es connecta a partir d'un intercanviador de calor amb un dipòsit d'inèrcia amb aigua i propilenglicol, on un sistema de bombeig s'encarrega de fer circular el flux frigorigen cap a una línia de tub principal que es connecta a cada fan-coil (evaporador) i finalment retorna cap al dipòsit d'inèrcia creant així un sistema tancat.

Aquests fan-coil disposen d'una connexió en T a partir d'una vàlvula de 3 vies que permet regular el cabal pel seu interior, permeten així la regulació del fred dissipat.

S'ha escollit aquest sistema per tal de no haver de requerir d'una unitat de compressors independent per cada evaporador, ja que suposaria un cost desmesurat i necessaries instal·lar una gran quantitat de conductes, el cost d'aquests suposaria omplir tal quantitat de volum de gas frigorigen que s'està optant per escollir sistemes d'aigua amb glicol o altres additius.

- **INSTAL·LACIÓ FRIGORÍFICA PRINCIPAL AMB PROPILENGLICOL:**

La potència frigorífica total necessària de la instal·lació és de **79.37KW**, per tant s'ha escollit l'equip de refrigeració **MWE-SF-50936** de la marca **INTARCON** amb una capacitat de refrigeració de **89KW** que ens assegura un òptim rendiment i sense sobredimensionar excessivament la instal·lació.

Aquesta planta refrigeradora de líquid condensada per aire (R407C) està equipada amb uns compressors hermètics alternatius muntats sobre antivibrants, aïllats acústicament, amb vàlvules de retenció, resistència de càrter i silenciadors de descàrrega.

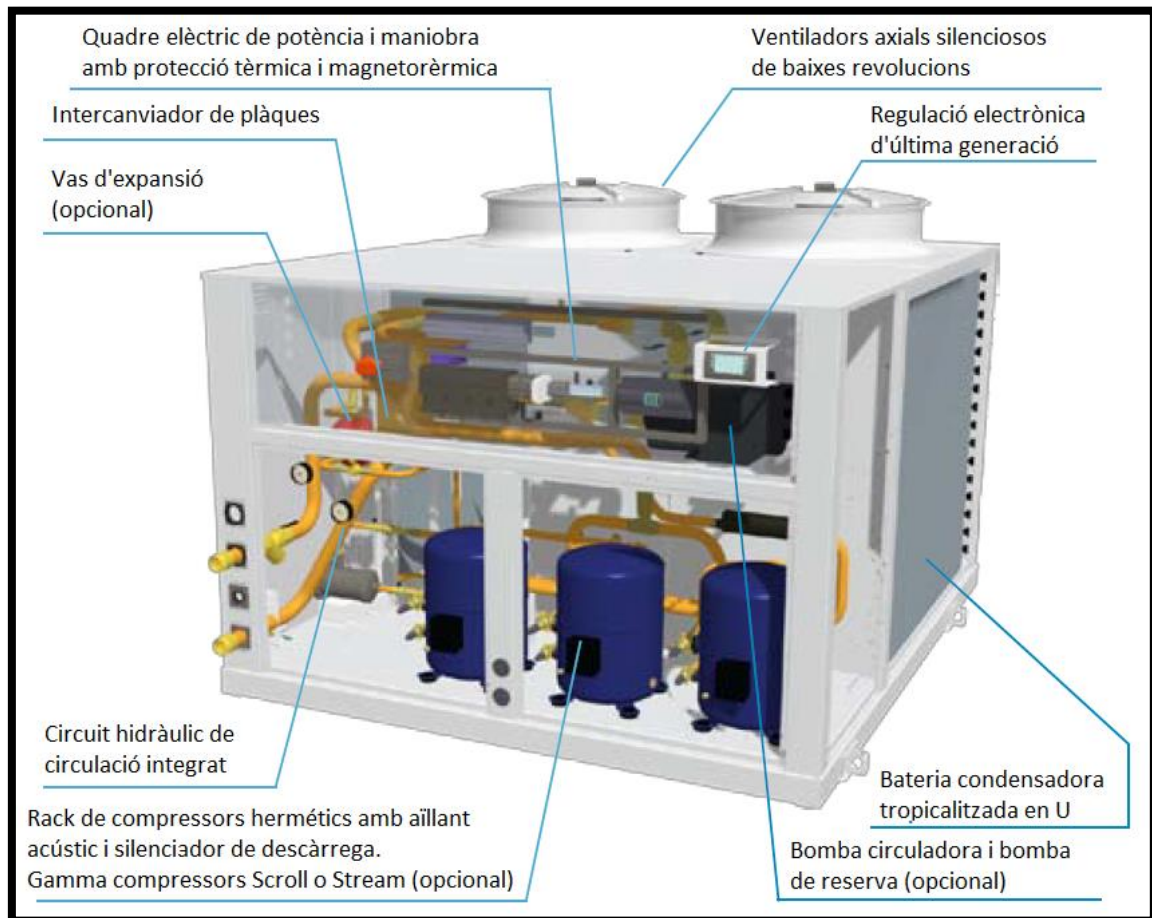


Figura 34: Esquema dels components bàsics de la unitat de refrigeració MWE.

Els compressors que porta incorporats poden ser de dos tipus:

La primera opció són dos unitats dels models **6MM-30X Stream** de la casa **Copeland Compresor**, dotat de 6 cilindres per unitat amb una potència de refrigeració de 36kW.

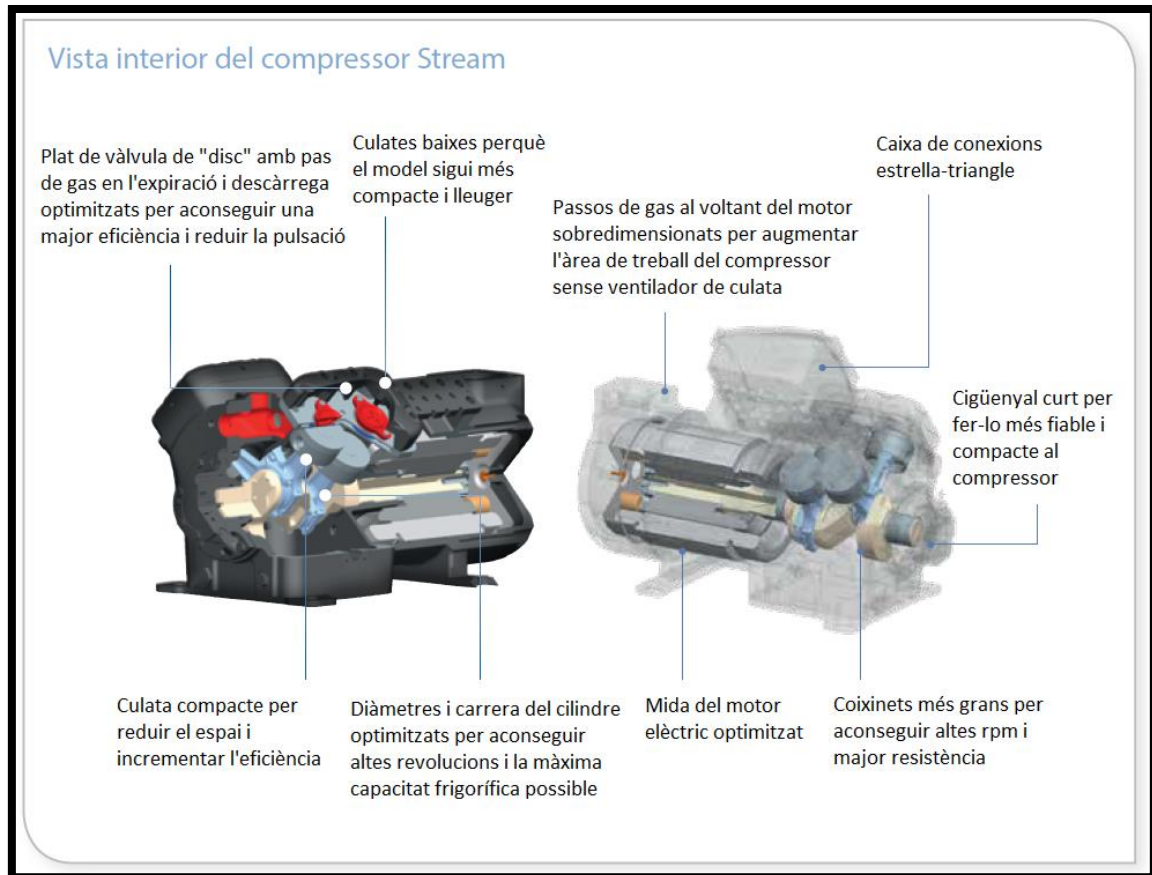


Figura 35: Vista interior del compressor Stream unitat MWE.

La segona opció, la qual recomana el fabricant, i per tant amb quina realitzarem la justificació dels càlculs en l'apartat dels annexos és la dels compressors **Scroll SZ185 de 3 unitats**.

La unitat bé equipada amb una bateria condensadora en U de gran superfície d'intercanvi amb els conductes de coure i aletes d'alumini, amb dimensionament per unes temperatures ambientals de fins a 45°C. També disposa d'una instal·lació de resistències de desgel per eliminar possibles formacions de gel.

Els fun-coils, encarregats de subministrar la potència frigorífica, s'han escollit i posionat tal i com es representa en el plànol A3.

Els models seleccionats són el **MJC-NH-3000** i el **MJC-NH-2000** de la marca **INTARCON**. Són evaporadors de tipus cúbic (fun-coils) que funcionen a partir de la circulació d'aigua amb glicol o propilenglicol. Aquestes unitats refredadores d'aire tenen unes bateries de refredament d'alta eficiència de tubs de coure i aletes d'alumini amb un pas d'entre 5 i 6mm amb uns cabals màxims de flux de 0'9 a 1m³/h. Disposava d'una vàlvula de tres vies

activada elèctricament gràcies a la informació del circuit elèctric amb PLC. El sistema dissipatiu disposa d'uns motovenitladors axials silenciosos de velocitat variable (màxima 1300 rpm) que pot arribar als 20m a una velocitat del flux de 0.25m/s. Les resistències de desgel elèctriques estan superposades en bateria i només actuen en aquests models en concret al treballar amb temperatures compreses entre -5°C i 5°C.

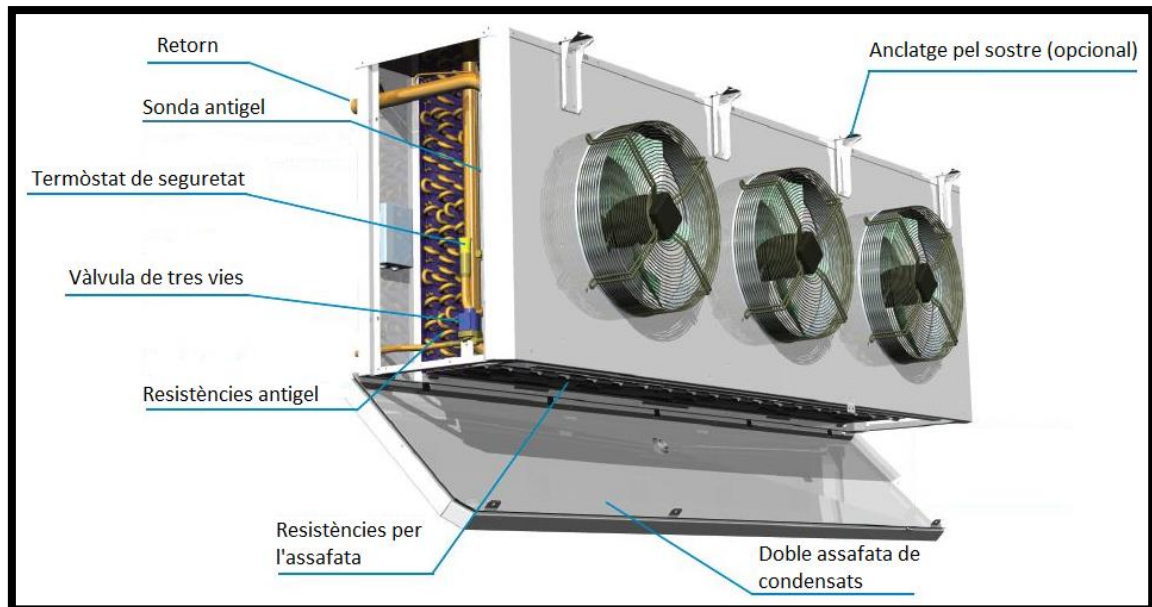


Figura 36: Esquema dels components bàsics de la unitat d'evaporació fun-coil MJC.

Un cop tenim els equips escollits a través dels catàlegs de la casa INTARCON, ens permet tenir a disposició les dades necessàries per justificar el circuit de recirculació d'aigua i propilenglicol del dipòsit d'inèrcia amb tots els seus elements corresponents.

En aquest apartat simplement es nombraran els equips necessaris especificant les seves característiques principals, però en el apartat de càlculs de l'annex es farà un recull dels càlculs que s'han hagut de dur a terme per justificar el correcte funcionament de la instal·lació de la recirculació del flux frigorígen.

Tal i com es mostra en l'esquema del plànol A3, A4 i A5 de la instal·lació de recirculació, es necessita un dipòsit d'inèrcia, un dipòsit d'expansió i 2 bombes de circulació com a elements primordials.

En el cas del dipòsit d'inèrcia, s'ha escollit el **model 1500DG** de la casa **IBABIONDO de 1500l** de capacitat, el qual està construït amb xapa d'acer galvanitzat en calent (interior i exterior) sense membrana amb una pressió màxima de servei de 10 bars i un marge de

treball de temperatures que van de -10°C a +60°C. El dipòsit està certificat per la normativa CE, conforme a la Directiva 97/23/CE.

Pes (Kg)	Codi	Model Capacitat (Lt)	Pressió Max. (bar)	Dimensions		R Connexió d'aigua			
				Ø D (mm)	H (mm)	a - u	v - s	b	c
302	10125301	1250 DG	10	900	2300	2"	1 1/2"	1/2"	1 1/2"
343	10150301	1500 DG	10	950	2465	2"	1 1/2"	1/2"	1 1/2"
490	10200301	2000 DG	10	1100	2490	2"	1 1/2"	1/2"	1 1/2"
555	10250301	2500 DG	10	1100	3045	2 1/2"	1 1/2"	1/2"	1 1/2"
640	10300301	3000 DG	10	1200	3200	2 1/2"	2"	1/2"	1 1/2"
870	10400301	4000 DG	10	1400	3140	4"	2"	1/2"	1 1/2"
1.030	10500301	5000 DG	10	1400	3790	4"	2"	1/2"	1 1/2"

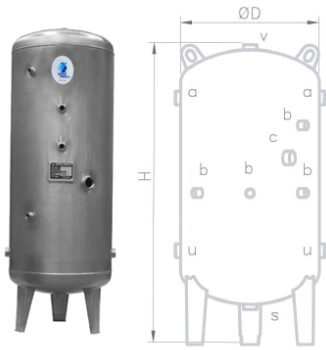


Tabla 11: Propietats del model 1500DG

Pel que fa al dipòsit d'expansió amb membrana, s'ha escollit el **model 200 CMF de 200** de capacitat de la casa **IBABONDO** amb connexions d'aigua zincada amb una temperatura de treball de -10 a 100°C i una pressió màxima de 6 bar. El dipòsit està certificat per la normativa CE, conforme a la Directiva 97/23/CE.

Model 4 - 6 bar								
Pes (Kg)	Codi	Model	Capacitat (Lt)	Pressió Max. (bar)	Dimensions		R Connexió	
					Ø D (mm)	H (mm)		
7	02035345	35 CMF	35	4	360	480	3/4 "	
7,5	02050343	50 CMF	50	4	360	630	3/4 "	
16	04080351	80 CMF	80	6	485	570	1 "	
18	04100351	100 CMF	100	6	485	650	1 "	
24	04140351	140 CMF	140	6	485	935	1 "	
36	04200351	200 CMF	200	6	600	860	1 "	
44	04250351	250 CMF	250	6	600	1095	1 "	
49	04300351	300 CMF	300	6	600	1240	1 "	
56	04400351	400 CMF	400	6	600	1480	1 "	




Tabla 12: Propietats del model 200CMF.

Referent a les bombes de circulació, s'ha escollit l'equip necessari per afrontar el cas més desfavorable on cada fun-coil necessita que se li subministri el seu cabal màxim de funcionament, el que suposa col·locar les bombes en sèrie amb una capacitat d'impulsió de **15'7 m³/h** i una pressió de **2'1 Kg/cm²**.

Per tal d'assolir aquestes característiques, s'han escollit 2 bombes de circulació model **D65-120F ecocirc XL** de la casa **LOWARA** especialitzats en bombes de circulació d'aigua calenta o freda (glicol/propilenglicol) per instal·lacions climatitzades industrials.



Figura 37: Imatge bomba de circulació D65-120F LOWARA.

Aquestes bombes són capaces de treballar a unes temperatures de -10°C a 110°C amb una pressió constant de 10 bar. Es caracteritzen per un control exhaustiu de la pressió, ja que és pràcticament constant i també es regula a través de la temperatura de treball, és a dir, si nota variacions de temperatura augmenta o disminueix el cabal en funció del programari desitjat. Tenen un consum màxim de 1510W i un sistema de seguretat en l'arrencada.

Per altra banda, cada unitat del model escollit disposa de 2 bombes que treballen coordinadament per tal de no forçar el seus motors respectius i allargar la fiabilitat, ja que en el cas que falli una d'elles, l'altre la substituirà.

3.3.2. DISSENY DEL CIRCUIT FRIGORÍFIC DELS ASSECADORS

L'objectiu d'aquest apartat és estudiar i calcular la instal·lació frigorífica encarregada de climatitzar les sales escollides a partir del plànol A6. S'han escollit les sales d'assecatge, ja que la seva instal·lació i funcionament és molt diferent a la instal·lació principal.

Aquestes instal·lacions han de ser capaces de regular el cabal d'aire, la temperatura i la humitat relativa a l'interior de la sala i dissipar-la homogèniament tot el possible.

Les unitats que s'exposaran a continuació estan estudiades per la casa COPELAND que s'encarreguen de dissenyar i estudiar màquines climatitzades per emular els processos naturals d'assecat, curat, maduració de pernills i de tot tipus d'embotits curats.

L'aspecte vital per aconseguir un bon resultat és la bona distribució de l'aire per la sala i el producte, per tant el sistema dissenyat a continuació, consisteix en impulsar l'aire a alta velocitat de forma vertical per dos conductes situats en les parets laterals de la sala, que a l'arribar al terra, es desvia gràcies a l'existència de les mitges canyes de formigó construïdes expressament per tal de convertir l'aire vertical en horitzontal i que pugui aprovisionar tota l'amplada de la sala. Mitjançant l'efecte de va i ve, l'aire procedent dels conductes xoca i comença a escalfar-se lentament i comença la seva pujada cap als conductes d'aspiració situats al sostre de la sala, cosa que permet un escombrat perfecte per tot el producte ubicat a la sala. Un cop aspirat l'aire, es retorna a través d'un conducte vertical cap a la unitat de climatització per començar de nou el circuit tancat.

