



**EPS**

Escola Politècnica

**UdG** Superior

## Projecte/Treball Fi de Carrera

**Estudi:** Enginyeria Industrial. Pla 2002

**Títol:** Estudi d'un assecador industrial: simulació i optimització de l'assecatge de xoriç mitjançant programari informàtic CFD

**Document:** Memòria i Annexos

**Alumne:** Daniel Duran Sidera

**Director/Tutor:** Lino Montoro Moreno i Albert Massaguer Colomer

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Màquines i Motors Tèrmics

**Convocatòria:** setembre 2014

**MEMÒRIA**

## Índex

1.	INTRODUCCIÓ .....	1
1.1	Antecedents .....	1
1.2	Objectiu.....	1
1.3	Abast.....	2
2.	ASSECADOR INDUSTRIAL .....	3
2.1	Funcionament .....	3
2.2	Transferència tèrmica .....	4
2.2.1	Transferència per conducció .....	4
2.2.2	Transferència per convecció .....	5
2.2.3	Transferència per radiació.....	5
2.3	Psicrometria .....	6
2.3.1	Calor sensible .....	7
2.3.2	Calor latent .....	8
2.3.3	Refredament per deshumectació .....	9
2.4	Càrregues tèrmiques.....	10
2.4.1	Càrregues tèrmiques sensibles .....	10
2.4.2	Càrregues tèrmiques latents .....	14
3.	SIMULACIÓ.....	15
3.1	Etapas en una simulació CFD.....	15
3.1.1	Generació del model.....	16
3.1.2	Mallat del domini .....	16
3.1.3	Resolució de les equacions.....	17
3.1.4	Anàlisi dels resultats .....	18
3.2	Programari .....	18
3.2.1	GAMBIT .....	18
3.2.2	ANSYS CFX .....	18
3.3	Identificació de les parts més importants del disseny .....	19
3.4	Geometria .....	19

3.4.1	Geometria de l'assecador .....	19
3.4.2	Geometria de l'aparell .....	20
3.5	Limitacions .....	20
3.6	Condicions de les simulacions .....	21
4.	ANÀLISI DELS RESULTATS.....	22
5.	RESUM DEL PRESSUPOST .....	24
6.	CONCLUSIONS .....	25
7.	LLISTAT DE DOCUMENTS DEL PROJECTE .....	26
8.	BIBLIOGRAFIA.....	27
	ANNEX A. XORIÇ .....	30
	ANNEX B. INSTRUMENTACIÓ ASSECADOR.....	31
	ANNEX C. SIMULACIONS PAS A PAS.....	52
	ANNEX D. RESULTATS.....	56
	ANNEX E. DIAGRAMES TÈCNICS.....	81
	ANNEX F. PRESSUPOST.....	84

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1 Antecedents

Una empresa familiar d'embotits ecològics especialitzada en l'elaboració de xoriç, vol ampliar la seva producció degut al seu èxit, per tal de poder servir a tots els clients. Té com a part clau el procés d'estufatge i l'assecament. Aquests processos, que tenen lloc als assecadors, consisteixen en fer re-circular aire a unes temperatures determinades durant uns certs temps, refredant aquest aire quan surt de la sala per extreure'n part del vapor d'aigua que conté, i tornant-lo a escalfar per poder absorbir més aigua al tornar entrar a la sala.

Inicialment pot semblar un procés molt senzill, però a mesura que s'entén l'elaboració del producte es comprova que és un procés molt complex de controlar únicament a través d'una instrumentació fixa, ja que hi intervenen moltíssimes variables, com per exemple la qualitat de la carn inicial, si és més o menys magre. Per aquest motiu, en la majoria d'empreses d'elaboració d'embotit, hi ha un treballador únicament encarregat de controlar els assecadors. La funció més important d'aquesta persona és treure el producte de l'assecador quan aquest estigui en el seu punt òptim de curació.

Aquest lloc existeix perquè no se sap l'estat de tots els productes de la sala controlant-ne qualsevol a l'atzar, sinó que s'ha de comprovar més d'un producte de diferent distribució dins l'assecador ja que no hi ha homogeneïtat.

## 1.2 Objectiu

Realitzar un estudi per aconseguir una homogeneïtat del producte dins l'assecador i entendre'n el funcionament, optimitzant els processos claus esmentats.

### 1.3 Abast

L'abast d'aquest projecte consisteix en la descripció del funcionament dels assecadors, i la realització de simulacions de flux d'aire i temperatura per tal de poder optimitzar un assecador concret. Dins aquest assecador es faran modificacions com pot ser l'alçada lliure que queda entre la filera més elevada de xoriç i el sostre o el radi inferior que tenen aquests aparells per tal d'obtenir una geometria òptima d'una sala d'assecatge.

L'optimització d'un assecador concret podria arribar en aconseguir una homogeneïtzació important per tal que la persona encarregada de l'assecador, al veure un sol xoriç, podés decidir si tots els productes de la sala ja estan ben assecats, o pel contrari, encara els falta cert temps de procés.

## 2. ASSECADOR INDUSTRIAL

Un assecador industrial és una cambra aïllada tèrmicament on gràcies a corrents d'aire i al tractament d'aquest s'aconsegueix eliminar la humitat dels productes que conté.

En l'actualitat hi ha moltes aplicacions, des de la indústria alimentària fins al sector forestal, per eliminar la humitat del producte.

Anteriorment, en la indústria alimentària, per aconseguir assecar els productes s'usaven sales, generalment en els pisos superiors, on obrint i tancant les finestres es creaven corrents d'aire naturals per obtenir el producte desitjat.

Per motius higiènics es va prohibir airejar els productes alimentaris amb aire no tractat, ja que aquest podia arrastrar partícules que podien malmetre el producte final.

Aquest va ser el fet que va impulsar la creació dels assecadors que es coneixen avui en dia, assecadors amb programes regulats que faciliten molt aquesta part del procés, millorant la productivitat ja que les condicions de treball són independents de les atmosfèriques.

Tot i així, encara en l'actualitat, les grans empreses alimentaries tenen persones amb molta experiència que revisen els assecadors un a un. Aquests experts saben si és necessària una petita modificació al programa al veure i tocar el producte, cosa que moltes vegades és necessària.

### 2.1 Funcionament

La part principal del funcionament és la deshumidificació de l'aire degut al propi corrent d'aquest i el pas per unes bateries de fred i calor.

L'aire sortint per la part superior de la sala passa a través d'un armari. Aquest armari conté una bateria de fred i una bateria de calor.

La bateria de fred és l'evaporador d'un circuit de fred. És la primera bateria que afronta l'aire, que es refreda aconseguint que el vapor d'aigua es condensi. L'aigua condensada és extreta aconseguint un aire més sec que serà reintroduït a la sala. Abans de ser injectat, aquest aire passa per una bateria de calor, que pot ser una bateria independent a la de fred o bé el condensador d'aquest circuit. Així

s'aconsegueix recuperar temperatura i l'aire torna a la sala en les condicions de temperatura i humitat desitjades.

L'aire retornat a la sala entre per uns conductes laterals. A la sortida de la bateria de calor, on es fa la bifurcació entre el lateral d'un costat i el de l'altre, hi ha instal·lat un pistó pneumàtic regulat. Aquest pistó té la funció d'obrir i tancar una petita comporta que regula el pas de l'aire cap a un lateral i cap a l'altre. Així s'aconsegueix que per un lateral surti des d'un 0% fins a un 100% de l'aire, complementat amb l'altre lateral, per tal de poder assecar tota la sala més homogèniament. Si no es disposés d'aquest element sempre es trobaria el xoriç del mig de la sala molt més sec que el dels laterals.

Es troba més informació de tota la instrumentació de l'assecador en l'annex B- Instrumentació Assecador.

## **2.2 Transferència tèrmica**

La transferència tèrmica és el pas d'energia tèrmica des d'un cos de major temperatura a un altre de menor temperatura.

Quan un cos està a una temperatura diferent de la del seu entorn, la transferència d'energia tèrmica, també coneguda com a transferència de calor, es produeix de tal manera que el cos i l'entorn assoleixen l'equilibri tèrmic. La transferència de calor es produeix des d'un cos més calent a un de més fred, com a resultat de la segona llei de la termodinàmica.

Quan existeix una diferència de temperatura entre dos objectes en proximitat un de l'altre, la transferència de calor no es pot aturar; només pot fer-se més lenta.

La transferència de calor es pot classificar en tres processos: conducció, convecció i radiació.

### **2.2.1 Transferència per conducció**

La transferència per conducció és l'únic mecanisme de transmissió de calor possible per sòlids.



Quan en dos substàncies sòlides hi ha un gradient de temperatura, el calor es transmet del cos de temperatura superior al d'inferior, degut al contacte directe entre molècules.

La llei de Fourier determina el flux de calor transferit, tal com està representat en l'equació 1.

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

On  $\dot{Q}$  és el calor transferit per unitat de temps en Watts,  $k$  és la conductivitat tèrmica en Watts dividit per metre i grau Kelvin,  $A$  és l'àrea en metres quadrats,  $\Delta T$  és el gradient de temperatura i  $\Delta x$  és la variació del gruix de material a la direcció del flux en metres.

### 2.2.2 Transferència per convecció

La transferència per convecció es caracteritza perquè es produeix per mitjà d'un fluid, líquid o gas, que transporta el calor entre zones de diferents temperatures.

La transmissió de calor per convecció pot ser forçada, si es provoca el moviment del fluid, o natural si el fluid circula degut a les diferències de densitats que resulten del gradient de temperatures.

La transferència de calor per convecció s'expressa amb la Llei de Refredament de Newton, representada en l'equació 2.

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

On  $\dot{Q}$  és el calor transferit per unitat de temps en Watts,  $h$  és el coeficient de convecció en Watts dividit per metre quadrat i grau Kelvin,  $A$  és l'àrea en metres quadrats i  $\Delta T$  és el gradient de temperatura entre la temperatura superficial i la temperatura del fluid lliure.

### 2.2.3 Transferència per radiació

La radiació tèrmica és l'energia emesa per un cos a raó de la seva temperatura. Tots els cossos amb temperatura superior a 0K emeten radiació electromagnètica, la intensitat de la qual depèn de la temperatura i la longitud d'ona.

La radiació rellevant és la compresa en el rang de longituds d'ona de  $0.1\mu\text{m}$  a  $100\mu\text{m}$ , incloent per tant part de la regió ultraviolada, la visible i la infraroja de l'espectre electromagnètic.

Reordenant la Llei de Stefan-Boltzmann trobem la transferència de calor per radiació entre dos cossos, representada en l'equació 3.

$$q = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

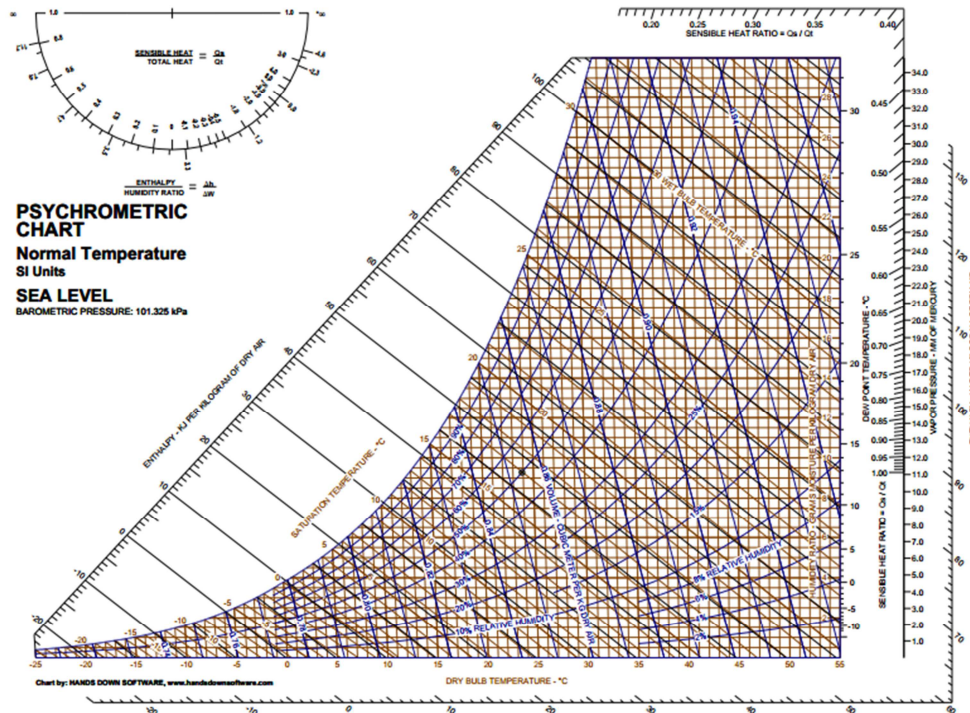
On  $q$  és la transferència de calor per radiació en Watts,  $A$  és l'àrea del cos radiant en metres quadrats,  $\varepsilon$  és l'emissivitat del cos radiant,  $\sigma$  és la constant de Stefan-Boltzmann que val  $5.67 \cdot 10^{-8}$  Watts dividit per metre quadrat i grau Kelvin elevat a quatre,  $T_1$  és la temperatura del cos radiant i  $T_2$  és la temperatura del cos receptor, els dos en graus Kelvin.

### 2.3 Psicrometria

La psicrometria és una branca de la ciència que tracta les propietats termodinàmiques de l'aire humit i l'efecte de la humitat atmosfèrica sobre els processos físics i químics. També estudia els mètodes per controlar les propietats termodinàmiques de l'aire humit en diferents aplicacions.

Aquest aire, conegut com a aire humit, està constituït per una barreja d'aire sec i vapor d'aigua. L'aire té la capacitat de retenir una quantitat variable de vapor d'aigua en relació a la seva temperatura. A menor temperatura, menor quantitat de vapor i viceversa, sempre i quan s'estigui a pressió constant.

Per analitzar totes les variables que intervenen, s'utilitza el diagrama psicromètric. Sabent dos dades d'un punt, es poden saber totes les seves altres propietats termodinàmiques.



*Figura 1. Diagrama psicromètric*

Per tant, quan es parla del psicromètric, es parla de l'estat de l'aire que hi ha dins l'assecador i dels processos que aquest experimenta.

Els processos bàsics que tenen lloc són els de calor latent i calor sensible. En un procés real es solen combinar aquests dos processos per aconseguir les transformacions òptimes en cada situació.

### 2.3.1 Calor sensible

El calor sensible és el calor que s'aporta o extrau d'un sistema a partir d'una variació de temperatura seca.

El calor sensible és aquell que rep un fluid i fa augmentar la seva temperatura sense afectar l'estructura molecular i, per tant, el seu estat. En general, s'observa experimentalment que la quantitat de calor necessari per escalfar o refredar un fluid és directament proporcional a la massa del fluid i a la diferència de temperatura entre aquest i l'entorn.

En el cas del refredament d'un fluid, la temperatura final no pot ser inferior a la temperatura de rosada, ja que s'arribaria a un punt sobreescalfat.