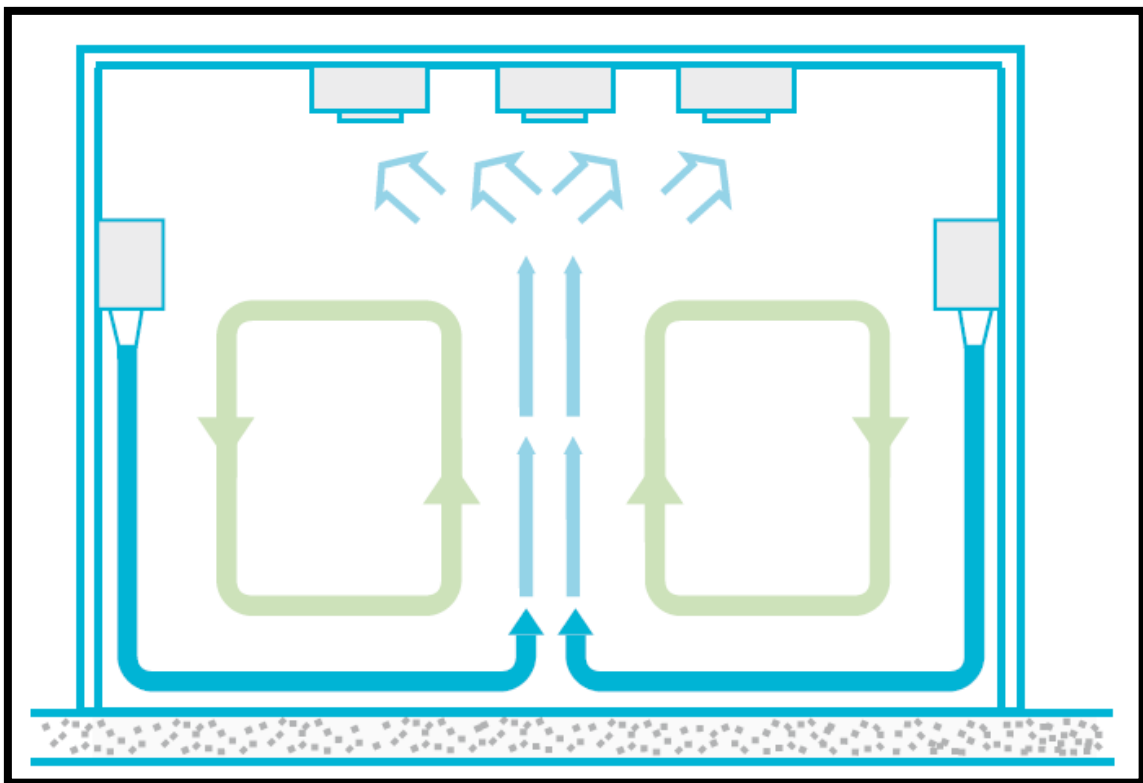


Figura 38: Representació aerodinàmica del flux de refrigeració de la sala.

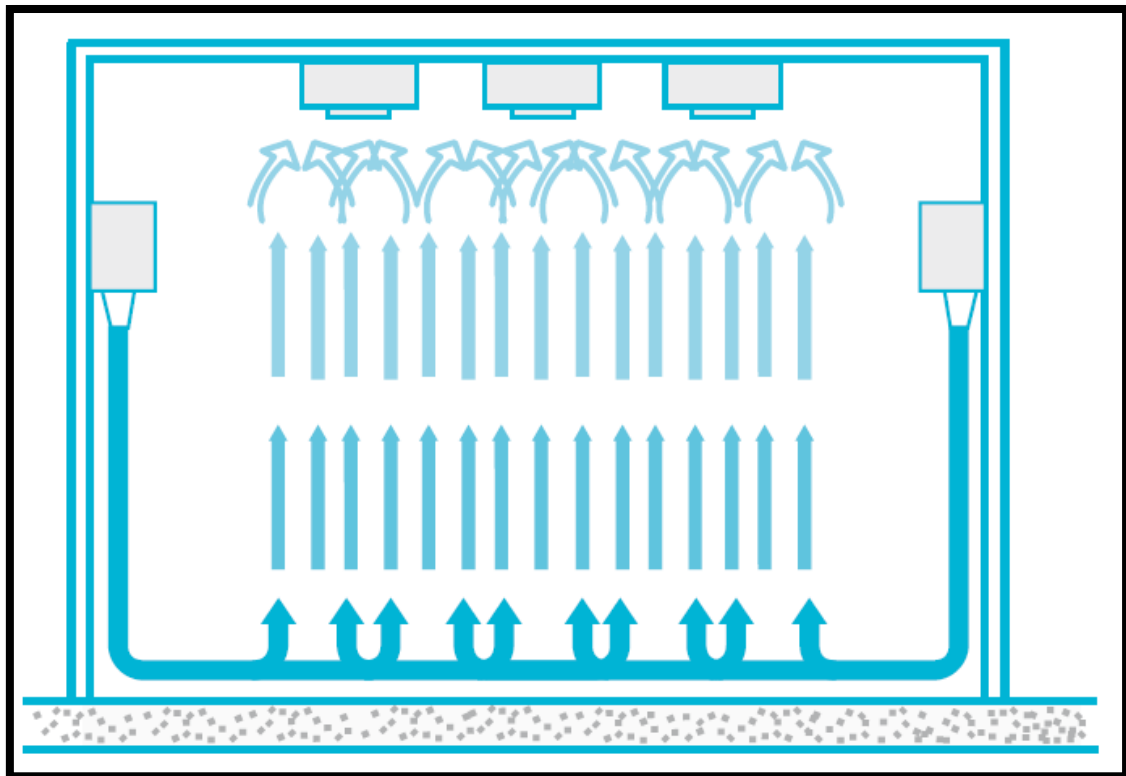


Figura 39: Representació aerodinàmica del flux de refrigeració de la sala.

COPELAND també estudia i dissenya la millor solució pels conductes de distribució d'aire per a cada assecador en concret, facilitant els croquis de la instal·lació. Ells mateixos es subministren els conus d'impulsió, boques de retorn regulables, comportes motoritzades, etc.

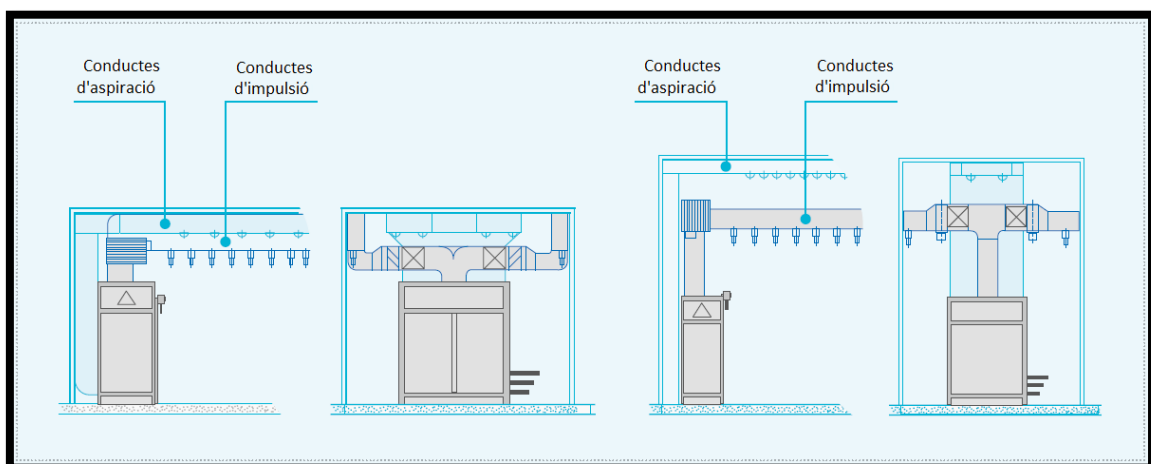


Figura 40: Esquema dels conductes bàsics d'una sala d'assecatge.

Aquestes unitats tenen una sèrie d'avantatges importants:

- El procés de curat és totalment independent del clima exterior.
- Desapareixen les “cales” (regions de la sala on el producte queda malmès).
- Aconsegueixen la homogeneïtat del producte curat.
- Tenen un sistema de control sanitari molt rigorós, tan que algunes de les games incorporen generadors d'ozó per si es detecta alguna concentració de bacteris no desitjats.
- S'aprofita la calor de compressió per mantenir la temperatura desitjada de la sala durant el procés d'assecat o estufatge.
- Incorpora les resistències elèctriques de desgel.
- La gama de temperatura està compresa entre els 0°C i els 35°C per si es vol realitzar un assecatge en calent.
- Incorpora un sistema anomenat KIDEMATIC que s'encarrega de gestionar les variables que intervenen en el procés de curat de forma rigorosa i constant.

Aquestes unitats poden utilitzar-se en processos de cicle complet o bé en processos de cicle partit, és a dir, un cop entres el producte a la sala, pots realitzar el procés de curat complet o bé realitzar-ho per etapes concretes de cada procés.

En el nostre cas, la instal·lació està pensada per realitzar-ho en processos partits, ja que les sales **(5)** s'encarreguen de la fase de post salatge i les altres **(5.1, 5.2, 6)** s'encarreguen del repòs, assecat, maduració, estufatge, bodega, etc.

Les instal·lacions que realitzen el cicle complet són instal·lacions on s'entren grans quantitats de producte en un mateix dia o dos i un cop entrat, ja no es veuen obligats a traspasar-lo de sala en sala. Però si l'entrada de producte és menor, et veus obligat a traspasar producte d'una sala a una altre per igualar les propietats de curat de cada pernil.

- **INSTAL·LACIÓ UNITATS CLIMATITZADORES:**

Aquestes màquines climatitzades funcionen amb el sistema de Rankine invers i cada unitat incorpora el seu compressor concret depenent del model i la potència frigorífica escollida. Això implica que cada unitat necessita una unitat condensadora específica depenent de la seva potència de dissipació.

En aquest apartat només s'exposaran els models necessaris a instal·lar. Els càlculs realitzats per justificar la seva elecció es troben a l'Annex.

La potència total d'aquesta instal·lació és de **83'98 kW**.

- La sala nº **(5)** requereix de 4kW de potència frigorífica, per tant s'ha escollit el model Radial Scroll **RU25/ZB-29-KCE TFD** de **5kW** de potència frigorífica amb frigorigen R-134a.
- La sala nº **(5.1)** requereix de 20'7kW de potència frigorífica, per tant s'ha escollit el model **FH430 GRCC45/4MF-13X AMW** de refrigeració amb compressors Discus o Stream de **25kW** de potència frigorífica i una temperatura d'evaporació de 5°C amb gas frigorigen R-134a.
- Les sales nº **(5.2)** i **(6)** requereixen de 12'7 i 18.58 kW de potència frigorífica respectivament, per tant s'ha escollit el model **FH428 GRCC19/3DC-75X AMW** de refrigeració amb compressors Discus o Stream de **24kW** de potència frigorífica i una temperatura d'evaporació de 10°C amb gas frigorigen R-134a.

Les característiques generals dels equips són:

- Tota la instal·lació de tuberes a la sala com les d'alimentació i el propi moble són d'acer AISI304.
- Bateries estàndards en tubs de coure i aletes d'alumini.

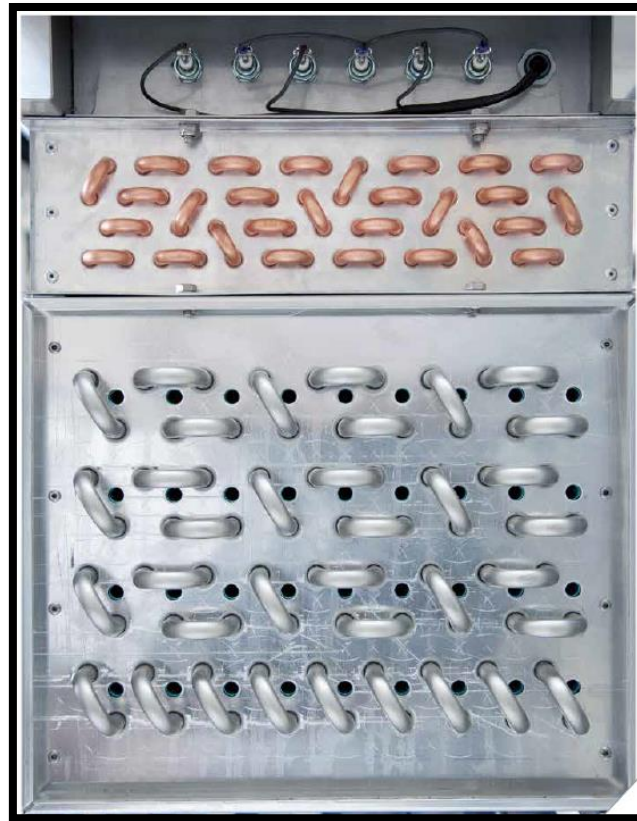


Figura 41: Vista dels serpentins inferiors (fred), serpentins superiors (recirculació condensador) i les resistències elèctriques de desglaç.

- Ventiladors centrífugs de mitja pressió transmissió per corretges, i arrencada progressiva a partir de 5'5CV de motor.

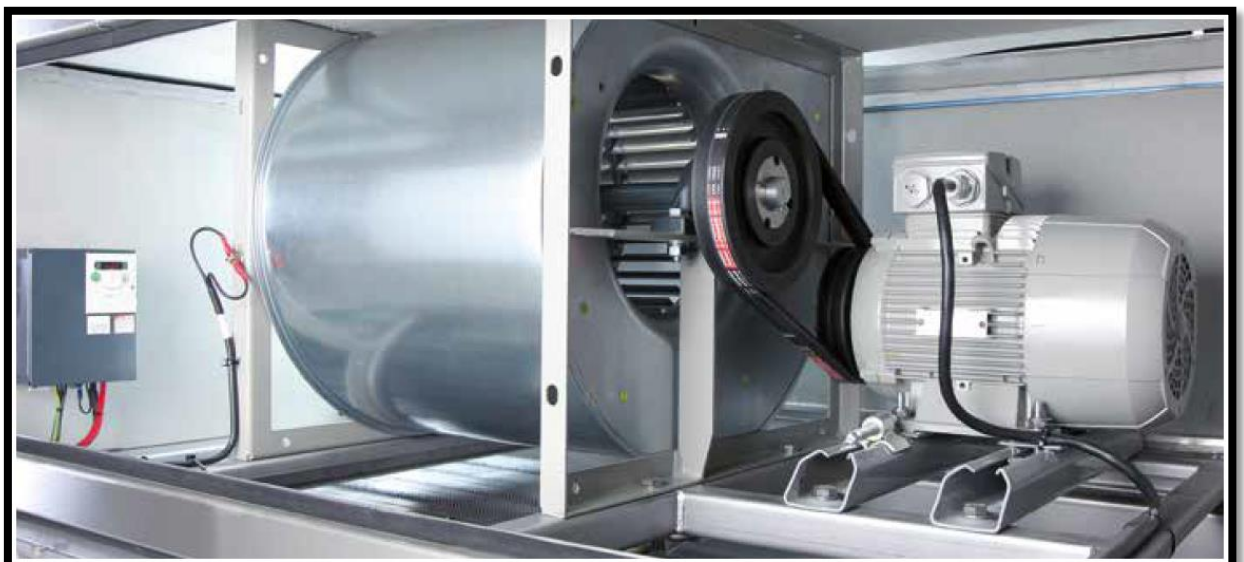


Figura 42: Vista del ventilador centrífug per corretja col·locat sobre dels serpentins mostrats a la figura 22.

- Quadre elèctric complet incorporat en el mateix moble. Disposa d'automatismes, proteccions i elements de seguretat precisos per el correcte funcionament de l'aparell.
- Fabricat sota estrictes controls de qualitat i respectuosos amb el Medi Ambient (ISO9001 i ISO 14001).
- Compleixen la normativa de seguretat elèctrica, frigorífica i de maquinària precisa (certificat europeu PED 2014/68/UE).
- La tecnologia KIDEMATIC és el hardware controlador del model que permet seleccionar les variables de control, visualitzar gràfics en escales de 2-8-24 hores, controlar el sistema de renovació de l'aire, incorporar sistemes d'estalvi energètic com el sistema d'assecat per reaprofitament de l'aire exterior quan les condicions climàtiques ho permeten, visualitzar les mancances del producte, etc.
- Equipament complet compressor: controladors electrònics del compressor, control de condensació, resistència de càrter, pressòstats de baixa i alta de rearmament manual, control de pressió d'oli, antivibrants, filtre, visor de líquid, vàlvula de carrega, etc...



Figura 43: Vista dels diferents models d'unitats d'evaporadors d'assecatge.

Un cop tenim seleccionat les unitats d'evaporadors, l'altre element indispensable per complir el cicle de Rankine invers és el condensador. Els condensadors s'han escollit els de la casa **STEFANI Air Coolers** degut a la seva experiència i dedicació en el compliment de la normativa ENV 327 (sobre els gasos frigorífics com el R-134A i el R404A).

Els equips de condensació actuals de la gama SCN i SCV han incorporat una nova concepció a les aletes i s'han redissenyat per complet, permetent una notable millora en el coeficient d'intercanvi de calor i una reducció del cabal frigorífic en el circuit. Els tubs tenen unes ranures internament per assolir una millor eficiència de transferència de calor.

Hi ha disponibles dos tipus d'intercanviadors de calor depenent de cada tipus de motor i del ventilador:

- Model curt S, molt compacte i adequat per a la seva instal·lació en l'àrea limitada.
- Model llarg L, amb un baix poder de consum i baix nivell de soroll.
- Models duals disponibles, amb dos circuits refrigerants i dues files de ventiladors totalment independents.

En el nostre cas, la potència a dissipar no és extremadament gran, tal i com es mostren en els càlculs de l'annex. Per tant, escollirem la gama S.

Per la sala **nº(5)** s'ha escollit el model **SCNS 035/1 A6 de 5'8 kW** de potència dissipadora exterior.

Per les sales **nº (5.1) , (5.2) i (6)** s'ha escollit el model de condensador en V **SCV 080/1 A12 de 34 kW** de potència dissipadora exterior.

El disseny i els materials d'aquests equips són d'alta qualitat per tal de millorar la dissipació a l'exterior, ja que durant les èpoques d'estiu, les elevades temperatures exteriors poden aconseguir fer caure considerablement la potència de dissipació a l'ambient. Per tant, la instal·lació s'ha de fer seguint les normes de separació dels equips per fer circular l'aire ambient de manera òptima per no sobrecarregar els equips i ajudar a dissipar millor l'energia.

Les carcasses dels equips estan fabricats a partir de làmines d'acer galvanitzat pintades d'epòxid (RAL 9002) per evitar l'òxid.

Les plataformes i els tubs de coure estan protegits amb una sèrie de panells on hi ha les aletes d'alumini que s'encarreguen de millorar la dissipació.

Els nous motors són d'alta eficiència i baix consum d'energia amb protecció tèrmica integrada IP54 amb graella de seguretat dissenyat d'acord amb les regles de seguretat. Cada secció del ventilador és completament independent i estan dissenyats amb un perfil optimitzat per minvar les emissions de sorolls.



Figura 44: Condensadors. Model de l'esquerra SCV i el model dret SCNS.

4. SIMULACIÓ TERMODINÀMICA PER ELEMENTS FINITS SALA N°5

En aquest apartat s'ha realitzat un estudi centrat en el model de la sala n° (5) sobre el comportament dinàmic i tèrmic del fluid, en aquest cas aire.

Per poder realitzar la simulació, primer s'ha dissenyat un model 3D a través del programa Autodesk Inventor Professional 2016 de llicència educativa amb referència 900-45060441, aquest model està dissenyat de forma simple per tal de simplificar al màxim els càlculs que portarà a terme el programa CFD Motion 2016 de llicència educativa amb referència 900-45060441.

CFD Motion 2016 es tracta d'un programa que proporciona dinàmica de fluids computacional i eines de simulació tèrmica per ajudar a predir el rendiment del producte, optimitzar els dissenys i validar el comportament del producte.