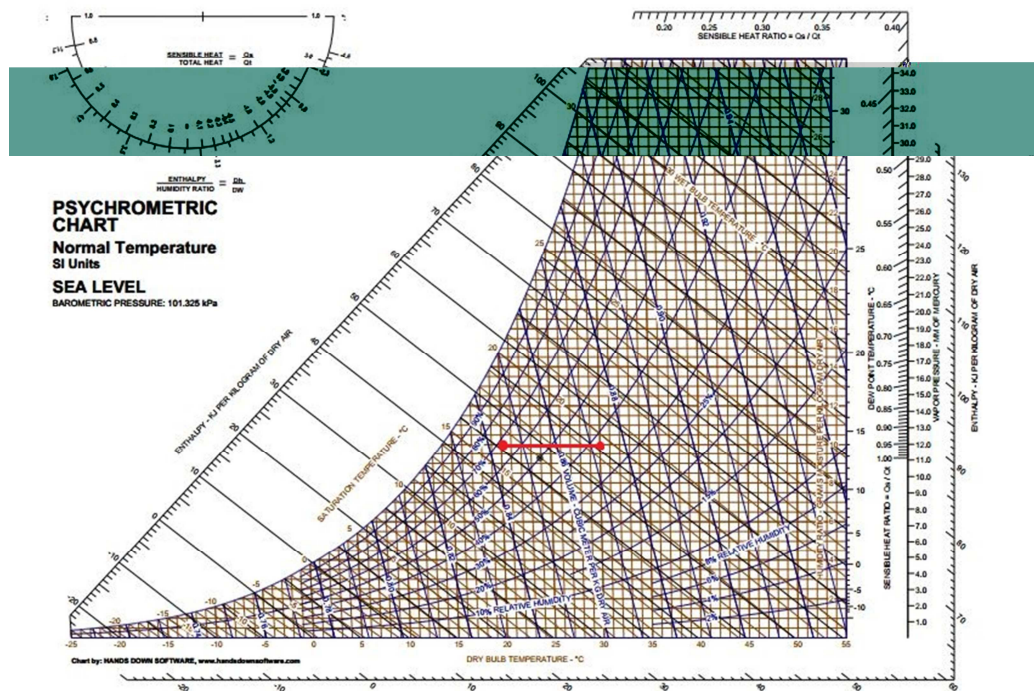


Figura 2. Representació psicromètrica del calor sensible

### 2.3.2 Calor latent

El calor latent és l'oposat del calor sensible, que s'aporta o extrau a partir de la variació de la humitat absoluta, afegint aigua en forma de vapor.

El calor latent és el calor que es subministra però no reflecteix un augment de temperatura ja que, en general, la substància a la que s'aplica augmenta la seva temperatura en menys d'un grau centígrad com a resultat d'un canvi de fase (sòlid-líquid, líquid-vapor).

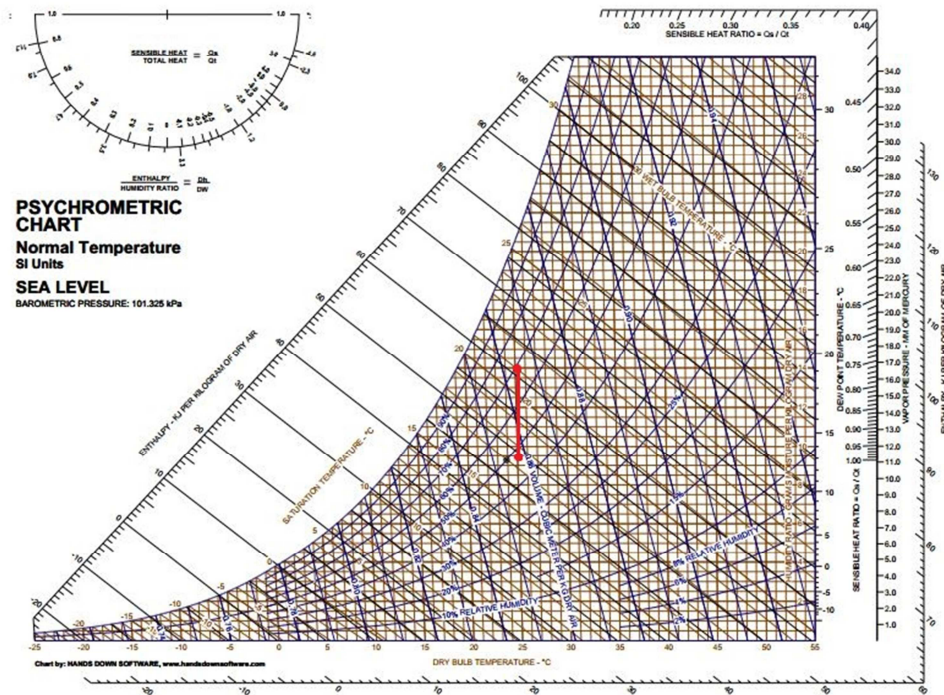


Figura 3. Representació psicromètrica del calor latent

### 2.3.3 Refredament per deshumectació

El refredament per deshumectació té la finalitat de reduir la humitat ambiental.

El corrent d'aire humit es refreda a una pressió constant fins a una temperatura inferior a la temperatura de rosada. Això provoca que el vapor present inicialment a la mescla es condensi.

L'aire que surt del deshumidificador està saturat a una temperatura inferior a l'aire d'entrada, per tant no serà l'adequat per l'ambient. Per aquest motiu, l'aire ha de passar per un condensador (zona calenta), de manera que disminueixi la seva humitat relativa i es recuperi la seva temperatura ambiental.

Aquest procés és una combinació dels dos exposats anteriorment, el calor sensible i el calor latent.

## 2.4 Càrregues tèrmiques

La càrrega tèrmica és la quantitat d'energia per unitat de temps (potència) que un recinte tancat intercanvia amb l'exterior degut a les condicions higrotèrmiques, considerant les exteriors com les més desfavorable possibles.

El càlcul d'aquestes càrregues és necessari per regular la capacitat de refrigeració dels aparells a utilitzar per tal d'aconseguir el tractament d'aire que les compensi, aconseguint que el recinte estigui en les condicions desitjades.

Aquestes càrregues es poden dividir en dos grans grups, les càrregues tèrmiques sensibles i les càrregues tèrmiques latents, tal com ja s'han dividit en les transformacions del diagrama psicromètric.

### 2.4.1 Càrregues tèrmiques sensibles

Les càrregues tèrmiques sensibles són aquelles degudes a la radiació solar, la transmissió i radiació de les parets i teulats exteriors, la transmissió per infiltracions d'aire exterior i la deguda a les aportacions internes.

Totes aquestes càrregues serien transformacions de calor sensible en el diagrama psicromètric, per tant ens aporten temperatura sense variació de la humitat absoluta.

La potència d'aquesta càrrega s'aconsegueix a partir de la suma de les diferents parts, anteriorment esmentades, que la componen.

#### 2.4.1.1 Càrrega per radiació solar

La radiació solar travessa les superfícies translúcides i transparents, i incideix sobre les superfícies interiors del local, escalfant-les, fent que augmenti la temperatura de l'interior.

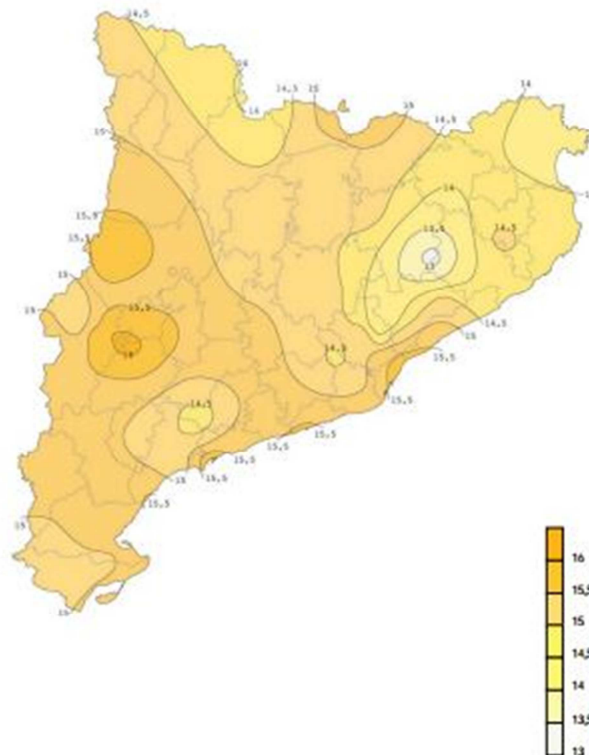
La càrrega tèrmica per radiació a través de vidres i superfícies translúcides es calcula segons l'equació 4:

$$Q_{sr} = S \cdot R \cdot F \quad (4)$$

On  $Q_{sr}$  és la càrrega tèrmica per radiació solar a través de vidres i superfícies translúcides en Watts,  $S$  és la superfície translúcida o de vidre exposada a la radiació en metres quadrats,  $R$  és la radiació solar que travessa la superfície en Watts dividit

per metre quadrat i F és el factor de correcció de la radiació en funció del tipus de vidre, efectes d'ombra que poden existir, ...

La *Figura 4. Radiació solar diària a Catalunya* permet fer-se una idea aproximada de la radiació solar que arriba a Catalunya. A diferència dels valors amb què es treballa a l'equació 4, les unitats estan en MJ/(m<sup>2</sup>·dia).



**Figura 4.** Radiació solar diària a Catalunya

#### **2.4.1.2 Càrrega per transmissió i radiació de parets i teulats exteriors**

La càrrega per transmissió i radiació que es transmet a través de les parets i taulats opacs que limiten amb l'exterior es calcula segons l'equació 5:

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i) \quad (5)$$

On  $Q_{str}$  és la càrrega per transmissió a través de parets i taulats exteriors en Watts, K és el coeficient global de transmissió tèrmica del tancament expressat en Watts dividit per metre quadrat i graus centígrads,  $T_{ec}$  és la temperatura exterior del local i  $T_i$  la temperatura interior, les dos en graus centígrads.

La temperatura exterior del local ( $T_{ec}$ ), es calcula a partir de la temperatura exterior de disseny ( $T_e$ ) i de la orientació del tancament a partir de la *taula Taula 1. Temperatura exterior de càlcul ( $T_{ec}$ ):*

Orientació	Temperatura exterior de càlcul ( $T_{ec}$ ) en °C
Nord	$0,6 \cdot T_e$
Sud	$T_e$
Est	$0,8 \cdot T_e$
Oest	$0,9 \cdot T_e$
Coberta	$T_e + 12$
Sòl	$(T_e + 15) / 2$
Parets interiors	$T_e - 0,75$

*Taula 1. Temperatura exterior de càlcul ( $T_{ec}$ )*

### 2.4.1.3 Càrrega per transmissió a través de parets, teulats, terres i portes interiors

La càrrega per transmissió a través dels tancaments interiors del local que limiten amb altres habitacions de l'edifici ( $Q_{st}$ ) es calcula aplicant l'equació 6:

$$Q_{st} = K \cdot S \cdot (T_e - T_i) \quad (6)$$

On  $Q_{st}$  és la càrrega per transmissió a través dels tancaments interiors en Watts,  $K$  és el coeficient global de transmissió tèrmica del tancament expressat en watts dividit per metre quadrat i graus centígrads,  $S$  és la superfície del tancament interior en metres quadrats,  $T_e$  és la temperatura de disseny a l'altre costat del tancament en graus centígrads i  $T_i$  és la temperatura interior de disseny del local també en graus centígrads.

El coeficient de transmissió tèrmic del tancament ( $K$ ) per a diferents materials es pot veure a la *taula Taula 2. Coeficient de transmissió tèrmic*

Material	Coeficient global de transmissió tèrmica (W/m·K)
Poliestirè expandit (EPS)	0.046
Poliestirè extruït (XPS)	0.042
Llana mineral (MW)	0.05
Espuma rígida de poliuretà (PUR)	0.028
Panell de vidre cel·lular (CG)	0.05
Panell de perlita expandida (EPB)	0.062

*Taula 2. Coeficient de transmissió tèrmic*



#### **2.4.1.4 Càrrega transmesa per infiltracions d'aire exterior**

La càrrega transmesa per infiltracions i ventilació d'aire exterior ( $Q_{si}$ ) es determina mitjançant l'equació 7:

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta T \quad (7)$$

On  $Q_{si}$  és la càrrega tèrmica per infiltració i ventilació exterior d'aire exterior en Watts,  $V$  és el cabal d'aire infiltrat i de ventilació en metres cúbics per segon,  $\rho$  és la densitat de l'aire, de valor 1.18 quilos dividit per metre cúbic,  $C_{e,aire}$  és el calor específic de l'aire, de valor 1012 Joules dividit per quilogram i graus centígrads i  $\Delta T$  és la diferència de temperatures entre l'ambient exterior i l'interior.

Es pot considerar que en un assecador hi ha un cabal d'aire infiltrat de 0.83 decímetres cúbics per segon per cada metre quadrat de la sala.

#### **2.4.1.5 Càrrega sensible per aportacions internes**

La càrrega sensible degut a les aportacions internes del local ( $Q_{sai}$ ) es determina per la suma de dos altres carregues que es generen a dins mateix, la càrrega sensible degut a la il·luminació i la càrrega sensible degut als diversos aparells existents al local.

##### **2.4.1.5.1 Càrrega sensible per il·luminació**

Per calcular la càrrega tèrmica sensible aportada per la il·luminació interior de l'establiment es considera que la potència íntegra de les làmpades d'il·luminació es transforma en calor sensible.

En cas de làmpades de tipus fluorescent o de descàrrega es multiplicarà la potència total de totes les làmpades per 1.25 per considerar el consum complementari de les reactàncies.

##### **2.4.1.5.2 Càrrega sensible per aparells elèctrics**

Per el càlcul de la càrrega tèrmica aportada per la maquinària, equips i altres electrodomèstics presents en l'espai tractat es considera que la potència íntegra de funcionament de les màquines i equips presents en aquest recinte es transformarà en calor sensible.

## 2.4.2 Càrregues tèrmiques latents

Les càrregues tèrmiques latents són degudes a la carrega latent transmesa per infiltracions d'aire exterior i les degudes a l'ocupació del local.

Totes aquestes càrregues serien transformacions de calor latent en el diagrama psicromètric, per tant ens aporten variació de temperatura humida, variant la humitat absoluta.

La potència d'aquesta càrrega s'aconsegueix a partir de la suma de les diferents parts, anteriorment esmentades, que la componen.

### 2.4.2.1 Càrrega latent transmesa per infiltracions de l'aire exterior

La càrrega latent transmesa per infiltracions i ventilació d'aire exterior ( $Q_{li}$ ) es determina mitjançant l'equació 8:

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{l,a} \cdot \Delta w \quad (8)$$

On  $Q_{li}$  és la càrrega tèrmica latent per infiltracions d'aire exterior en Watts,  $V$  és el cabal d'aire infiltrat en metres cúbics per segon,  $\rho$  és la densitat de l'aire que té un valor de 1.18 quilos dividit per metre cúbic,  $C_{l,a}$  és el calor específic de l'aigua que val  $2257 \cdot 10^3$  Joules dividit per quilogram i  $\Delta w$  és la diferència d'humitat absoluta entre l'ambient exterior i l'interior.