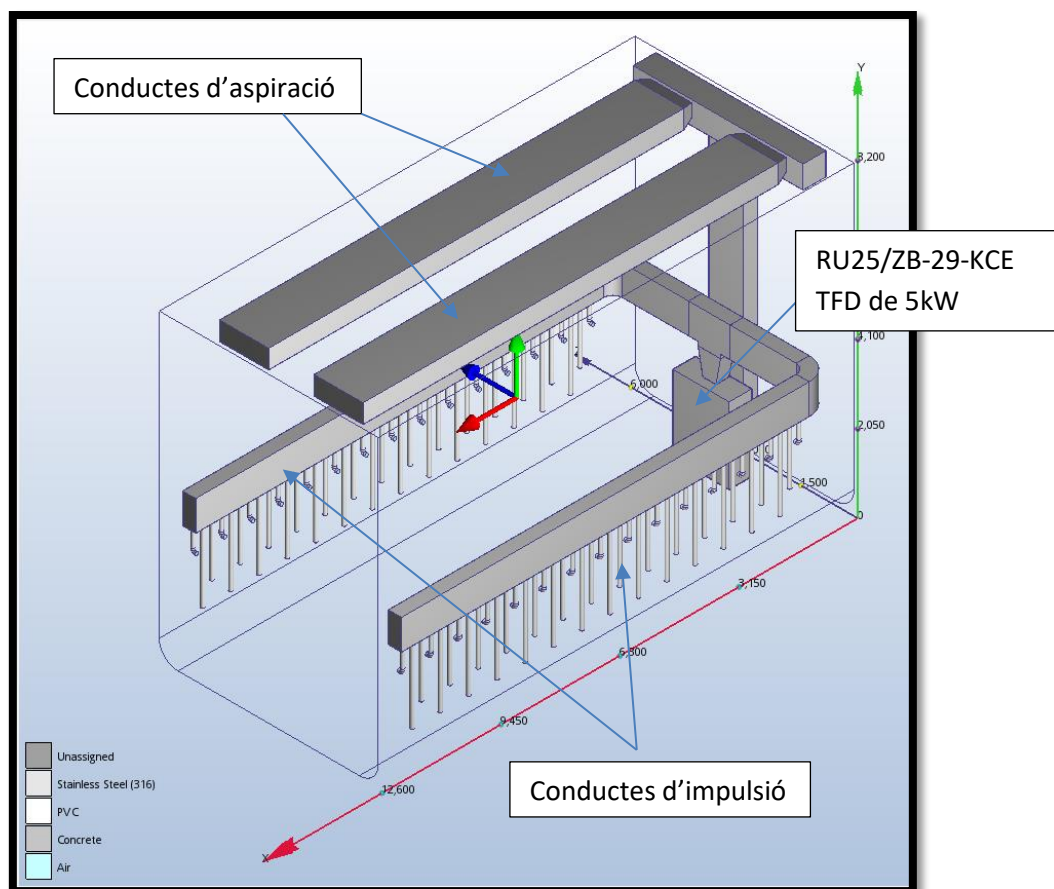


Figura 45: Model d'estudi en 3D

Com es pot observar en la figura 45, el model consta de dos parts importants: els conductes d'aspiració col·locats a la zona superior per recollir l'aire amb un gradient tèrmic superior i fer-lo recircular a través d'un conducte vertical cap a l'evaporador RU25 per refredar novament el flux d'aire i, a través dels ventiladors centrífugs, dirigir-los novament cap a la zona inferior de la sala amb l'ajuda dels conductes d'impulsió i realitzar novament el cicle.

Amb el programa CFD necessites aplicar els materials en els corresponents elements que intervenen a la sala per saber quin comportament tèrmic i dinàmic té cada material. Tot seguit has de procedir a generar els volums on hi tindràs un flux en concret (aire) i finalment imposar les condicions de contorn escollides.

En aquest model les condicions de contorn s'han imposat a través de les dades proporcionades pels catàlegs. En el cas del model RU25/ZB-29-KCE TFD de 5kW, la sortida de l'aire és d'aproximadament 5,5 m/s i la temperatura de sortida del flux, just a la sortida dels serpentins, com que és molt complicada de determinar s'ha imposat una sortida tèrmica de 0°C. Aquesta condició s'ha aplicat just a la sortida de l'armari de l'evaporador a la zona on es connecten els dos conductes. Això s'ha realitzat per simplificar el càlcul, ja que s'haurien d'haver dibuixat en 3D els models dels ventiladors i dels serpentins per observar la dinàmica de manera més rigorosa i real. Per altra banda, el programa necessita saber el sentit de la direcció del flux, per tant, perquè el programa entengui el recorregut s'ha de col·locar la condició de pressió 0 just al conducte de retorn per tancar el circuit.

Finalment, l'última condició a imposar és la temperatura inicial de la sala, en aquest cas un valor de 20°C.

Un cop has omplert tots aquests paràmetres ja es pot procedir a seleccionar els paràmetres d'anàlisi. En el nostre model, al tractar-se d'un estudi on les condicions de contorn varien en funció del temps, estem parlant d'un càlcul transitori.

CFD treballa de tal forma que necessites dir-li l'increment de temps respecte cada càlcul que vols que et realitzi i t'emmagatzemi. En aquest cas, l'increment és de 5'15 segons i s'han efectuat 151 iteracions (càlculs), és a dir, estem parlant d'un temps total de simulació de 778 segons.

Una dada curiosa i important a esmentar és la quantitat d'elements finits a calcular a partir de la malla automàtica que realitza el propi CFD. Estem parlant d'un total de 928631 nodes, on 925903 són nodes respecte el fluid i 2728 nodes respecte els sòlids. Pel que fa als elements, estem parlant d'un total de 3472782 elements, on 3082922 són elements respecte el fluid i 389860 elements respecte els sòlids.

La simulació s'ha completat després de 7 hores de càlcul i l'arxiu ha assolit un pes de 70 GB, ja que cada iteració guarda els valors de cada element finit i això suposa una càrrega de dades molt important.

A continuació es mostrarà un recull de les imatges extrems de la simulació:

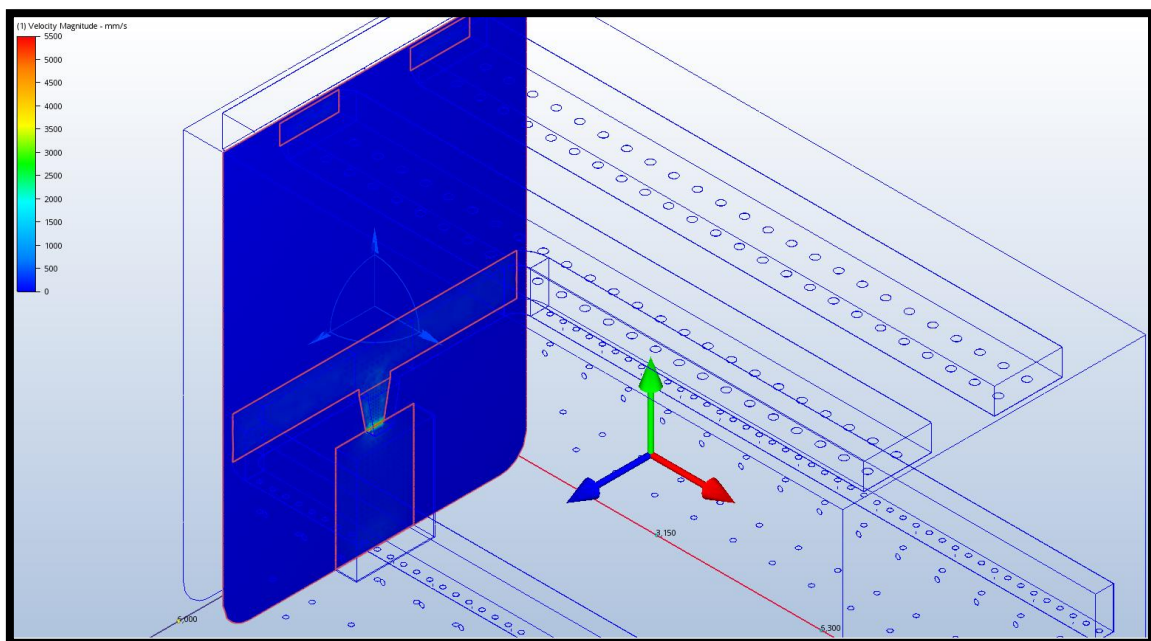


Figura 46: Valors velocitat pla ZY en estat transitori quan $T= 30s$

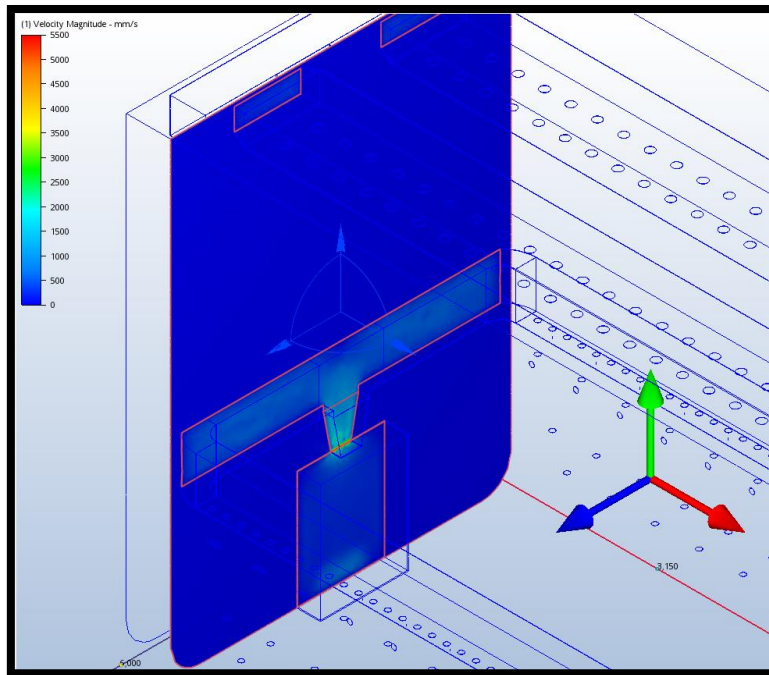


Figura 47: Valors velocitat pla ZY en estat transitori quan $T=185s$

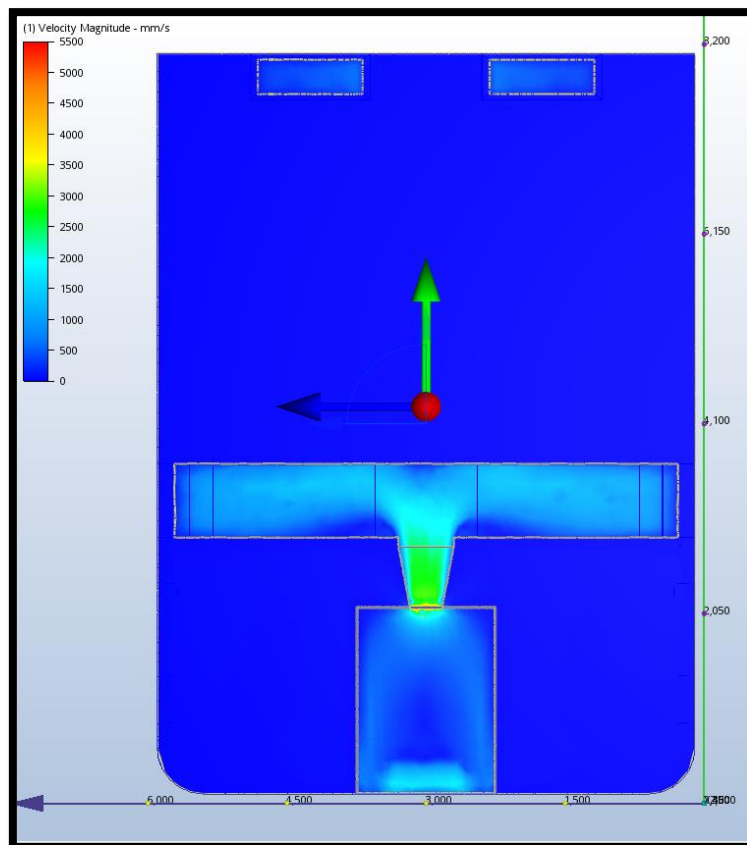


Figura 48: Valors velocitat pla posterior ZY en estat transitori quan $T=587s$

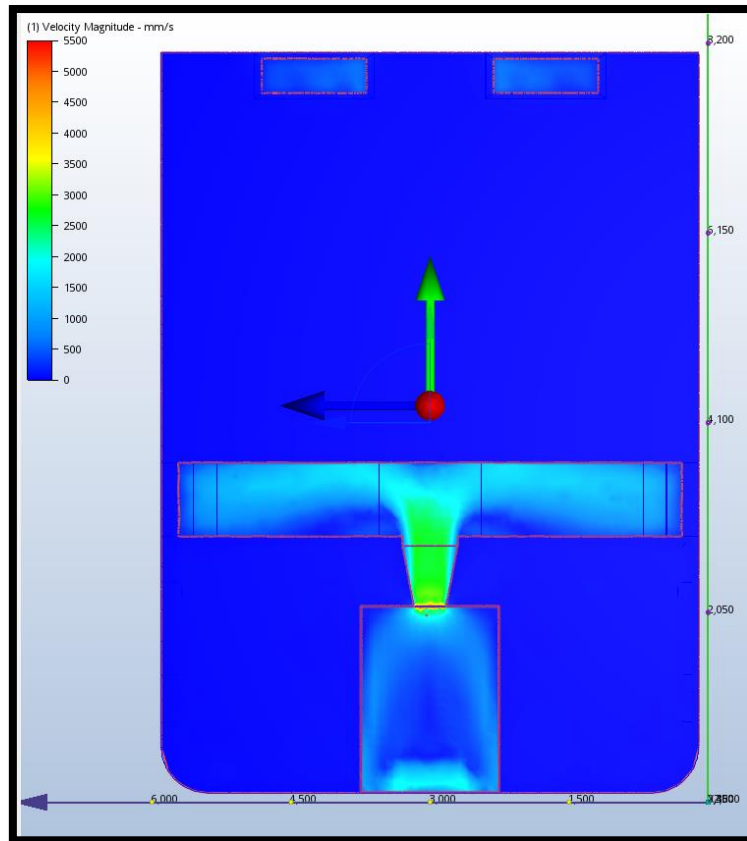


Figura 49: Valors velocitat pla posterior ZY en estat transitori quan $T= 600s$

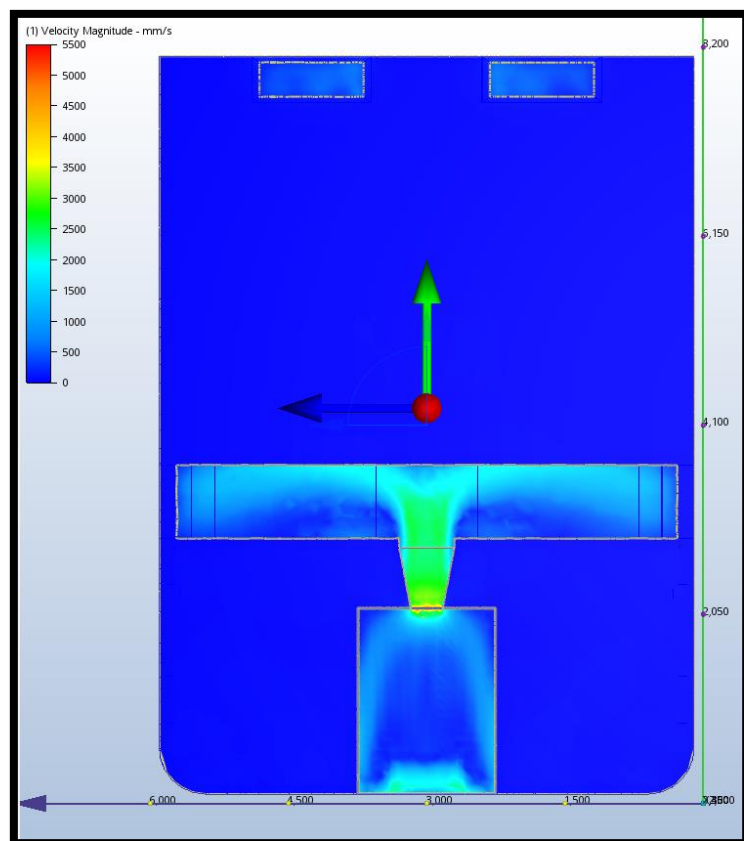


Figura 50: Valors velocitat pla posterior ZY en estat transitori quan $T= 775s$

En les figures 47, 48, 49, 50 es pot contemplar com varia la velocitat en el conducte de sortida en funció del temps de la simulació, ja que la velocitat dintre del conducte augmenta la seva magnitud quan més temps passa perquè l'aire adopta un estat circulatori i amb una inèrcia definida.

Cal esmentar que la sortida d'aire just al moment d'inici està definida com a velocitat constant, això s'ha realitzat per simplificar els càlculs, però CFD et permet entrar l'equació de la velocitat del ventilador i permet variar la seva velocitat en funció del temps de funcionament per tal de tenir en compte el moment d'arrencada del ventilador.

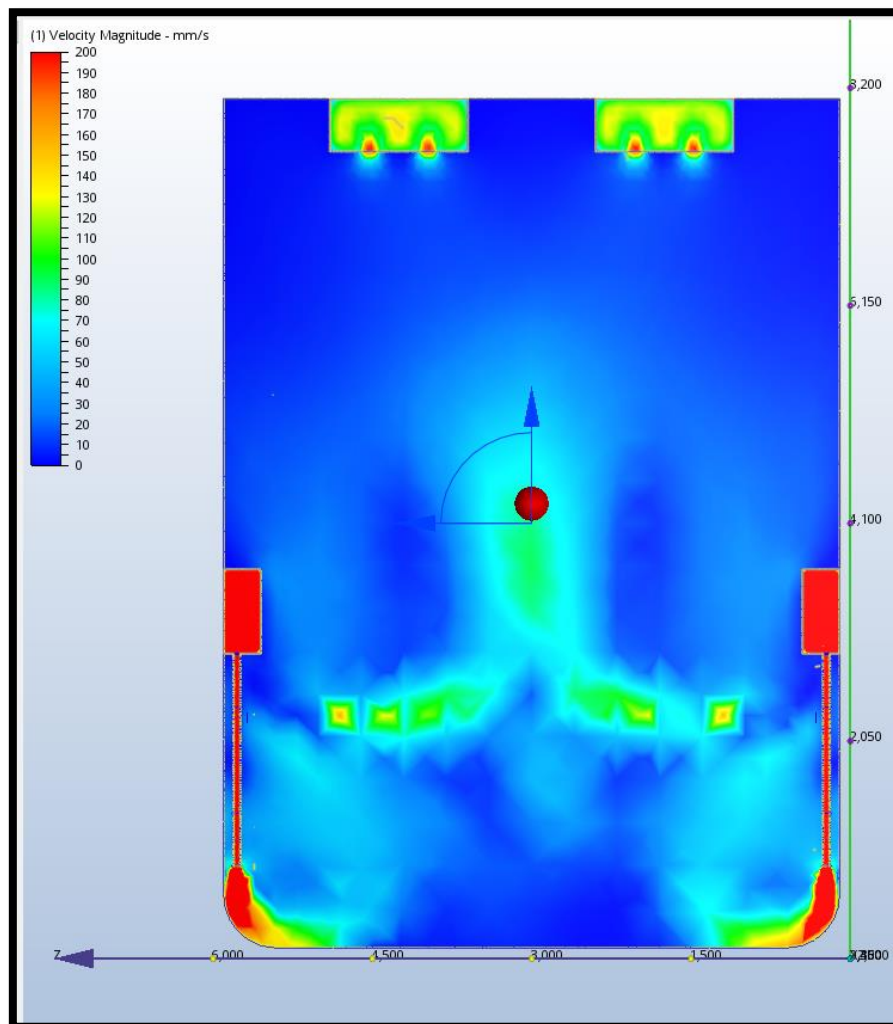


Figura 51: Valors velocitat pla central ZY en estat transitori quan $T=210s$

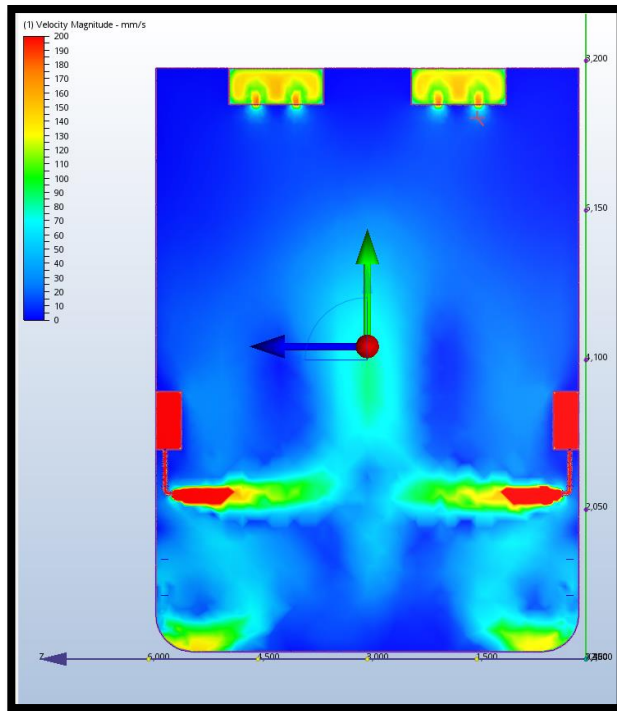


Figura 52: Valors velocitat pla central ZY en estat transitori quan $T=210s$

Tal i com es pot observar en les figures 51 i 52, l'efecte que adopta l'aire quan frega amb les mitges canyes de les parets de la sala, li dona aquest gir característic dirigit al centre on es troba el producte a assecat i tot seguit, canvia de direcció de forma vertical gràcies a l'efecte de succió dels dos conductes d'aspiració.