### 2.4.2.2 Càrrega latent per ocupació

La carrega latent per ocupació del local ( $Q_{lp}$ ) es determina multiplicant la valoració de calor latent emès pel producte i pel numero de productes previstos d'ocupar el local.

### 3. SIMULACIÓ

Per realitzar les simulacions s'utilitzarà programari CFD. El programari CFD és una branca dins la mecànica de fluids que utilitza mètodes numèrics i algorismes per analitzar problemes relacionats amb el flux de fluids.

Aquests productes ens permeten predir, amb confiança, l'impacte dels fluxos de fluids en el producte durant el disseny i la fabricació, així com durant la fase d'ús. Les incomparables capacitats d'anàlisi de flux de fluids del software es poden utilitzar per dissenyar i optimitzar nous equips i per descobrir imperfeccions en instal·lacions ja existents.

CFD permet la realització de càlculs detallats de qualsevol sistema en el qual intervinguin fluids, mitjançant la resolució de les equacions fonamentals de conservació de matèria, energia i quantitat de moviment per la geometria en particular de cada sistema considerat.

Els resultats permeten una nova perspectiva del problema que no és possible mitjançant els mètodes tradicionals. En molts problemes la dinàmica del flux involucrat és decisiva per la optimització de la tecnologia. En el nostre cas, s'observarà com afecten alguns paràmetres com l'alçada lliure i el radi inferior en la distribució.

La simulació numèrica ha substituït gradualment els mètodes experimentals usats durant molt de temps en àrees com l'enginyeria aeronàutica. Aquest creixement és gràcies a la creació i millora dels ordinadors d'alta velocitat, ja que la simulació CFD requereix de la manipulació d'una gran quantitat de dades, impossibles de realitzar sense l'ajuda d'un ordinador.

Actualment el CFD s'aplica a pràcticament qualsevol àrea de l'enginyeria tan mecànica com química, i fins i tot en tecnologia mèdica.

#### 3.1 Etapes en una simulació CFD

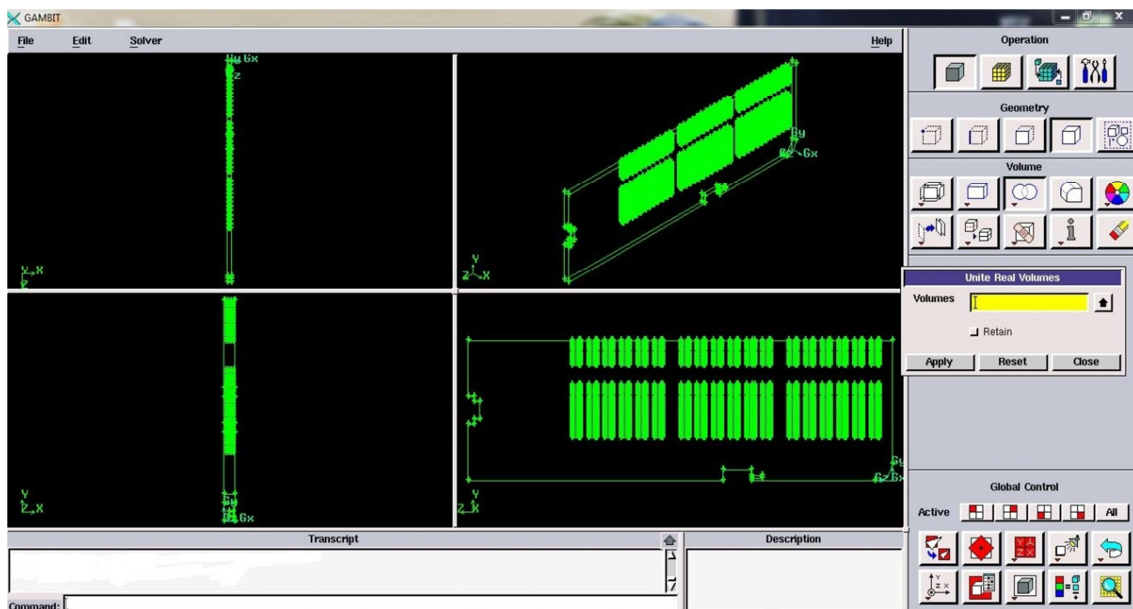
Una simulació CFD consta de 4 etapes; la generació del model 2D o 3D, el mallat del domini, la resolució de les equacions i l'anàlisi dels resultats.

### 3.1.1 Generació del model

La generació d'un model bidimensional o tridimensional CAD (Computer Aided Design) de la generació del domini del fluid és el primer pas i sol fer-se a partir dels plànols 2D.

El model ha de mantenir la geometria inicial i les característiques rellevants per capturar el flux, podent passar per alt detalls que a nivell de fabricació serien essencials però des d'un punt de vista de procés físic es consideren d'importància nul·la.

En el cas de l'assecador s'utilitzaran simetries en diferents plans, a part d'analitzar una petita secció, ja que com que és molt més llarg que no ample, es considera que tindrà una dispersió igual en tota la seva longitud. Totes les condicions en que es faran les simulacions s'expliquen a continuació.



*Figura 5. Model*

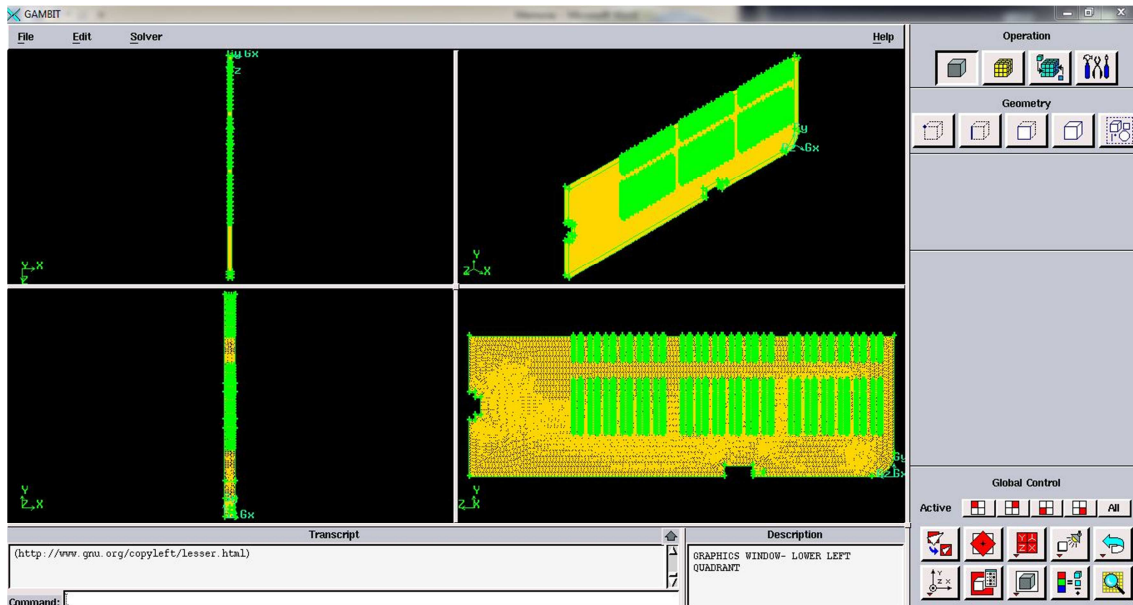
### 3.1.2 Mallat del domini

La discretització del domini del fluid en petites caselles anomenades elements o volums finits que formen una malla és la segona etapa. Segons les característiques de la geometria s'escull una forma o altre d'aquests elements per aconseguir un millor mallat.

La complexitat de la física involucrada juntament a la dimensió del domini defineixen grans característiques a la dimensió del problema i la potència de càlcul necessària. La densitat de nodes i elements pot canviar d'unes regions a altres, acumulant més elements a les zones on s'esperen fortes variacions d'alguna variable.

És important saber en quines zones s'esperen els gradients més pronunciats i determinar allà una malla més fina.

En el cas dels assecadors s'utilitzarà una concentració més elevada d'elements entre els xoriços i als sortidors d'aire.



**Figura 6.** Malla

### 3.1.3 Resolució de les equacions

Les equacions que governen la transferència de massa, quantitat de moviment, energia,... es resoldran en cada un dels elements de la malla generada al pas anterior. Com que les equacions que s'utilitzen son derivades parcials prèviament s'han de convertir en equacions algèbriques (introduint errors numèrics de discretització i truncació) utilitzant els esquemes numèrics més adequats. Així es passa de tenir un conjunt d'equacions en derivades parcials sobre un espai continu  $(x,y,z,t)$  a un sistema finit d'equacions algèbriques amb variables independents discretes  $(x_i,y_i,z_i,t_i)$ . El numero d'equacions a resoldre depèn del sistema.

Es diu verificació del model a la comprovació que les equacions estiguin correctament resoltes. Aquest procés és purament qüestió de càlcul numèric. Pel contrari, la validació del model consisteix en determinar l'eficàcia de fer servir les equacions que realment es resolen com aproximació d'un model matemàtic del procés físic.

### 3.1.4 Anàlisi dels resultats

Un cop resoltes les equacions, es disposa del valor de les variables que defineixen el problema per cada element de la malla. Si, a més, el problema no és estacionari, s'obté un conjunt de valor per cada pas en el temps.

Com és d'esperar s'obté una gran quantitat de dades, entre les qual s'ha d'extreure la informació útil.

Visualitzar el flux o altres maneres visuals és la millor forma d'entendre el procés i aconseguir més ràpidament la solució òptima.

Aquesta part és la més important, o si més no, la més interessant, ja que s'han d'interpretar els resultats obtinguts i veure si encaixen amb els esperats.

## 3.2 Programari

### 3.2.1 GAMBIT

El GAMBIT (Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit) és el programa de ANSYS Fluent per crear geometries i mallats. La interfície única del Gambit per la creació de geometries i mallats reuneix la majoria de les tecnologies de pre-processament del fluid en un sol entorn. Disposa d'eines per editar i reproduir convenientment desenvolupaments de models per estudis paramètrics. Aquest programa és una combinació del maneig del CAD amb la generació del mallat que posteriorment serà tractat en un programa de CFD.

### 3.2.2 ANSYS CFX

El programa ANSYS CFX és un programa de dinàmica de fluids d'ús general d'alt rendiment. El tret més diferencial és la tecnologia avançada del seu solucionador, la clau per aconseguir solucions fiables i precises de forma ràpida i robusta. El solucionador és la base d'una abundant selecció de models físics per capturar pràcticament qualsevol tipus de fenòmens relacionats amb el flux de fluids.

El software i els seus models físics s'emboquen en un entorn gràfic on l'usuari té unes àmplies capacitats de personalització i automatització utilitzant arxius de sessió, de seqüència i un llenguatge d'expressió de gran abast.

### 3.3 Identificació de les parts més importants del disseny

Les parts físiques que més influència tenen en un assecador industrial són el radi inferior, radi que ens ajunta la paret amb el terra de la sala, i la distància lliure entre l'última fila de xoriços i els extractors d'aire.

És fàcil de comprendre que segur que es treballa millor amb un radi inferior, ja que el bufador impulsa l'aire cap aquesta zona i com més suau sigui el canvi de direcció menys pèrdua de velocitat es produirà, podent així tenir més força per poder passar entre els xoriços.

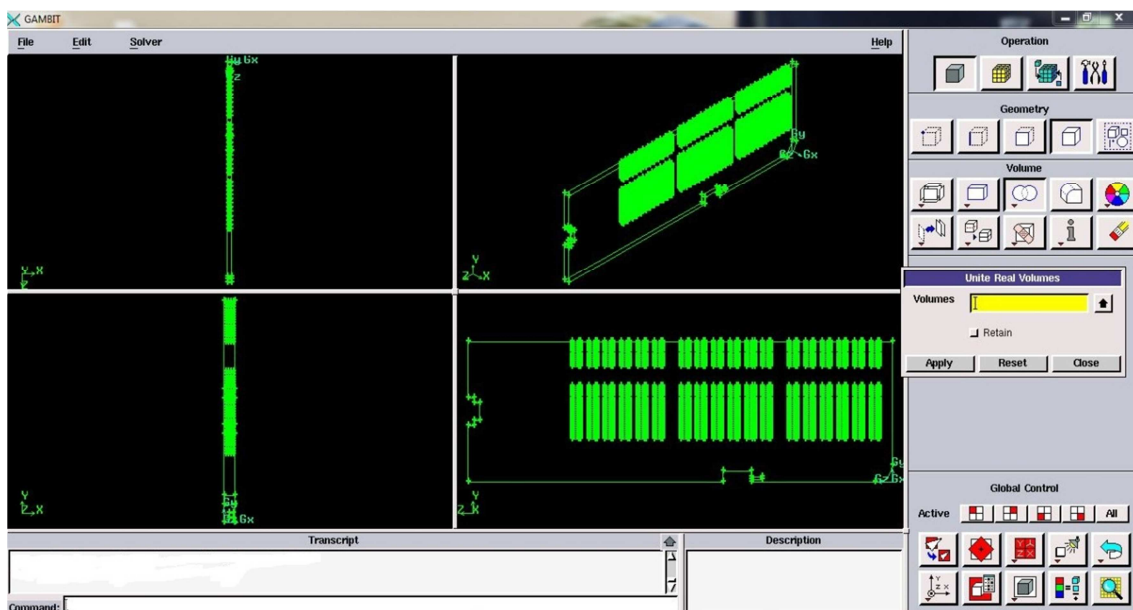
Pel que fa a la distància lliure que queda entre l'última fila i els extractors, és únicament perquè en aquesta zona hi ha un canvi de secció molt sobtat, fent que l'aire perdi velocitat i alentint el procés d'assecat.

### 3.4 Geometria

#### 3.4.1 Geometria de l'assecador

L'assecador inicial a analitzar, com es pot veure en la *figura 75* i en la *figura 76*, té unes dimensions de 11.8x5x7.5 metres, amb un radi inferior de 40 centímetres i una alçada dels sortidors laterals de 2.8 metres.

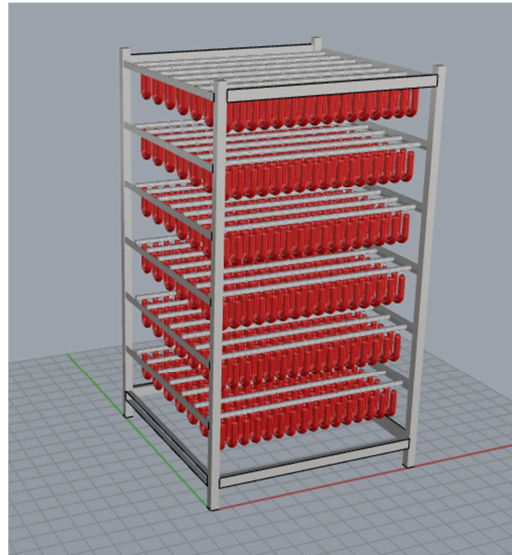
A partir d'aquest es realitzaran diferents simulacions per intentar trobar un radi inferior i una alçada total de l'assecador òptims pel procés.