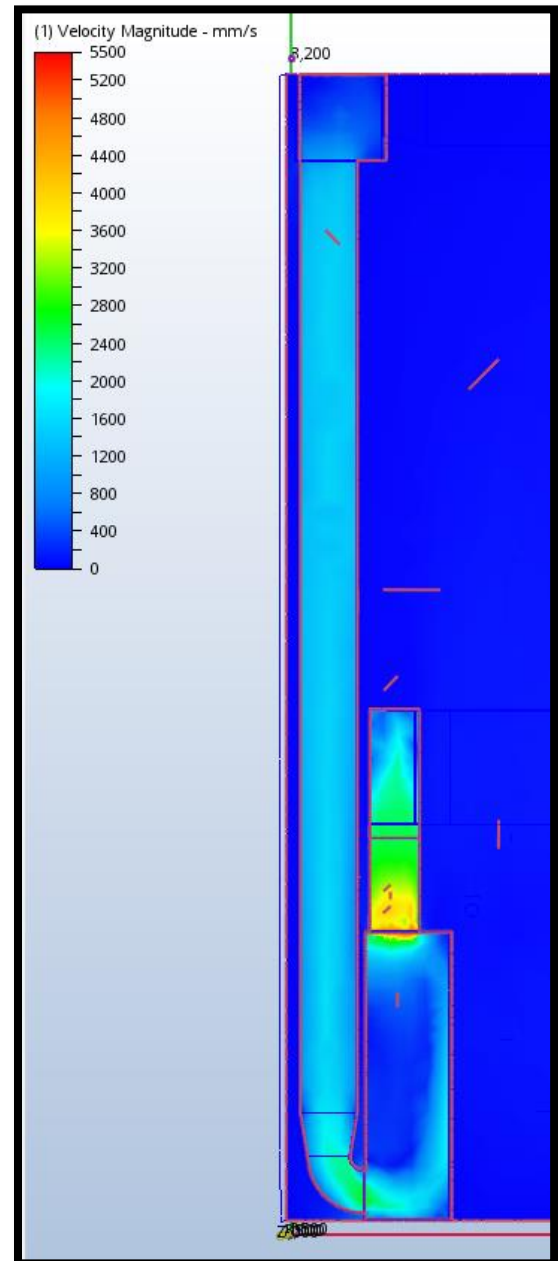


Figura 53: Valors velocitat pla XY en estat transitori quan $T=210s$

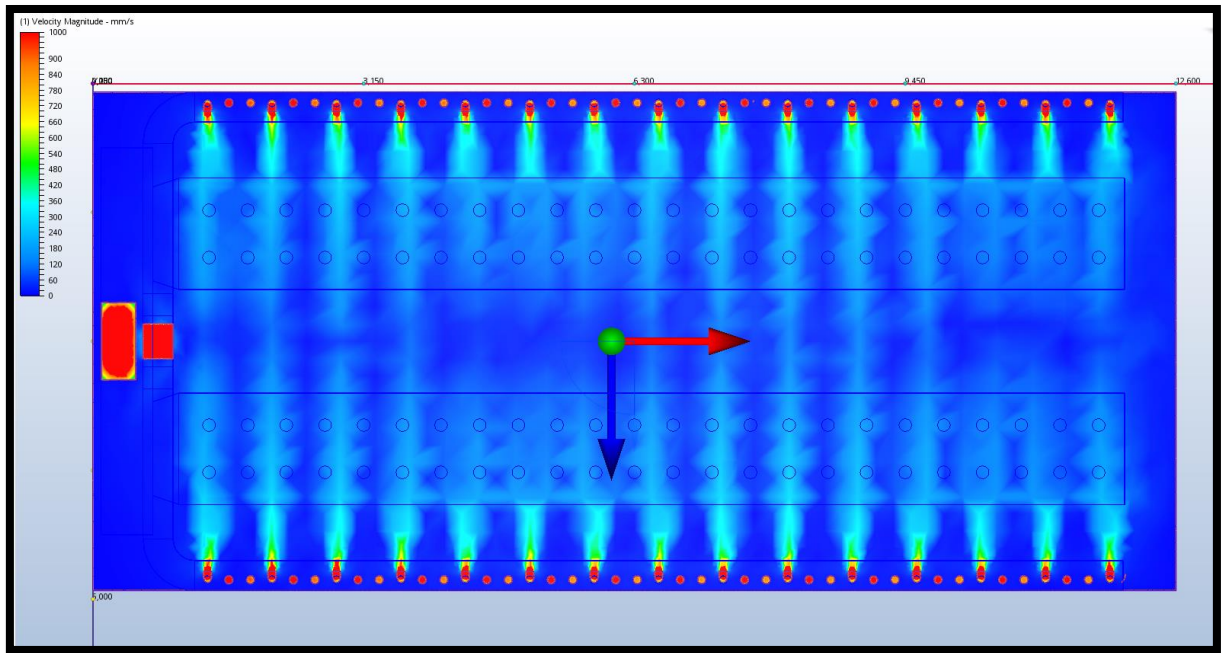


Figura 54: Valors velocitat pla XZ en estat transitori quan $T=240s$

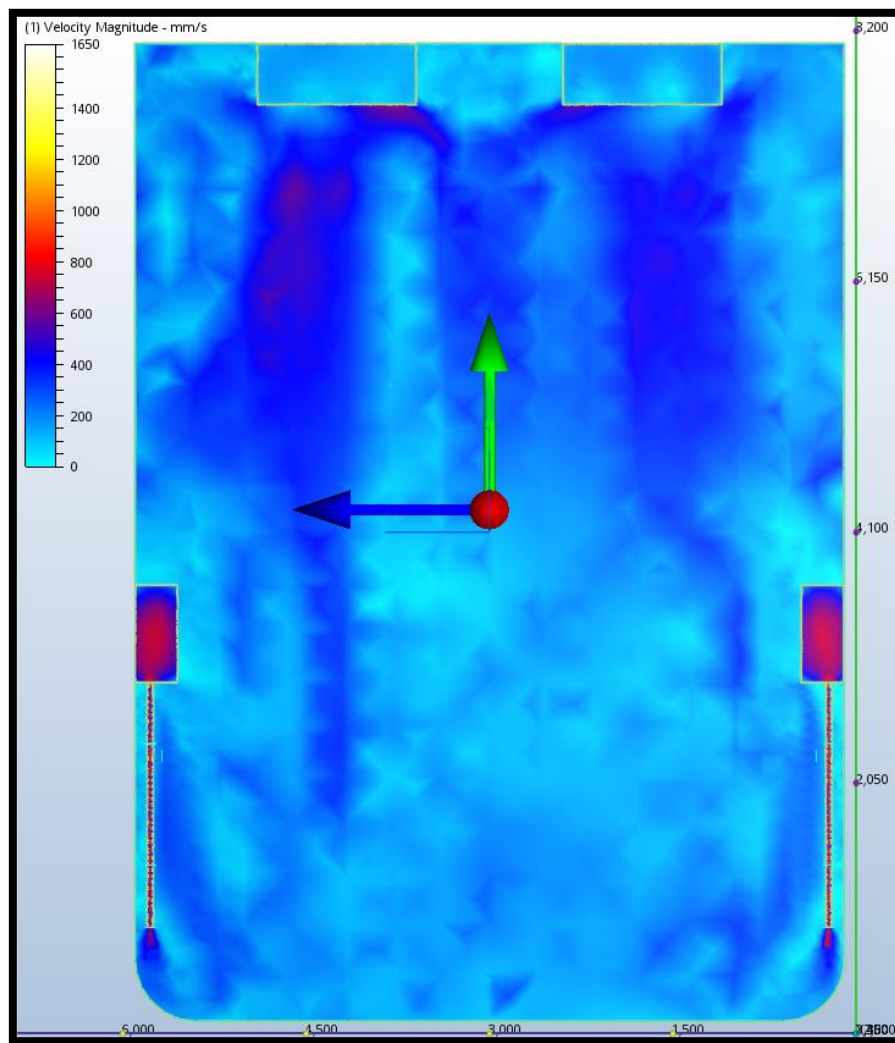


Figura 55: Valors velocitat pla ZY en estat transitori quan $T=210s$

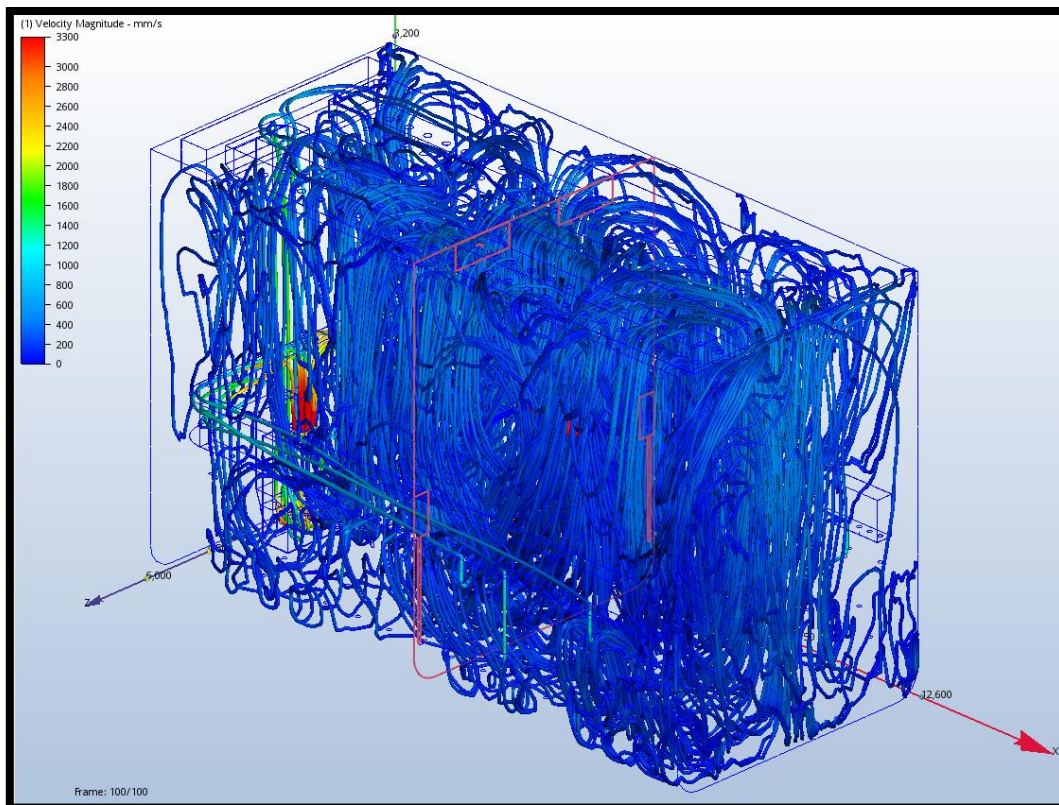


Figura 56: Representació gràfica moviment partícules en estat transitori quan $T = 240s$

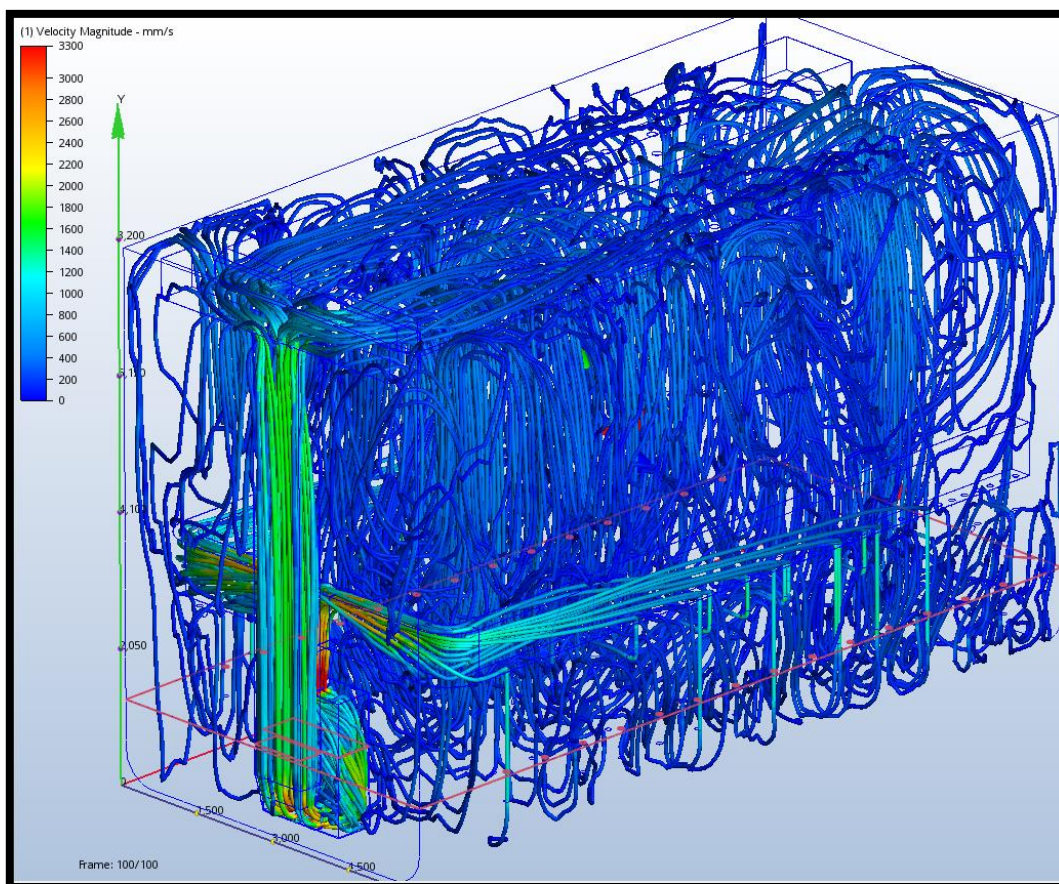


Figura 57: Representació gràfica moviment partícules en estat transitori quan $T = 240s$

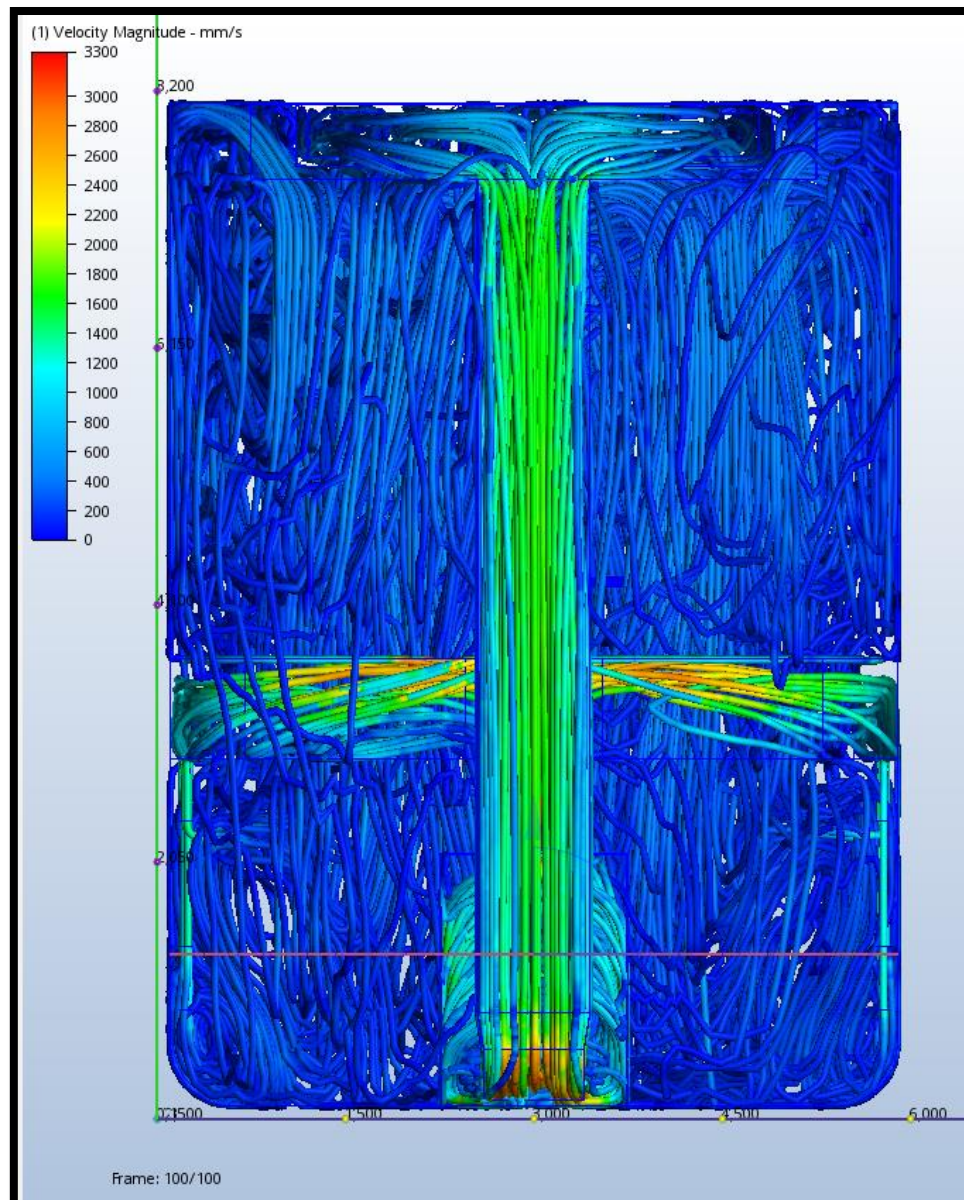


Figura 58: Representació gràfica pla ZY moviment partícules estat transitori $T= 240s$

En les figures 56, 57 i 58 es pot analitzar el recorregut de les partícules que CFD et permet seleccionar lliurement per poder realitzar un estudi aerodinàmic del comportament que adopta el flux dintre del volum de control, i també t'indica la velocitat de la partícula al llarg del seu recorregut.