**Figura 7.** Geometria de l'assecador representada al GAMBIT

### 3.4.2 Geometria de l'aparell

Partint d'un aparell tipus, com el de la *Figura 8. Aparell tipu*, de dimensions 1080x1080x1920 mil·límetres, tal com ens ha informat el peticionari, on tenim sis nivells separats en 29 centímetres. En cada nivell hi ha set barres, i en cada barra 16 xoriços.



*Figura 8. Aparell tipus*

### 3.5 Limitacions

La gran limitació per fer la simulació és la capacitat que té el Gambit, que pot arribar a tractar, com a molt, fins a 512.000 nodes i uns 2.000.000 d'elements.

Això impedeix fer un mallat més acurat per tenir més precisió dels fluxos d'aire i temperatura entre els xoriços, però gràcies a les funcions de creixement es pot passar per alt aquest problema.

Aquest mateix motiu, el de treballar amb un màxim de nodes i elements, tampoc permet treballar amb tot l'assecador com s'hagués desitjat. Tal com ja s'ha dit anteriorment, i es tornarà a comentar en les condicions en què s'ha fet la simulació, el cas analitzat és d'una petita porció de profunditat per tal de no sobrepassar les limitacions que té el programa i ja que es considera que l'assecador és molt més llarg que no ample, tindrà un comportament homogeni amb tota la profunditat. Aquest fet és possible ja que es podria discretitzar l'assecador en 90 petits volums, d'una profunditat d'uns 12.5 centímetres, la distància que es té entre els centres dels bufadors laterals.



### 3.6 Condicions de les simulacions

Per tal de poder realitzar les simulacions el més correctament possible, i sabent de les limitacions dels programes utilitzats, es faran algunes simplificacions.

La simplificació geomètrica més important, i que porta implícita altres simplificacions, és que no es pot simular tota la sala, ja que és un volum massa gran, i es necessitarien massa elements per tenir una bona malla. Per això, el volum analitzat només serà de dotze centímetres i mig de profunditat, mentre que originalment l'assecador era de casi dotze metres.

Però per culpa d'aquesta simplificació, és molt complicat canviar la sortida superior, que realment són obertures rectangulars de cinquanta centímetres de profunditat, mentre que a la simulació serà com si fos completament obert de dalt a baix.

També per el tema d'elements i nodes limitats pels programes, els sortidors laterals i els xoriços, que serien de formes circulars, es faran quadràtics per utilitzar-ne menys.

Les altres simplificacions que es faran seran del funcionament de l'assecador. En comptes de simular l'escombrat com és realment, que canvia el cabal d'aire que surt pels laterals de manera continua, es faran diverses simulacions amb diferents valors pel cabal. Cada una d'aquestes simulacions permetrà saber el comportament de l'aire des del seu inici fins a l'estat estacionari. Els valors del cabal d'aire introduït variaran des del 10% fins al 90% del cabal total, sortint per l'altre costat el cabal complementari. En les simulacions es mirarà com evolucionen les diferents configuracions dels bufadors, i s'obindrà una idea del moviment de l'aire.

## 4. ANÀLISI DELS RESULTATS

Observant els resultats obtinguts, Annex D. Resultats, es compararan els diferents comportaments de l'assecador per les configuracions simulades.

Primerament, s'analitza el comportament de l'assecador pels diferents percentatges d'aire que surten pels bufadors laterals. Tal com es pot veure en les figures on surt el mateix percentatge per cada lateral, l'aire injectat baixa fins la part inferior i es desplaça horitzontalment fins a trobar-se al centre amb l'aire de l'altre lateral. Allà xoquen i surt un flux d'aire vertical. Aquest ja circula cap als extractors per tal d'escapar-se de la sala, però mentre fa el desplaçament vertical, passa pel mig dels xoriços absorbint humitat i donant-los temperatura, fet que els asseca.

Si el percentatge d'aire que surt pels bufadors no és el mateix aquest xoc es desplaça cap al costat on s'expulsa menys aire. De tal manera, la columna de flux d'aire que circula cap als sortidors es desplaça pel mig d'altres columnes de xoriç.

S'observa també, que si es troba una diferència massa elevada entre l'aire que injecten els dos bufadors, aquest xoc té lloc al lateral de la sala i no s'aprofita el flux principal per assecar.

Pel que fa al comportament tèrmic es pot observar que és molt semblant al flux d'aire, fet lògic ja que és aquest flux el que aporta la temperatura, s'arriba a les mateixes conclusions.

Pel que fa a les diferents alçades que pot tenir l'assecador, es veu que una major alçada lliure de l'assecador comporta una menor velocitat del flux d'aire en aquesta zona. Això s'explica per l'efecte Venturi, pel qual el producte àrea per velocitat s'ha de mantenir constant al llarg del recorregut. Així, mentre l'aire està a la zona dels xoriços, aquests ocupen un volum que redueix l'àrea de pas de l'aire. A l'arribar a la part superior l'àrea augmenta considerablement i, en conseqüència, la velocitat disminueix. Igualment, una major distància dona més llibertat al flux, que es dispersa deixant un moviment menor.

Pel que fa tèrmicament, s'observa que com més distància hi ha entre l'última filera de xoriç i els extractors, amb més facilitat queden bosses d'aire calent a la part lliure superior. Aquest fet pot ser degut a la diferència de densitats de l'aire per culpa de la transferència de calor incompleta amb el xoriç.

Per últim, observant el radi inferior, es pot veure que un augment del radi es tradueix en un augment de la diferència de cabals d'entrada útils a l'hora de realitzar l'escombrat. Aquest fet s'observa en la *Figura 66. Representació de flux d'aire 30%-70%*, on es pot veure que el flux d'aire principal no s'escapa pel lateral, com és el cas de les altres geometries amb la mateixa configuració de velocitat.

Observant els resultats tèrmics es pot deduir que un increment del radi proporciona una millor homogeneïtat a la sala. A més, es reafirma el fenomen explicat en el paràgraf anterior, observant que amb una diferència considerable de velocitats de sortida l'assecador continua essent capaç d'assecar tota la part inferior de xoriç.

## **5. RESUM DEL PRESSUPOST**

La realització d'aquest projecte al complert té un cost de set mil dos-cents noranta-un euros amb quaranta-sis cèntims, 7291,46€.

## 6. CONCLUSIONS

Un cop agrupats els resultats de totes les simulacions, es poden treure tres grans conclusions, dos geomètriques i una de funcionament.

Pel que fa a la conclusió de funcionament, es pot assegurar que fer un escombrat que vagi des del 30% al 70% amb el seu complementari és més eficient que arribar a fer des del 10% al 90%. D'aquesta manera, es podria aconseguir un procés d'assecatge més curt, on s'estalviaria temps i energia.

Geomètricament, es pot arribar a la conclusió que interessa una alçada lliure el més petita possible per minimitzar la creació de bosses d'aire calent a la part superior.

També interessa tenir un radi inferior el més gran possible, ja que aquest ens permet un major rang de velocitat d'entrada del flux per fer l'escombrat. Com que és més fàcil una instal·lació regulada del 0% al 100%, aquest radi més gran proporciona una millor eficiència.