Aquesta tècnica s'utilitza molt en el sector de l'automoció per observar el comportament del flux respecte la geometria de la carrosseria. En el nostre cas, visualment és complicat d'observar l'efecte i el seu comportament, ja que es tracta d'un model on interessa que l'aire es remogui a l'interior de la sala.

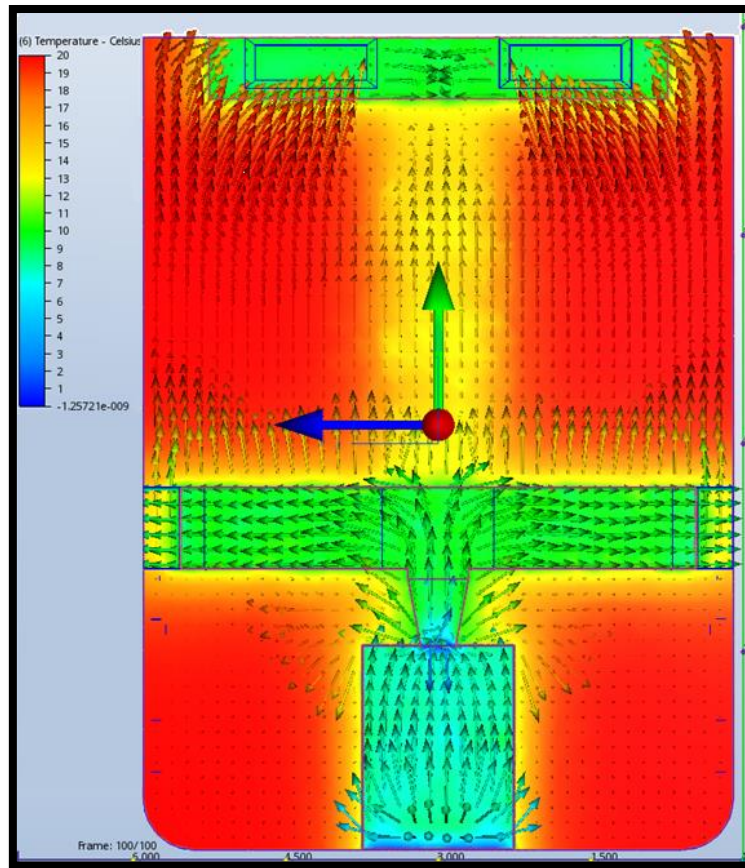


Figura 59: Valors temperatura i direcció vectorial pla ZY estat transitori T= 30s

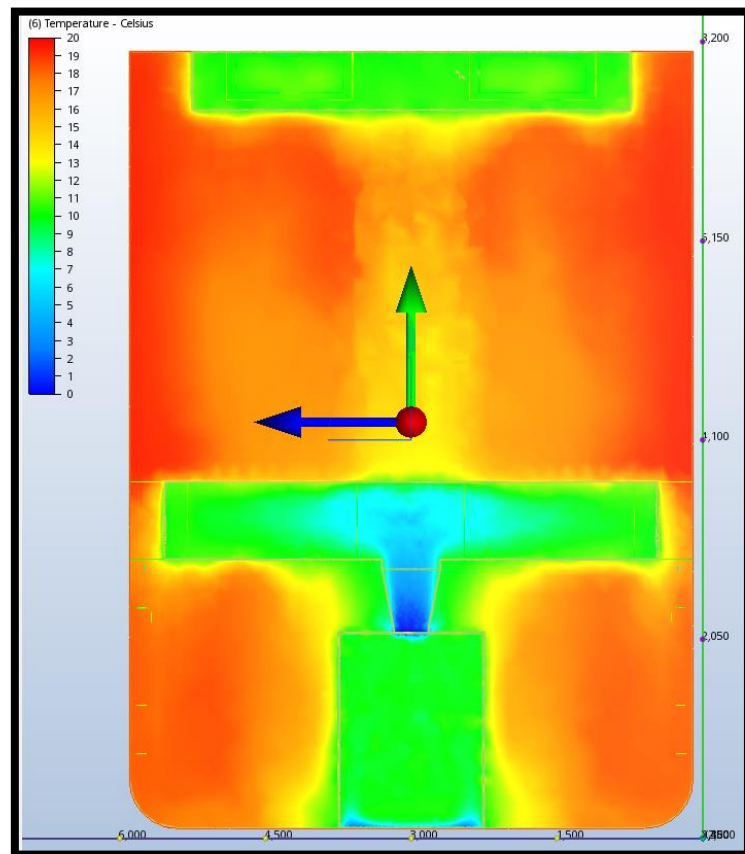


Figura 60: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan T= 60s

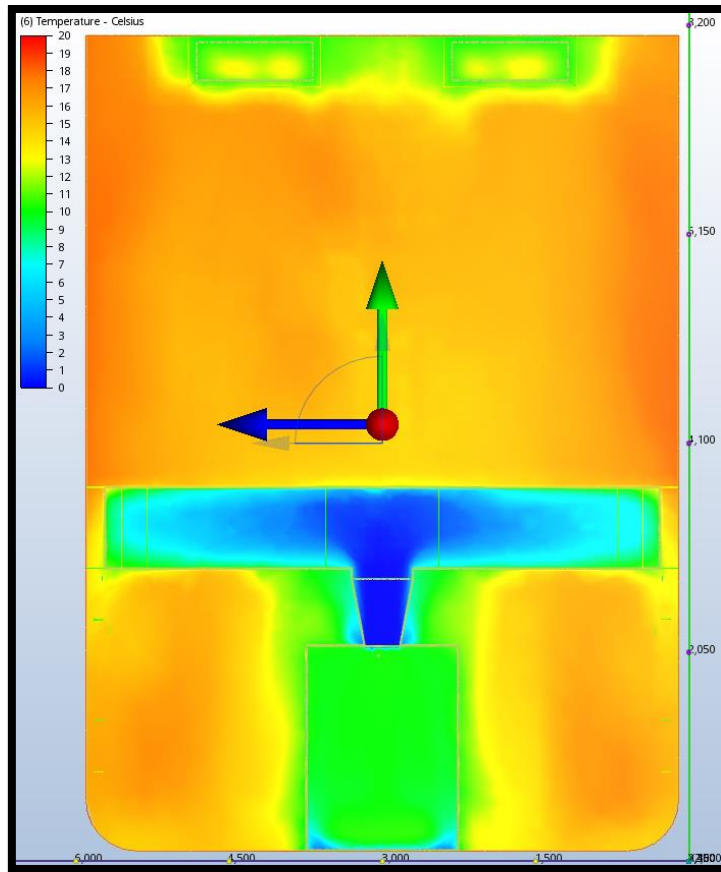


Figura 61: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 100s$

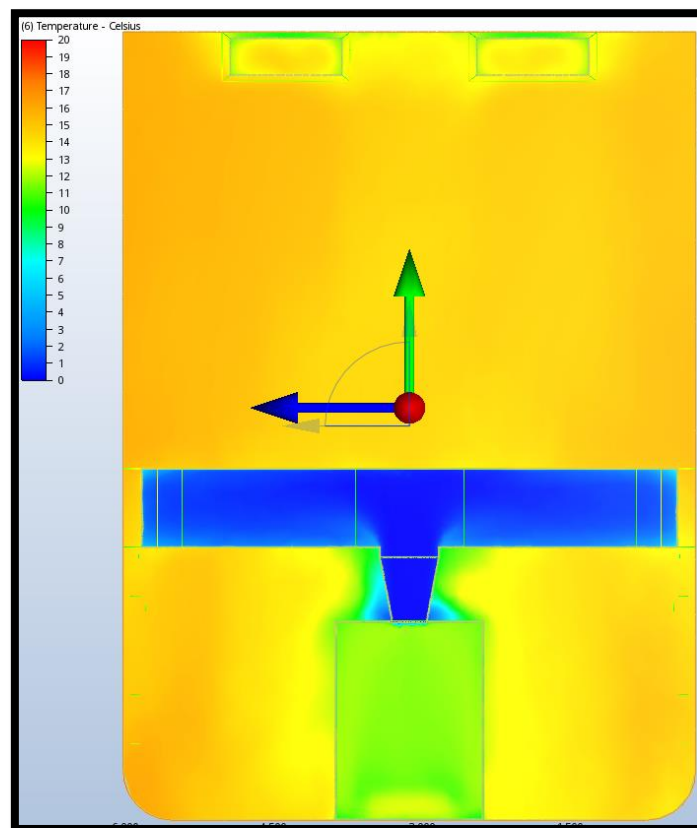


Figura 62: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 200s$

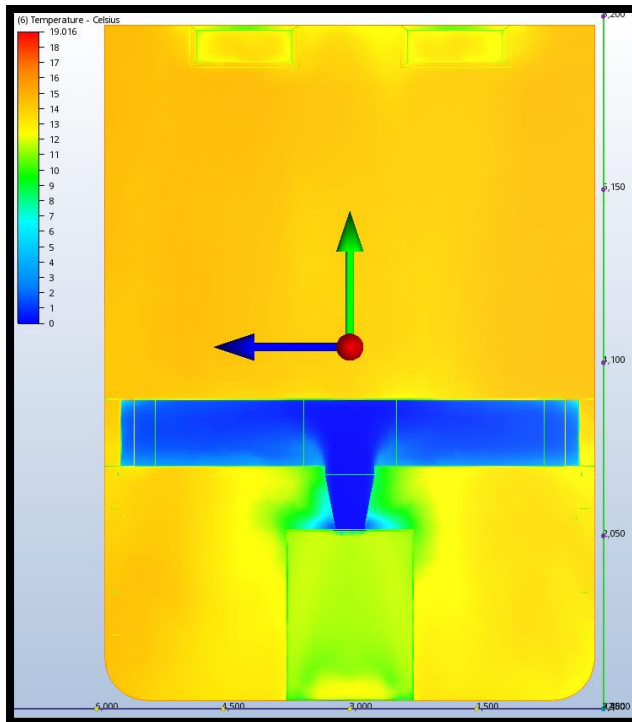


Figura 63: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 300s$

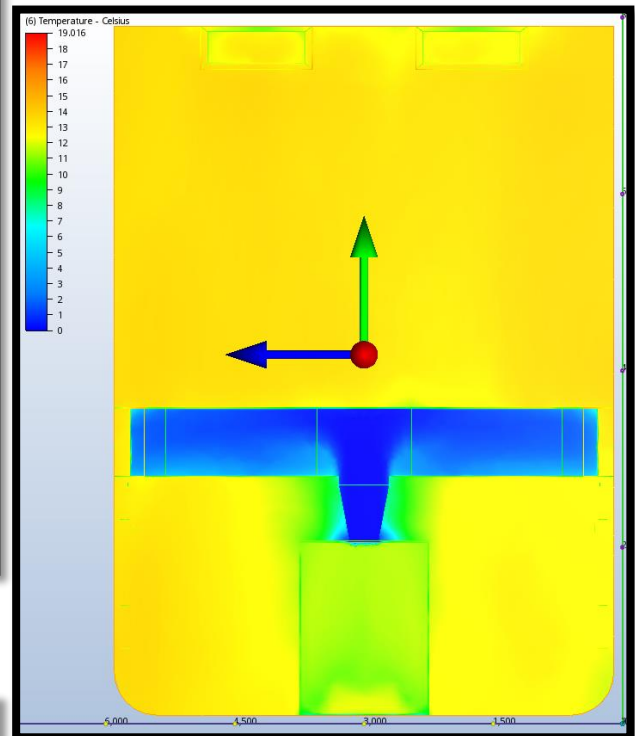


Figura 65: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 400s$

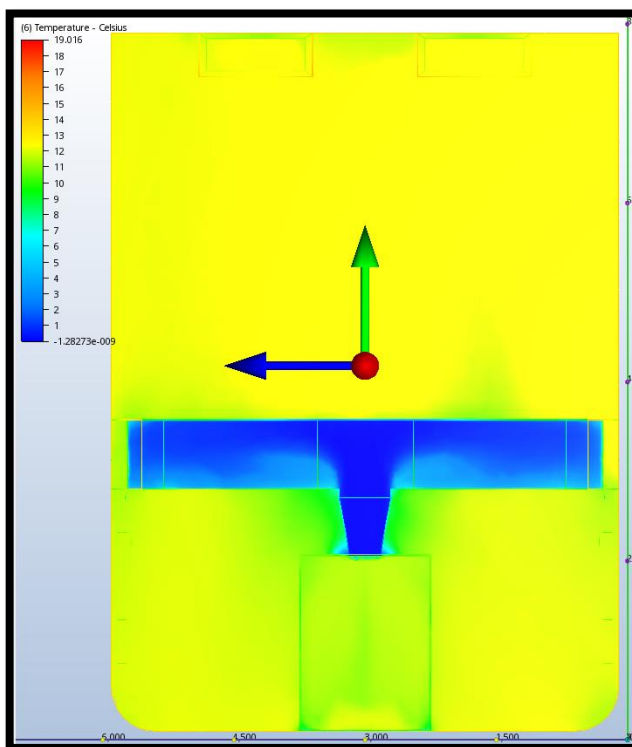


Figura 64: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 600s$

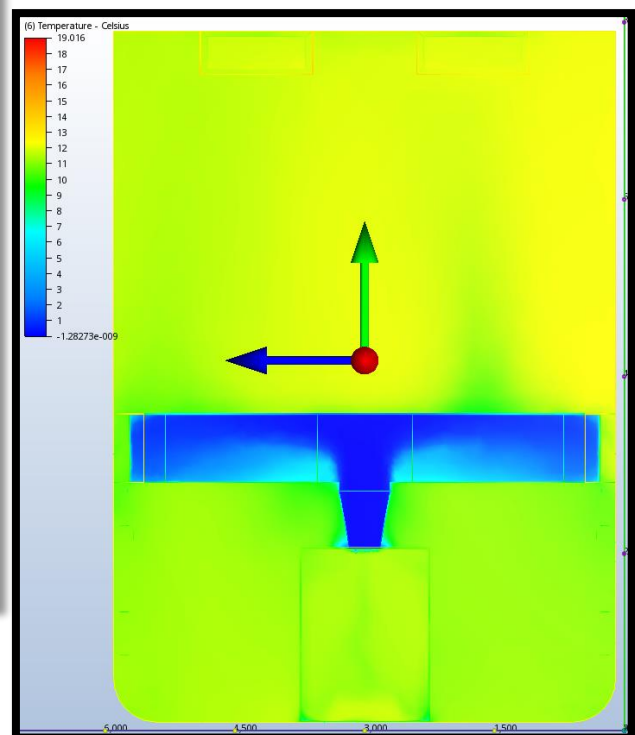


Figura 66: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 780s$

Observant les figures de la 59 a la 66, podem contemplar el canvi tèrmic en funció del període de simulació en concret. En aquestes il·lustracions es veu clarament l'efecte dissipador del fred i, a més a més, l'efecte de la transmissió de calor, ja que el contacte del flux exterior de la sala amb la xapa dels conductes es veu per radiació com la temperatura al voltant dels perfils dels conductes es redueix considerablement a causa de la circulació del flux intern amb un gradient de temperatura notablement inferior.

Tot seguit, en les figures 67, 68 i 69 podem visualitzar els efectes comentats anteriorment, però des del punt de vista transversal de tota la sala tallant just al mig en el pla XY.

Es pot comprovar com el flux proper a la zona de l'evaporador canvia més ràpid de gradient tèrmic en comparació al final de la sala, ja que el flux intern dels conductes laterals, a mida que avança al llarg de tota la sala, va perdent potència frigorífica i en aquest instant de temps no té suficient inèrcia com per provocar canvis notables.

A mida que passa el temps es pot veure com varia el grau de temperatura i, per tant, gràcies a aquests càlculs pots fer una estimació del temps que requerirà tenir la sala a la temperatura desitjada.

La simulació indica que amb 780 segons, la sala passa dels 20°C a una mitjana aproximada de 13°C, és a dir, si la sala n^o5 requereix estar de 0/6°C necessitarem un temps aproximat de 30 minuts per assolir l'objectiu tèrmic desitjat.

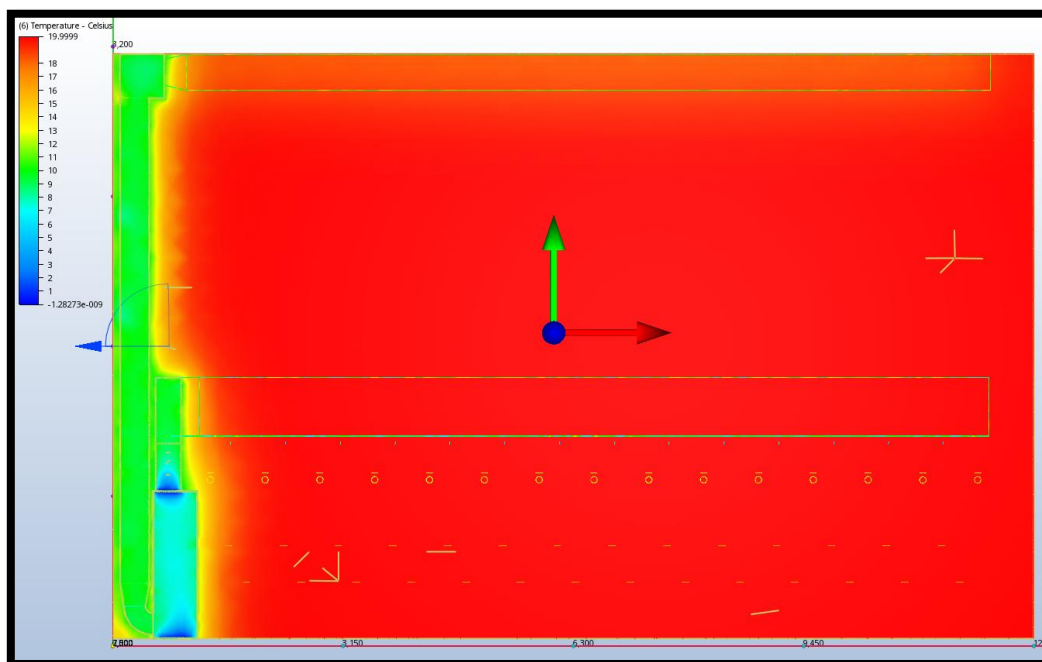


Figura 67: Valors temperatura pla XY en estat transitori quan $T=30s$

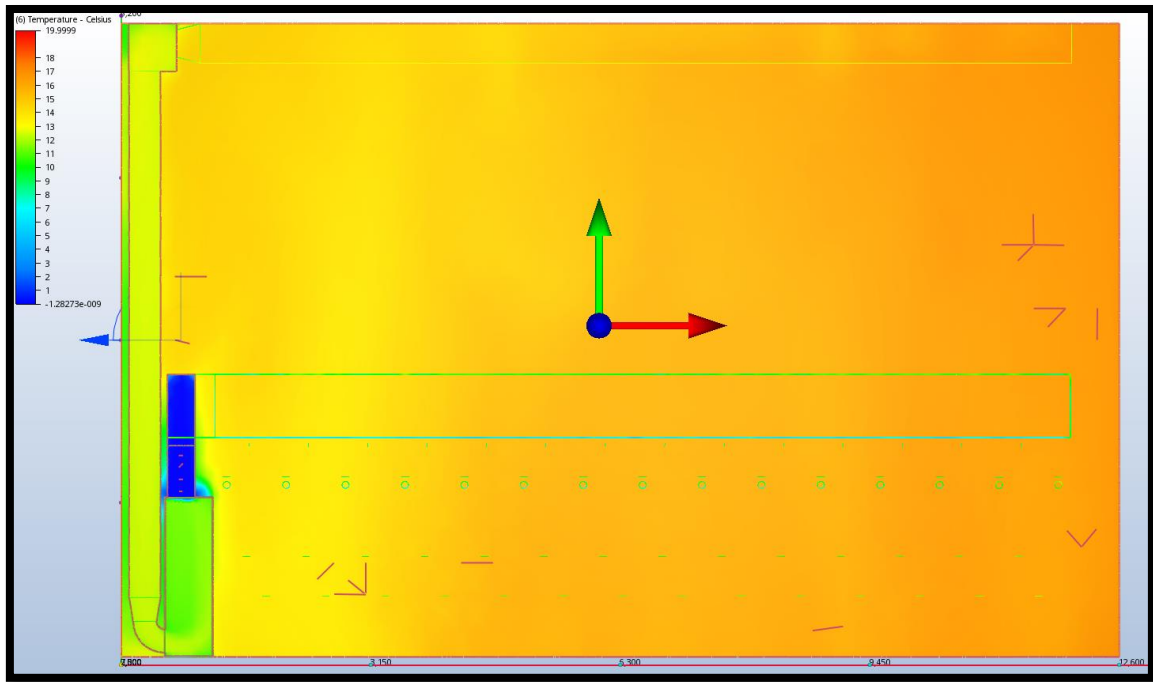


Figura 68: Valors temperatura pla XY en estat transitori quan $T= 300s$

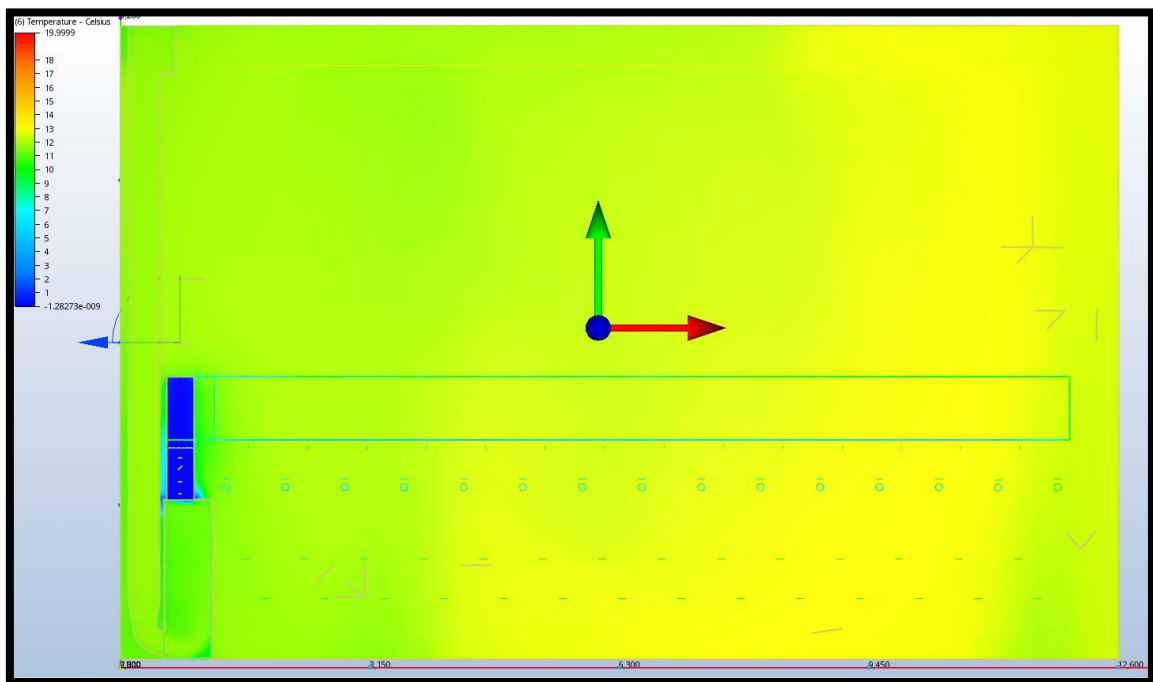


Figura 69: Valors temperatura pla XY en estat transitori quan $T= 780s$

En les figures 70 a la 76 es realitza un tall de la sala just a la zona dels conductes d'impulsió, concretament a la sortida dels tubs de PVC amb colze per observar l'estat tèrmic de la sortida de l'aire fred i poder estudiar com varia el grau de temperatura just al mig de la sala.

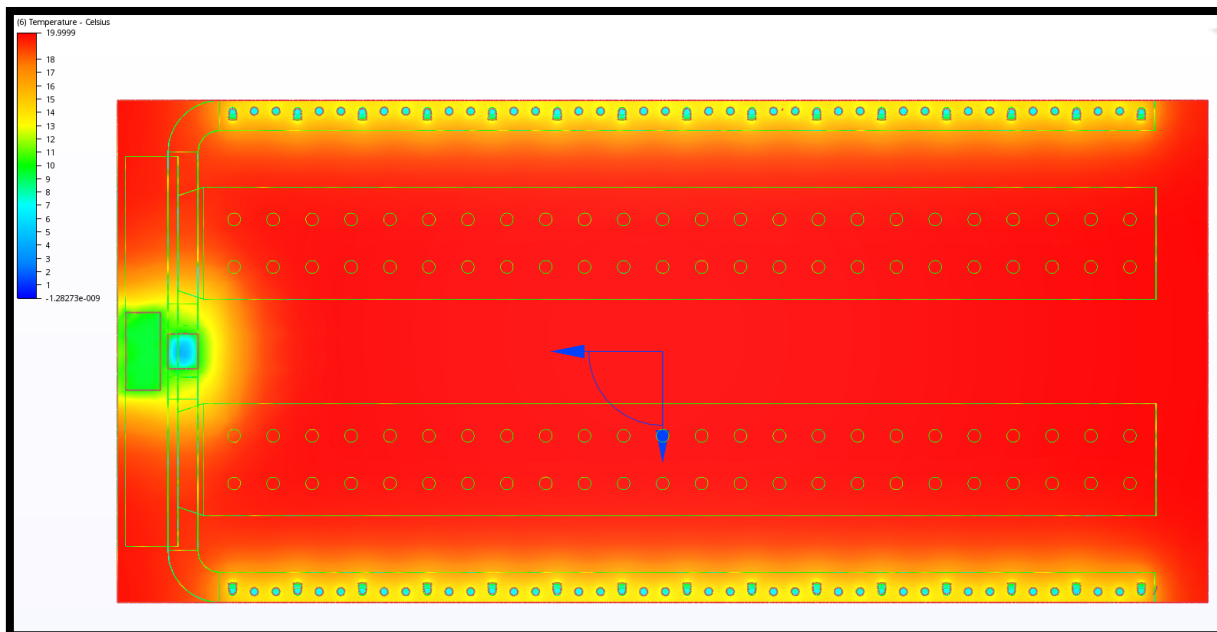


Figura 70: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan $T = 30s$

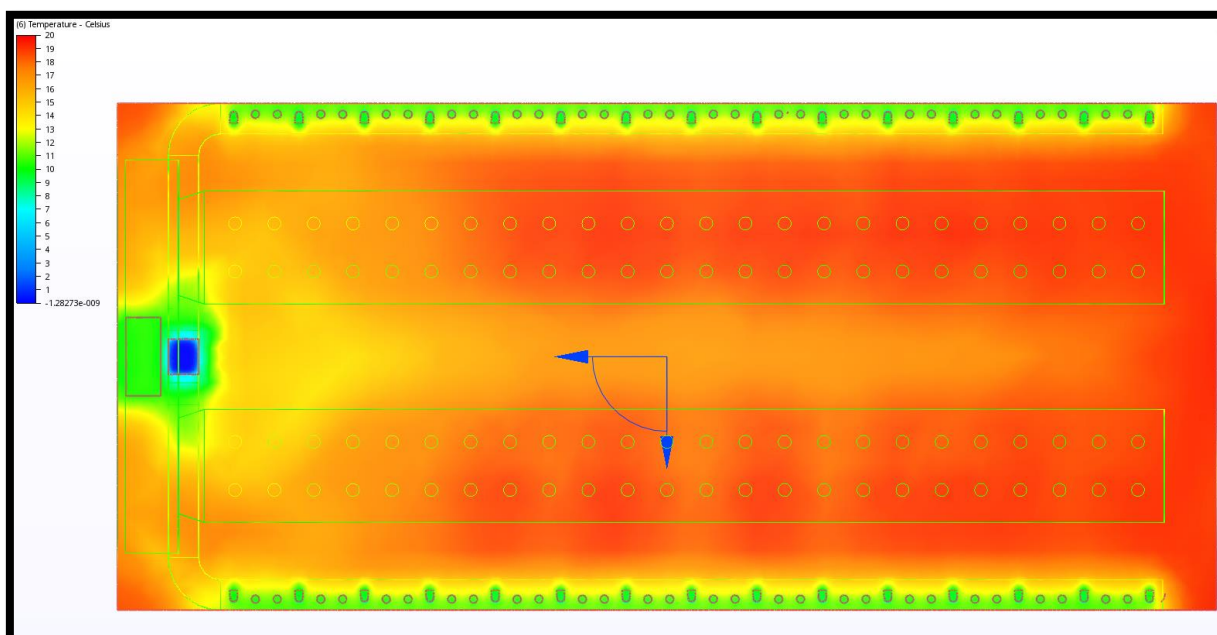


Figura 71: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan $T = 85s$

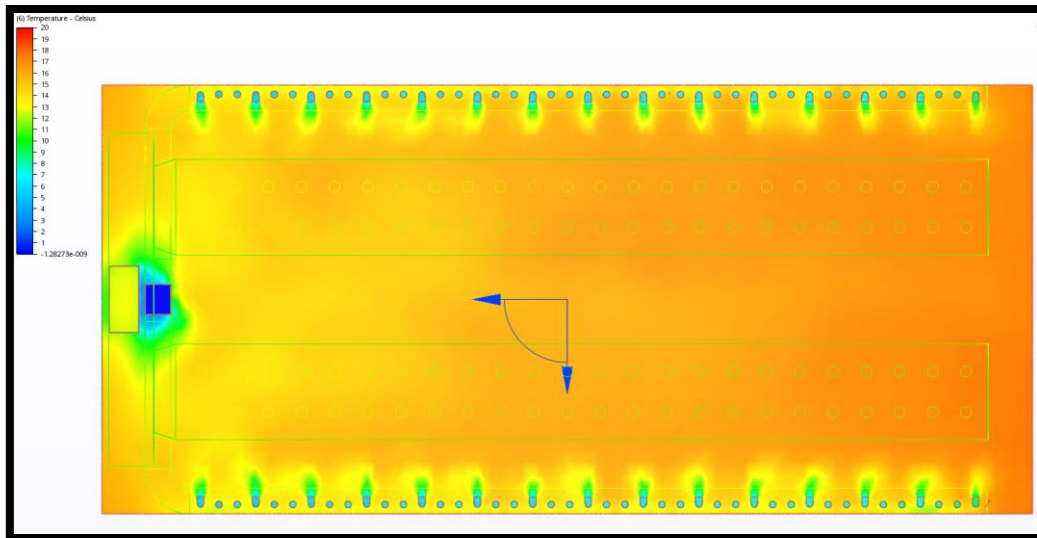


Figura 72: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan $T= 220s$

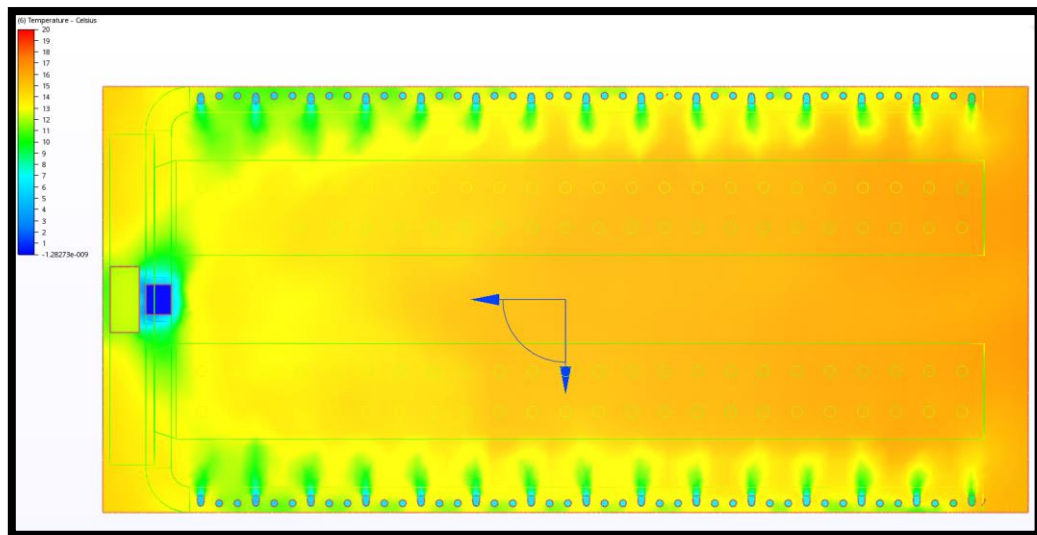


Figura 73: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan $T= 350s$

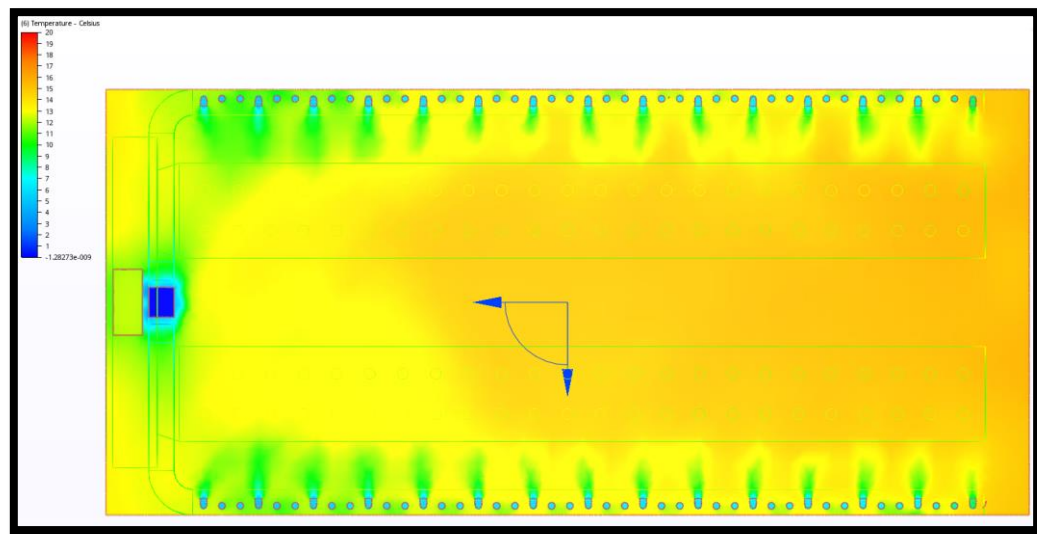


Figura 74: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan $T= 450s$

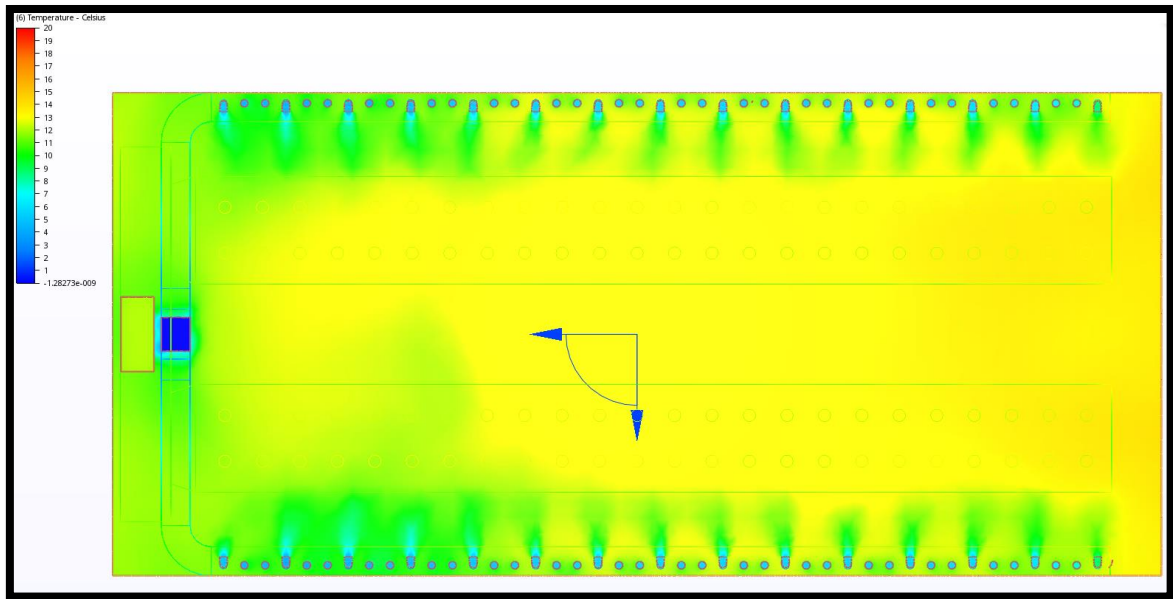


Figura 75: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan $T= 650s$

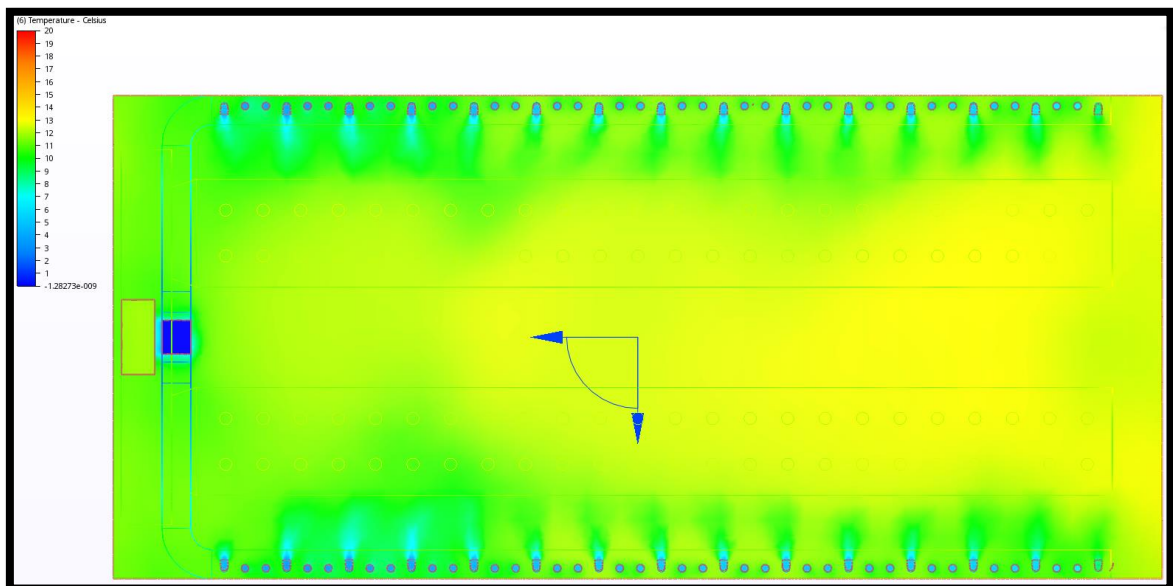


Figura 76: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan $T= 780s$

Com es pot contemplar en les figures 77 i 78, el programa CFD Motion 2016 permet representar gràficament els vectors direccionals dels nodes del fluid juntament amb els seus distintius colors en funció de la temperatura en què es troben.

Aquest mòdul és molt utilitzat per determinar les dissipacions tèrmiques de diferents objectes com podrien ser radiadors o elements electrònics i fer un estudi exhaustiu del comportament tèrmic.

En el nostre model, l'efecte dissipatiu tèrmic és molt poc uniforme, ja que estem parlant d'un flux dirigit amb diferents direccions i al xocar al centre de la sala es creen ones representacions gràfiques molt difícils d'interpretar i preveure.

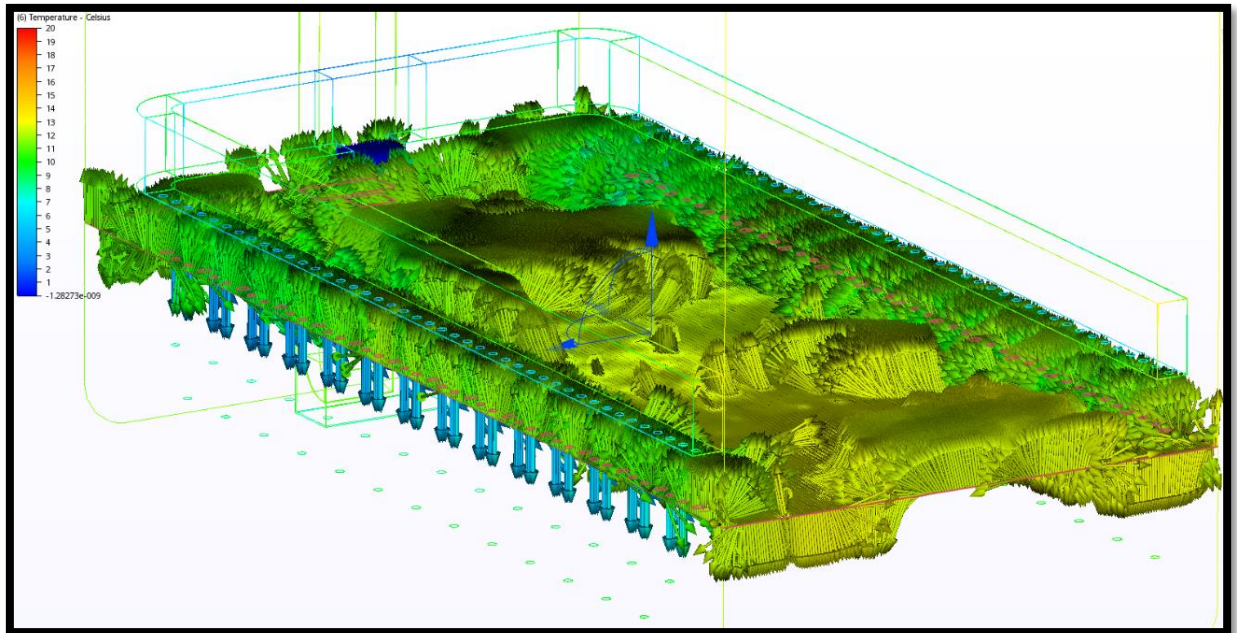


Figura 77: Valors temperatura i direcció vectorial quan $T=780s$

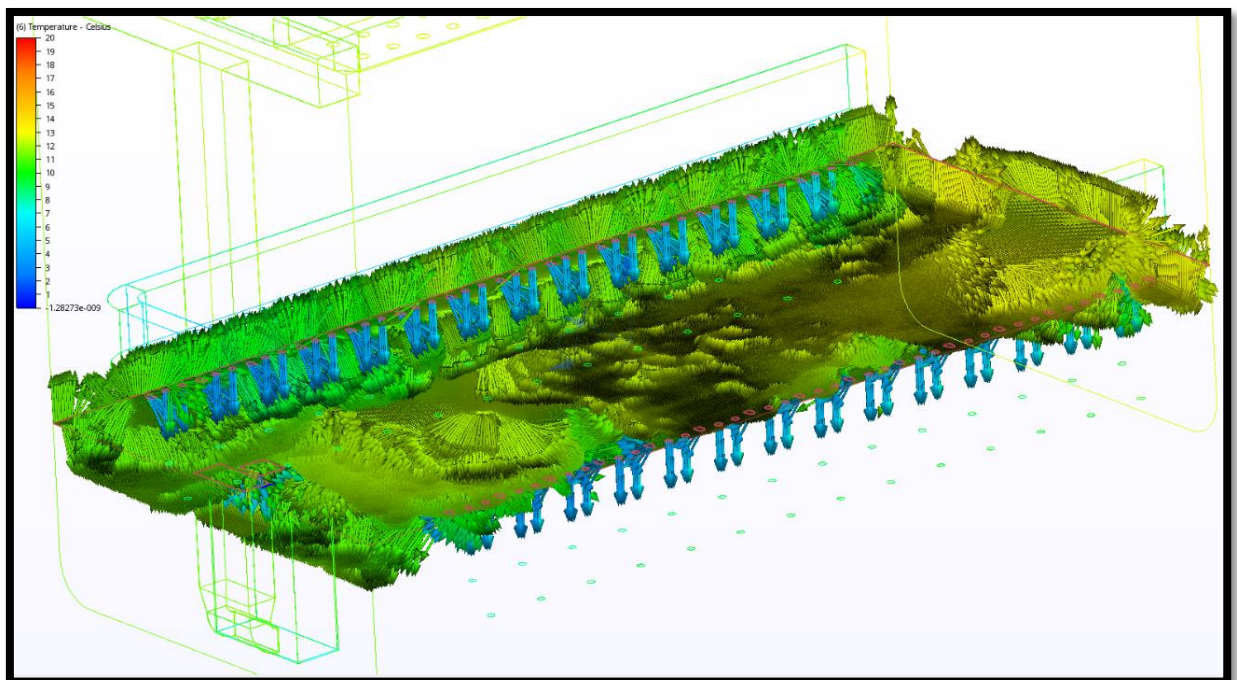


Figura 78: Valors temperatura i direcció vectorial quan $T=780s$

La figura 79 es realitza un tall en el pla ZX just pel centre dels conductes laterals i es pot distingir clarament l'efecte de transmissió de calor per radiació com el conducte per la cara que dona al centre de la sala li és molt més difícil de disminuir el gradient tèrmic, ja

que té un contacte més directe respecte el flux calent de la sala. En canvi, la zona exterior on hi ha els panells aïllants de 100 mm, li és molt més fàcil mantenir la temperatura de sortida de l'evaporador i adquirir un blau més apagat i per tant, una temperatura menor a causa del coeficient de transmissió de calor [U] que gràcies al poliuretà d'alta densitat adopta un valor molt petit i això ens permet tenir una bona conservació de la temperatura interna de la sala.

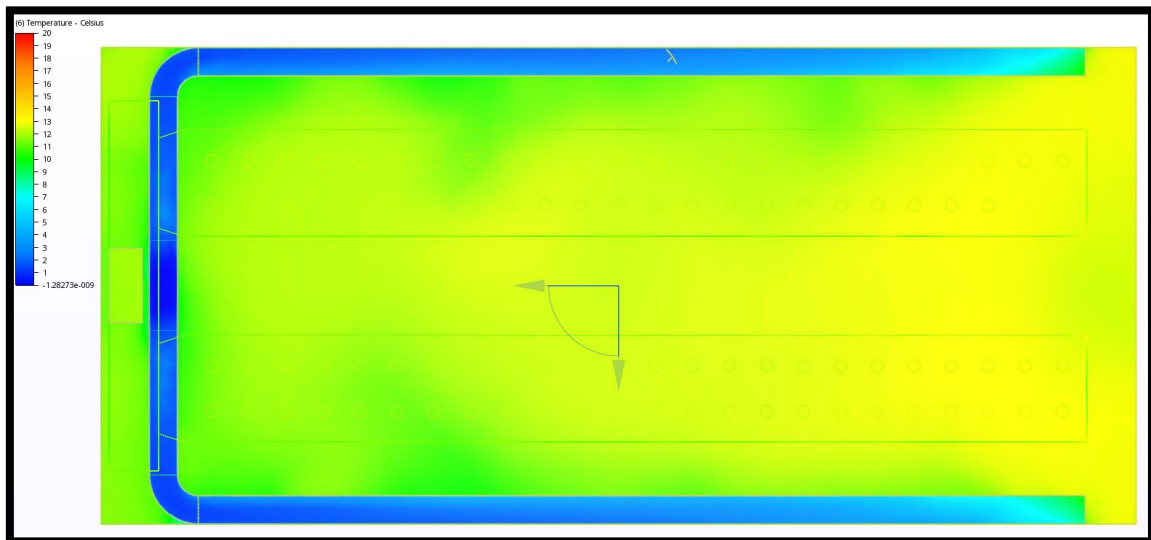


Figura 79: Valors temperatura conductes laterals pla ZX quan $T = 780s$

En les figures 80, 81 i 82 podem observar el mateix efecte tèrmic però el pla de tall ens dona els resultats en direcció XY respecte uns intervals de simulació en concret. Aquests plans estan situats al final de la sala on és més complicat de reduir la temperatura al centre de la sala, ja que el flux fred ha hagut de recórrer tot el conducte lateral i gran part de la seva energia frigorífica l'allibera durant les primeres sortides dels conductes de PVC.

La simulació s'ha aturat als 13 minuts perquè a partir d'aquest punt els canvis són molt poc significatius, ja que la variació tèrmica més significativa es produeix durant els primers minuts i després els valors s'estabilitzen i es redueix la temperatura progressivament al llarg de tota la sala.

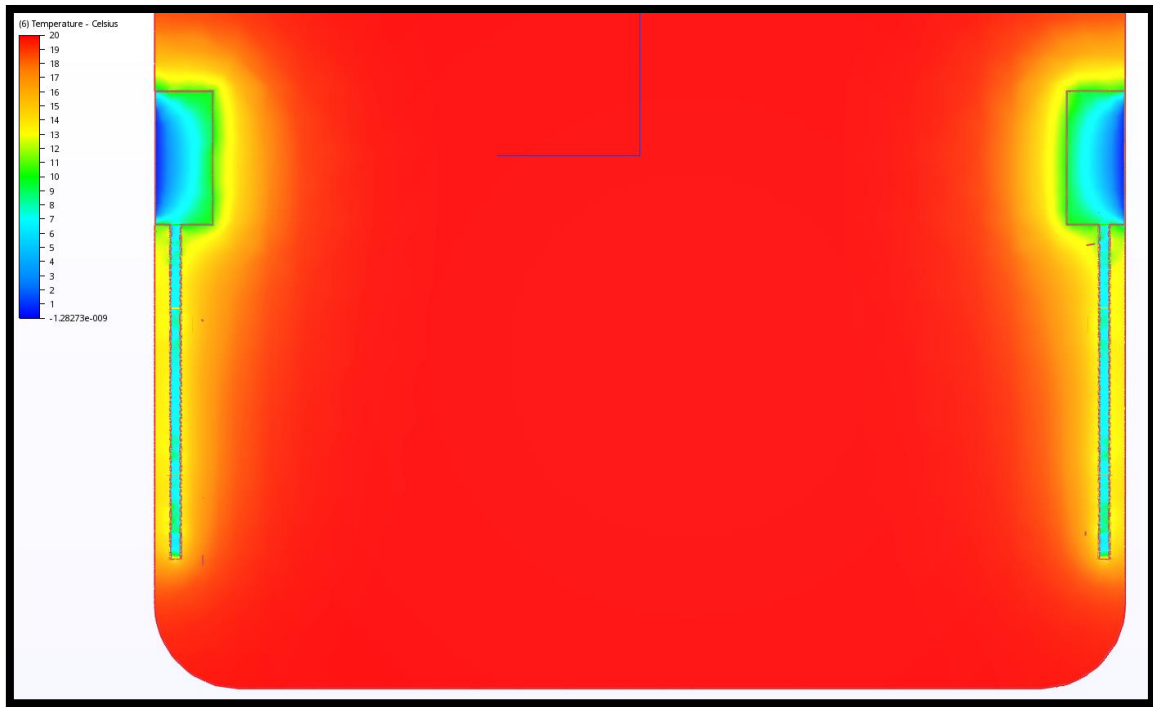


Figura 80: Valors temperatura conductes laterals pla XY quan $T= 30s$

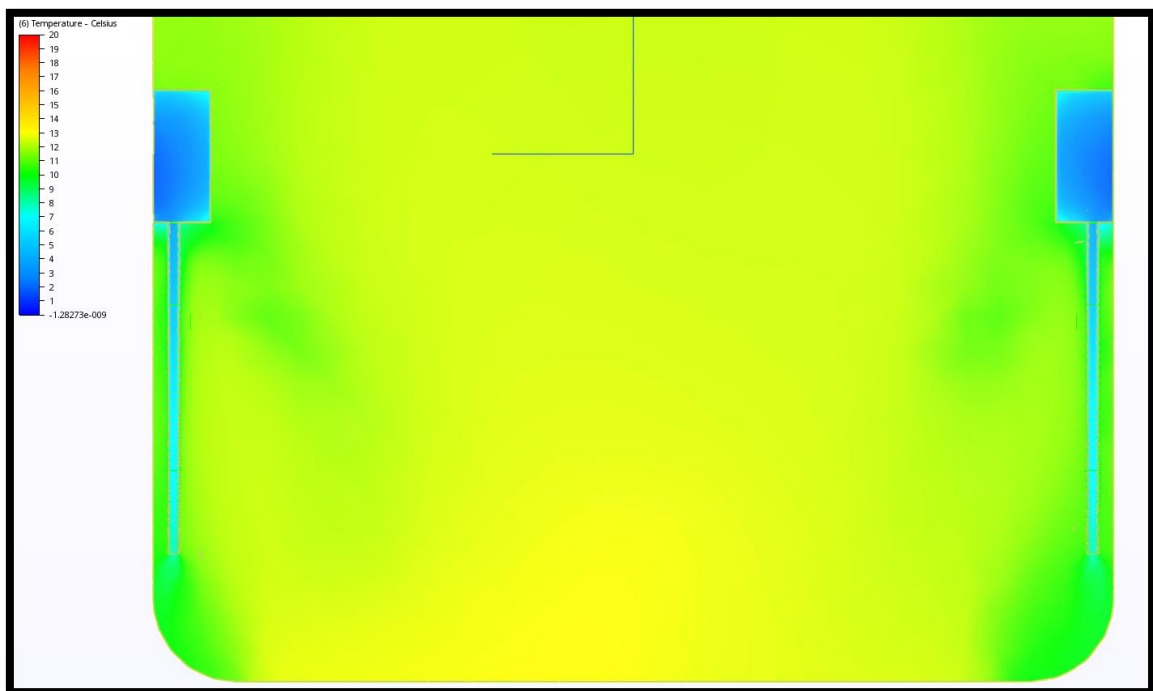


Figura 81: Valors temperatura conductes laterals pla XY quan $T= 780s$

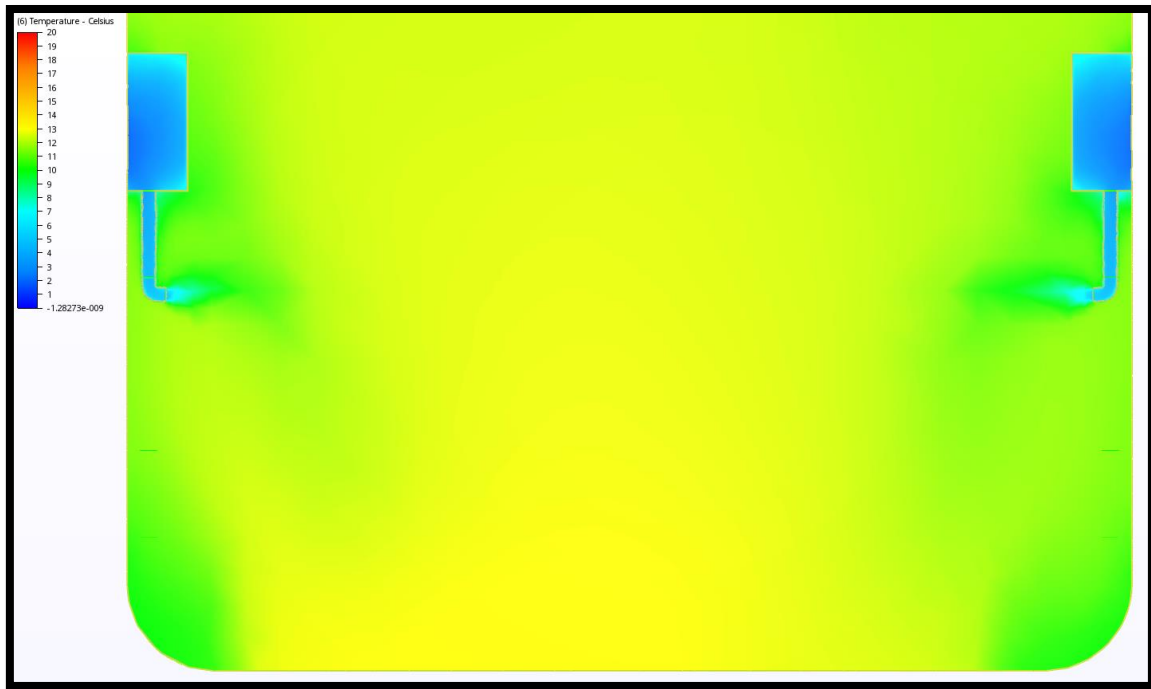


Figura 82: Valors temperatura conductes laterals pla XY quan $T=30s$

Un cop observats els resultats de la simulació, podem afirmar que el nostre model tal i com està dissenyat, pel que fa al sistema de conductes i tuberes, compleix els requisits desitjats pel correcte funcionament. La dissipació del flux fred és correcte al llarg de tota la longitud de la sala a excepció de la zona propera a l'entrada de la sala. Si es volgués millorar el sistema es podria instal·lar un sistema de vàlvules als tubs de PVC regulats per un PLC que permetés regular el cabal dels primers tubs per mantenir un flux més fred fins al final dels conductes laterals i així, refredar més equitativament tota la sala. Aquest sistema és molt car i complicat de dur a terme, és per aquest motiu que només les grans empreses pioneres o bé algunes sales de laboratoris tenen la possibilitat d'aplicar-la, ja que necessiten una homogeneïtat superior als assecadors de pernils o embotits.

5. CONCLUSIONS

En el present projecte s'ha dut a terme un estudi ampli de com realitzar correctament una instal·lació frigorífica d'una nau dedicada a una producció de 80.000kg de pernil setmanal. S'ha tingut en compte tant els aspectes productius, com els tècnics per poder escollir una instal·lació optimitzada i eficaç per cada zona concreta de la nau.

Els sistemes aplicats consten de dos grans instal·lacions totalment independents i diferents en els seu aspecte i forma de treball. La instal·lació d'unitats refredadores amb dipòsit d'inèrcia de propilenglicol o glicol (sistemes d'expansió indirectes) està adoptant un gran augment de la seva aplicació en sistemes de refrigeració de naus dedicades al sector alimentari, ja que aporta un seguit d'avantatges tant mediambientals com econòmics, com per exemple la reducció de la quantitat de refrigerant utilitzat i, per altra banda, permet una regulació més acurada gràcies al sistema de les vàlvules de tres vies i permet arribar un flux fred a grans distàncies dels condensadors, molt útil si estem parlant de naus de grans dimensions.

En el sistema de climatització de les sales d'assecatge, avui en dia se segueix utilitzant el sistema de refrigeració per expansió directe, ja que es tracta d'unes màquines amb un sistema molt complex de control de la temperatura i de la humitat. Per tant, moltes vegades reutilitzen el flux dirigit al condensador per reenviar-lo a un segon condensador que es troba situat dintre la mateixa màquina i així regular la temperatura per tal d'assecar correctament el producte.

També s'han pogut obtenir uns resultats de la simulació amb CFD de la sala nº5 molt propers a la realitat i ens ha permès observar el comportament que adopta el flux respecte el nostre disseny dels conductes. CFD ha resultat ser una eina molt útil i en un futur molt pròxim es preveu ser una gran eina emprada en aquest sector de l'enginyeria frigorífica per optimitzar i treure al mercat nous dissenys de condensadors i evaporadors amb un rendiment excepcional.

Per últim, destacar que el present projecte fa a la vegada de marc teòric, exposant les diferents activitats necessàries per obtenir el producte, però a l'hora pretén mostrar com realitzar una correcta instal·lació i demostrar la funcionalitat de la mateixa i millorar així la comprensió dels components que intervenen en ella.

Pel què fa al pressupost total de la instal·lació s'ha realitzat un recull exhaustiu de tots els elements que hi intervenen i s'ha mirat d'escollir els equips d'empreses properes a la zona com INTARCON per reduir costos en transport. Tot i així, es tracta d'uns equips molt sofisticats i el pressupost total de la instal·lació puja fins els 347619 €.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

[1] Temarios formativos profesionales. *La guía básica del frigorista*. [en línia]. [Consulta: 10 gener 2017]. Disponible a: < <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2015/02/guia-basica-del-frigorista.pdf> >

[2] Area cooling solutions. *CENNIK*. [en línia]. [Consulta: 11 gener 2017]. Disponible a: < www.area.pl/files/pdf_tarifas/Cennik.pdf >

[3] Stefani. *Eagle fan*. [en línia]. [Consulta: 10 abril 2017]. Disponible a: < www.stefani-online.it/wp.../03/catalogo_dry_coolers_hires.pdf >

[4] Ingenieros industriales. *Tecnología frigorífica*. [en línia]. [Consulta: 15 abril 2017]. Disponible a: < www.personales.unican.es/reducedoc/.../003%20Elem%20Maq%20Frig.pdf >

[5] Emerson climate. *Catálogo general Copeland 2016*. [en línia]. [Consulta: 15 abril 2017]. Disponible a: < http://www.emersonclimate.com/europe/ProductDocuments/CopelandLiterature/SGE127-Emerson-General-Product-Catalogue-2016-ES_1.pdf >

[6] Intarcon. *Catálogo industrial 2012*. [en línia]. [Consulta: 16 abril 2017]. Disponible a: < www.intarcon.es/pdfs/ES/Catalogo_Gama_industrial_INTARCON_2012.pdf >

[7] Grupo disco. *Copeland*. [en línia]. [Consulta: 16 abril 2017]. Disponible a: < www.grupodisco.com/wp-content/uploads/FileManager/docs/.../2-Copeland.pdf >

[8] Danfoss. *Compresores Scroll de Danfoss*. [recurs digital]. [Consulta: 2 maig 2017]. Disponible a: < <http://products.danfoss.es/productrange/commercialcompressors/compressors-for-air-conditioning/danfoss-scroll-compressors> >

[9] Slow meat. Proceso de elaboración de jamón ibérico. [en línia]. [Consulta: 1 abril 2017]. Disponible a: < <http://www.slowmeat.de/pequ-shop/link/download/proceso-de-elaboracion-jamon-iberico.pdf> >

6.2. LLISTAT BIBLIOGRÀFIC FIGURES

Figura 1: Màquina sagnadora.....	8
Figura 2: Tambor motoritzat dosificador de sals i nitrats.	8
Figura 3: Operari omplint de sal els contenidors higièncs amb els pernils.....	9
Figura 4: Expulsió restes residuals i excessos de sal.	9
Figura 5: Màquina rentadora per aigua a pressió.....	10
Figura 6: Sala de post-salatge.....	11
Figura 7: Sala de post-salatge.....	11
Figura 8: Sala d'assecatge.	12
Figura 9: Sala d'assecatge de grans dimensions.	12
Figura 10: Diagrama del procés d'elaboració del pernil curat.	14
Figura 11: Mapa d'ubicació de la nau.	15
Figura 12: Diagrama jeràrquic d'una empresa dedicada al sector d'assecatge.....	21
Figura 13: Diagrama P-V cicle termodinàmic real de la màquina frigorífica.....	23
Figura 14: Exemple dels dos circuits de refrigeració esmentats anteriorment.	25
Figura 15: Classificació dels compressors atenent el seu principi de funcionament.	26
Figura 16: Vista seccionada compressor alternatiu del tipus hermètic.	26
Figura 17: Vista seccionada compressor alternatiu del tipus semi-hermètic.	27
Figura 18: Compressor alternatiu del tipus obert.....	27
Figura 19: Compressors de corró o pistó rotatiu.	28
Figura 20: Compressor de paletes.....	28
Figura 21: Principi de funcionament motor Scroll espiral fixe, espiral excèntrica rotativa.	29
Figura 22: Compressor de cargol semi-hermètic amb vista seccionada.....	29
Figura 23: Classificació dels evaporadors.....	30
Figura 24: Evaporador d'expansió directe o sec	31
Figura 25: Esquema funcionament evaporador directe o sec	31
Figura 26: Esquema funcionament evaporador inundat	31
Figura 27: Esquema funcionament evaporador sobrealimentat	32
Figura 28: Exemple d'un Fan-coil amb tub llis de coure	32
Figura 29: Evaporador de plaques	33
Figura 30: Evaporadors d'aletes.....	33
Figura 31: Resistències elèctriques de desgel.....	35
Figura 32: Esquema by pass recirculació aire calent pel desgel	36
Figura 33: Esquema funcionament inversió de cicle.....	36

Figura 34: Esquema dels components bàsics de la unitat de refrigeració MWE.	50
Figura 35: Vista interior del compressor Stream unitat MWE.	51
Figura 36: Esquema dels components bàsics de la unitat d'evaporació fun coil MJC.	52
Figura 37: Imatge bomba de circulació D65-120F LOWARA.	54
Figura 38: Representació aerodinàmica del flux de refrigeració de la sala.	55
Figura 39: Representació aerodinàmica del flux de refrigeració de la sala.	56
Figura 40: Esquema dels conductes bàsics d'una sala d'assecatge.	56
Figura 41: Vista dels serpentins inferiors (fred), serpentins superiors (recirculació condensador) i les resistències elèctriques de desglaç.	59
Figura 42: Vista del ventilador centrífug per corretja col·locat sobre dels serpentins mostrats a la figura 22.	59
Figura 43: Vista dels diferents models d'unitats d'evaporadors d'assecatge.	60
Figura 44: Condensadors. Model de l'esquerra SCV i el model dret SCNS.	62
Figura 45: Model d'estudi en 3D.	63
Figura 46: Valors velocitat pla ZY en estat transitori quan $T = 30s$	65
Figura 47: Valors velocitat pla ZY en estat transitori quan $T = 185s$	66
Figura 48: Valors velocitat pla posterior ZY en estat transitori quan $T = 587s$	66
Figura 49: Valors velocitat pla posterior ZY en estat transitori quan $T = 600s$	67
Figura 50: Valors velocitat pla posterior ZY en estat transitori quan $T = 775s$	67
Figura 51: Valors velocitat pla central ZY en estat transitori quan $T = 210s$	68
Figura 52: Valors velocitat pla central ZY en estat transitori quan $T = 210s$	69
Figura 53: Valors velocitat pla XY en estat transitori quan $T = 210s$	69
Figura 54: Valors velocitat pla XZ en estat transitori quan $T = 240s$	70
Figura 55: Valors velocitat pla ZY en estat transitori quan $T = 210s$	70
Figura 56: Representació gràfica moviment partícules en estat transitori quan $T = 240s$	71
Figura 57: Representació gràfica moviment partícules en estat transitori quan $T = 240s$	71
Figura 58: Representació gràfica pla ZY moviment partícules estat transitori $T = 240s$	72
Figura 59: Valors temperatura i direcció vectorial pla ZY estat transitori $T = 30s$	73
Figura 60: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 60s$	73
Figura 61: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 100s$	74
Figura 62: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 200s$	74
Figura 63: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 300s$	75
Figura 64: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 600s$	75
Figura 65: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 400s$	75
Figura 66: Valors temperatura pla ZY en estat transitori quan $T = 780s$	75

Figura 67: Valors temperatura pla XY en estat transitori quan T= 30s	76
Figura 68: Valors temperatura pla XY en estat transitori quan T= 300s	77
Figura 69: Valors temperatura pla XY en estat transitori quan T= 780s	77
Figura 70: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan T= 30s	78
Figura 71: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan T= 85s	78
Figura 72: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan T= 220s	79
Figura 73: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan T= 350s	79
Figura 74: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan T= 450s	79
Figura 75: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan T= 650s	80
Figura 76: Valors temperatura pla ZX en estat transitori quan T= 780s	80
Figura 77: Valors temperatura i direcció vectorial quan T= 780s	81
Figura 78: Valors temperatura i direcció vectorial quan T= 780s	81
Figura 79: Valors temperatura conductes laterals pla ZX quan T= 780s.....	82
Figura 80: Valors temperatura conductes laterals pla XY quan T= 30s.....	83
Figura 81: Valors temperatura conductes laterals pla XY quan T= 780s.....	83
Figura 82: Valors temperatura conductes laterals pla XY quan T= 30s.....	84

6.3. LLISTAT BIBLIOGRÀFIC FIGURES

1. Roser-Group. *Maquinaria para jamón curado*. [fotografia]. [Consulta: 12 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.roser-group.com/es/roser/productos/maquinaria-para-jamon-curado/marcadora-de-jamones-desangradora-masajeadora/desangradora-masajeadora.html> >
2. Mainali. *Bombo al vacío BM-500*. [fotografia]. [Consulta: 12 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.mainali.com/maquinaria/bombos/bombo-al-vacio-bm-500/> >
3. El Gran Jamón. *Proceso de elaboración de jamón Ibérico*. [fotografia]. [Consulta: 13 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.elgranjamon.es/contenidos/proceso-de-elaboracion-del-jamon-iberico/> >
4. Servicios La Verdad. *Agroregión*. [fotografia]. [Consulta: 13 gener 2017]. Disponible a: < <http://servicios.laverdad.es/agroregion/pg081008/suscr/nec13.htm> >
5. Roser-Group. *Lavadora jamones*. [fotografia]. [Consulta: 13 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.roser-group.com/es/roser/productos/maquinaria-para-jamon-curado/marcadora-de-jamones-desangradora-masajeadora/desangradora-masajeadora.html> >
6. Directindustry. *Sala secado para la industria alimentaria*. [fotografia]. [Consulta: 13 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.directindustry.es/prod/kide-scoop/product-175557-1781651.html> >

7. Directindustry. *Sala secado para la industria alimentaria*. [fotografia]. [Consulta: 13 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.directindustry.es/prod/kide-scoop/product-175557-1781651.html> >
8. Productos Valja. *Secadero*. [fotografia]. [Consulta: 13 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.jamonvalja.com/galeria/Photos/show/secadero-122> >
9. Bernad. *Secadero de quesos*. [fotografia]. [Consulta: 15 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.josebernad.com/categorias/secaderos-industriales/secadero-de-quesos/> >
10. Slowmeat. *Proceso de elaboración de jamón ibérico*. [fotografia]. [Consulta: 15 gener 2017]. Disponible a: < <http://www.slowmeat.de/pequ-shop/link/download/proceso-de-elaboracion-jamon-iberico.pdf> >
13. Ingenieros industriales. *Tecnología frigorífica*. [fotografia]. [Consulta: 18 febrer 2017]. Disponible a: < www.personales.unican.es/renedoc/.../003%20Elem%20Maq%20Frig.pdf >
14. Cerveceros caseros. *Sistemas de enfriamiento directos e indirectes*. [fotografia]. [Consulta: 20 febrer 2017]. Disponible a: < http://www.cerveceroscaseros.com.ar/interior/todoslos-titulos.php?aj_go=more&id=1144383255&start_from=& >
16. Ingenieros industriales. *Tecnología frigorífica*. [fotografia]. [Consulta: 18 febrer 2017]. Disponible a: < www.personales.unican.es/renedoc/.../003%20Elem%20Maq%20Frig.pdf >
17. Ingenieros industriales. *Tecnología frigorífica*. [fotografia]. [Consulta: 18 febrer 2017]. Disponible a: < www.personales.unican.es/renedoc/.../003%20Elem%20Maq%20Frig.pdf >
18. Ingenieros industriales. *Tecnología frigorífica*. [fotografia]. [Consulta: 18 febrer 2017]. Disponible a: < www.personales.unican.es/renedoc/.../003%20Elem%20Maq%20Frig.pdf >
19. Ingenieros industriales. *Tecnología frigorífica*. [fotografia]. [Consulta: 18 febrer 2017]. Disponible a: < www.personales.unican.es/renedoc/.../003%20Elem%20Maq%20Frig.pdf >
20. Ingenieros industriales. *Tecnología frigorífica*. [fotografia]. [Consulta: 18 febrer 2017]. Disponible a: < www.personales.unican.es/renedoc/.../003%20Elem%20Maq%20Frig.pdf >
21. Widley Used Performer Scroll. *Scroll Compresor*. [fotografia]. [Consulta: 23 febrer 2017]. Disponible a: < https://www.alibaba.com/cache/widely-used-performer-scroll-compressor-for_60264270114.html >
22. Ingenieros industriales. *Tecnología frigorífica*. [fotografia]. [Consulta: 18 febrer 2017]. Disponible a: < www.personales.unican.es/renedoc/.../003%20Elem%20Maq%20Frig.pdf >
24. IESVP. *Clasificación evaporadores*. [fotografia]. [Consulta: 28 febrer 2017]. Disponible a: < http://iesvp.educa.aragon.es/tutores/jcsantolaria_27/file/Teoria/Ficha-Evaporadores.pdf >
25. IESVP. *Clasificación evaporadores*. [fotografia]. [Consulta: 28 febrer 2017]. Disponible a: < http://iesvp.educa.aragon.es/tutores/jcsantolaria_27/file/Teoria/Ficha-Evaporadores.pdf >
26. IESVP. *Clasificación evaporadores*. [fotografia]. [Consulta: 28 febrer 2017]. Disponible a: < http://iesvp.educa.aragon.es/tutores/jcsantolaria_27/file/Teoria/Ficha-Evaporadores.pdf >
27. IESVP. *Clasificación evaporadores*. [fotografia]. [Consulta: 28 febrer 2017]. Disponible a: < http://iesvp.educa.aragon.es/tutores/jcsantolaria_27/file/Teoria/Ficha-Evaporadores.pdf >

28. Aliba. *Fan coil precio unitario*. [fotografia]. [Consulta: 10 març 2017]. Disponible a: < <https://spanish.alibaba.com/g/fan-coil-unit-price.html> >
29. IESVP. *Clasificación evaporadores*. [fotografia]. [Consulta: 10 març 2017]. Disponible a: < http://iesvp.educa.aragon.es/tutores/jcsantolaria_27/file/Teoria/Ficha-Evaporadores.pdf >
30. IESVP. *Clasificación evaporadores*. [fotografia]. [Consulta: 10 març 2017]. Disponible a: < http://iesvp.educa.aragon.es/tutores/jcsantolaria_27/file/Teoria/Ficha-Evaporadores.pdf >
31. E-recambios. Resistências de desescarche. [fotografia]. [Consulta: 12 març 2017]. Disponible a: < <https://e-recambios.com/es/99-resistencias-de-descarche> >
32. IESVP. *Clasificación evaporadores*. [fotografia]. [Consulta: 10 març 2017]. Disponible a: < http://iesvp.educa.aragon.es/tutores/jcsantolaria_27/file/Teoria/Ficha-Evaporadores.pdf >
33. IESVP. *Clasificación evaporadores*. [fotografia]. [Consulta: 10 març 2017]. Disponible a: < http://iesvp.educa.aragon.es/tutores/jcsantolaria_27/file/Teoria/Ficha-Evaporadores.pdf >
34. Intarcon. *Catálogo industrial 2012*. [fotografia]. [Consulta: 16 abril 2017]. Disponible a: < www.intarcon.es/pdfs/ES/Catalogo_Gama_industrial_INTARCON_2012.pdf >
35. Grupo disco. *Copeland*. [fotografia]. [Consulta: 16 abril 2017]. Disponible a: < www.grupodisco.com/wp-content/uploads/FileManager/docs/.../2-Copeland.pdf >
36. Intarcon. *Catálogo industrial 2012*. [fotografia]. [Consulta: 16 abril 2017]. Disponible a: < www.intarcon.es/pdfs/ES/Catalogo_Gama_industrial_INTARCON_2012.pdf >
37. Xylem Water Solutions. *Catálogo tarifas 2016*. [fotografia]. [consulta 15 maig 2017]. Disponible a: < http://www.xylemwatersolutions.com/scs/spain/es-es/Products/Bombas/bombas%20para%20agua%20limpia%20y%20calefaccion/Documents/Catalogo_tarifa_2016_%20low.pdf >
38. KIDE. *Catálogo 2016*. [fotografia]. [consulta 19 maig 2017]. Disponible a: < http://www.kide.com/gestor/recursos/uploads/documentacion/catalogos/EQUIPOS-SECADO_MADURACION_2017.pdf >
39. KIDE. *Catálogo 2016*. [fotografia]. [consulta 19 maig 2017]. Disponible a: < http://www.kide.com/gestor/recursos/uploads/documentacion/catalogos/EQUIPOS-SECADO_MADURACION_2017.pdf >
40. KIDE. *Catálogo 2016*. [fotografia]. [consulta 19 maig 2017]. Disponible a: < http://www.kide.com/gestor/recursos/uploads/documentacion/catalogos/EQUIPOS-SECADO_MADURACION_2017.pdf >
41. KIDE. *Catálogo 2016*. [fotografia]. [consulta 19 maig 2017]. Disponible a: < http://www.kide.com/gestor/recursos/uploads/documentacion/catalogos/EQUIPOS-SECADO_MADURACION_2017.pdf >
42. KIDE. *Catálogo 2016*. [fotografia]. [consulta 19 maig 2017]. Disponible a: < http://www.kide.com/gestor/recursos/uploads/documentacion/catalogos/EQUIPOS-SECADO_MADURACION_2017.pdf >

43. KIDE. *Catálogo 2016*. [fotografia]. [consulta 19 maig 2017]. Disponible a: < http://www.kide.com/gestor/recursos/uploads/documentacion/catalogos/EQUIPOS-SECADO_MADURACION_2017.pdf >

44. Stefani. *Eagle fan*. [fotografia]. [Consulta: 22 maig 2017]. Disponible a: < www.stefani-online.it/wp.../03/catalogo_dry_coolers_hires.pdf >

45-82. Autodesk Student Edition. *Autodesk Inventor Professional 2016*. [programa]. [Consulta: 15 gener 2017/ 20 maig 2017]. Disponible a: < <https://www.autodesk.com/education/free-software/all> >

45-84. Autodesk Student Edition. *Autodesk CFD Motion 2016*. [programa]. [Consulta: 15 gener 2017/ 20 maig 2017]. Disponible a: < <https://www.autodesk.com/education/free-software/all> >

6.4. LLISTAT BIBLIOGRÀFIC TAULES

Tabla 1: Taula de classificació de les diferents àrees respecte les sales de la nau.	17
Taula 2: Utiltatge essencial pel correcte programa productiu.	20
Taula 3: Taula de les corresponents dimensions de les sales.	38
Taula 4: Taula de les corresponents masses de producte.	40
Taula 5: Taula valors càrrega tèrmica perduda per la transmissió calor parets, sostre i terra. 43	
Taula 6: Taula valors de la càrrega tèrmica de servei.	44
Taula 7: Taula valors de la càrrega tèrmica per refredar el gènere.	46
Taula 8: Taula valors de la càrrega tèrmica que impliquen els ventiladors.	46
Taula 9: Taula càrregues tèrmiques totals de cada sala 47	
Taula 10: Taula resum de les potències necessàries per cada sala o zona de la nau 48	
Tabla 11: Propietats del model 1500DG 53	
Tabla 12: Propietats del model 200CMF 53	