Firmat a 17 d'agost de 2014 per l'autor:

Daniel Duran Sidera

## 7. LLISTAT DE DOCUMENTS DEL PROJECTE

El present projecte consta dels següents documents:

### DOCUMENT NÚM. 1 MEMÒRIA I ANNEXOS

#### Memòria

1. Introducció
2. Assecador industrial
3. Simulació
4. Anàlisi dels resultats
5. Resum del pressupost
6. Conclusions
7. Llistat de documents
8. Bibliografia

#### Annexos

- Annex A. Xoriç
- Annex B. Instrumentació assecador
- Annex C. Simulacions pas a pas
- Annex D. Resultats
- Annex E. Diagrames tècnics
- Annex F. Pressupost

### DOCUMENT NUM. 2 CD

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Murcia (1993). *Nuevo Curso e Ingeniería del Frio*. (2a ed.) Madrid: IRAGRA,S.A.
- Dossat, Roy J. (2001). *Principios de Refrigeración*. (2a ed.) Mexico: CECSA.
  
- Gas Natural Fenosa. (2014). *Secaderos Industriales*. Recuperat 17 d'agost de 2014, des de <http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/secaderos-industriales#ancla>
- Ingemecanica. (2014). *Guía para el Cálculo de las Cargas Térmicas en los Edificios*. Recuperat 17 d'agost de 2014, des de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>
- Widman. (2014). *Compresores - Su Funcionamiento y Mantenimiento*. Recuperat 17 d'agost de 2014, de de [http://widman.biz/boletines\\_informativos/56.pdf](http://widman.biz/boletines_informativos/56.pdf)

# ANNEXS



## ANNEX A. XORIÇ

El xoriç és un producte càrnic típic espanyol. Pot considerar-se que no existeixen altres països productors d'embotits on coincideixin com ingredients principals el pebre i l'all, base de la seva elaboració.

El procés tradicional de fabricació del xoriç inclou les següents fases:

- Picat de la carn i cansalada
- Mescla amb la resta d'ingredients
- Repòs de la mescla en un lloc fresc
- Introducció de la mescla en budell
- Assecatge en ambient natural

Durant el temps de maduració, dins l'assecatge, hi ha uns processos de dessecació i adquisició de fermes en la textura alhora que es desenvolupa l'aroma, fruit de la suma de les seves aromes naturals i els resultants de l'activitat microbiana sobre els components de la massa de l'embotit.

### Elaboració

S'analitzarà l'elaboració del xoriç sarta o de ferradura, el qual el nostre client ens ha comunicat que assecarà en l'assecador a estudiar. Un procés de fabricació industrial constaria de les següents fases:

- Preparació: picat de les matèries primeres a un rang de cinc a vuit mil·límetres. Mescla i amassat amb la resta de components, deixant en repòs i maceració 24 hores. Embotit en tripa de quaranta a cinquanta mil·límetres de calibre. S'emboteixen 360 grams perquè un cop assecat, per culpa de les pèrdues que es tenen, quedin 225 grams, el pes al qual es ven.
- Curació: estufatge de dos a tres dies a uns 25°C i humitat lliure, procés que li dona consistència al producte i redueix el pH. Seguidament es passa a un procés de curació o assecatge d'uns quinze dies, dins aquest procés es va abaixant progressivament la humitat de la sala, des d'un vuitanta per cent inicial fins a un seixanta final.

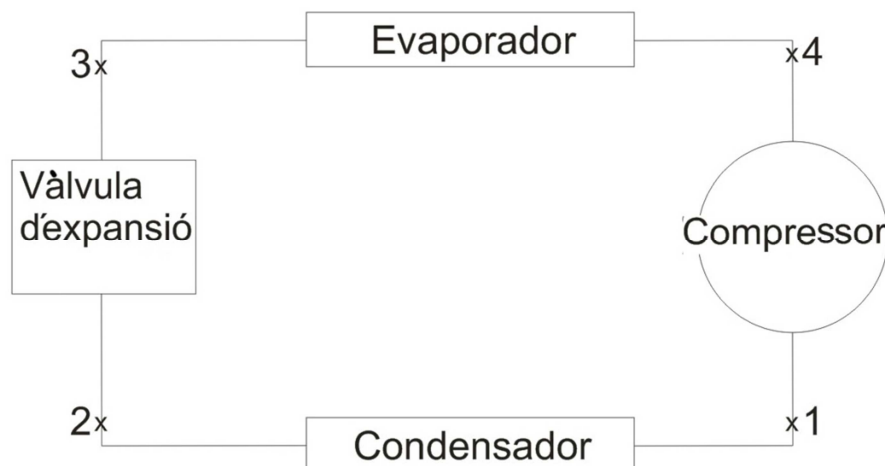
## ANNEX B. INSTRUMENTACIÓ ASSECADOR

### B.1 BATERIA DE FRED

S'entenen com a bateria de fred l'evaporador d'un circuit de fred que absorbeix calor de dins l'assecador. Aquest evaporador, generalment, es troba dins un armari metàl·lic, on també es troba una bateria de calor i una turbina.

#### B.1.1 Cicle de fred

El cicle de refrigeració o de fred es basa en que amb la variació de pressions es puguin obtenir diferents temperatures del fluid, i que aquest adquireixi diferents temperatures d'ebullició.



*Figura 9. Esquema cicle de fred*

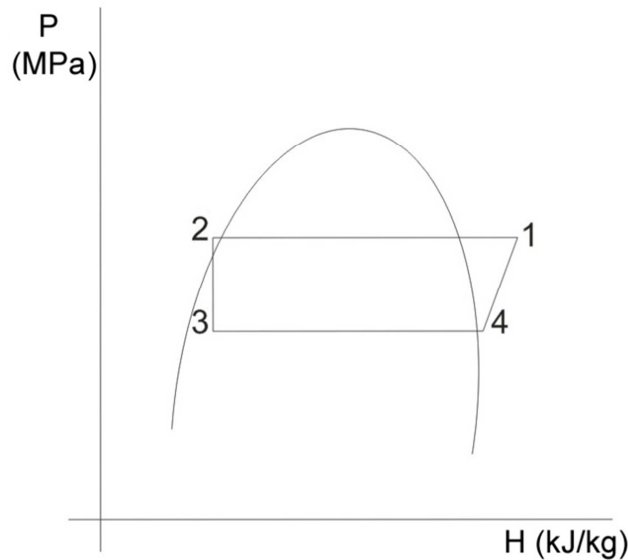
L'explicació del seu funcionament es pot començar pel punt dos, en què el fluid, en estat líquid, va cap a la vàlvula d'expansió. En el pas per aquesta vàlvula disminueix la pressió per començar a passar de líquid a vapor.

En el punt tres es troba una mescla líquid-vapor, i aquesta entra a l'evaporador. Un cop dins l'evaporador, el fluid roba calor de l'entorn i es transforma completament en vapor, arribant al punt quatre.

Seguidament entra al compressor, on augmentarà la pressió. Com que la pressió puja, la temperatura del fluid també augmenta considerablement.

Únicament queda passar el fluid per un condensador que el refredarà mantenint la pressió, tornant-lo a estat líquid. D'aquesta forma ja es torna a estar al punt inicial, i es seguirà repetint el procés constantment.

Aquest procés també es pot analitzar en un gràfic pressió-entalpia.



**Figura 10.** Gràfic pressió-entalpia

Tornant a començar pel punt dos i anant cap al tres, es troba una vertical que representa la funció de la vàlvula d'expansió, una pèrdua de pressió del fluid.

El canvi del punt tres al quatre és a pressió constant. Aquí el vapor humit passa a vapor sec, degut a la funció de l'evaporador.

El pas del punt quatre al punt u, és una línia obliqua, degut a que el compressor augmenta la pressió, i també la temperatura.

Per últim, anant de u a dos, es torna a tenir una procés a pressió constant, aquest cop passant de vapor sec a vapor humit.

#### **B.1.1.1 Compressors**

Un compressor és una màquina que augmenta la pressió d'un fluid mentre que redueix el seu volum.

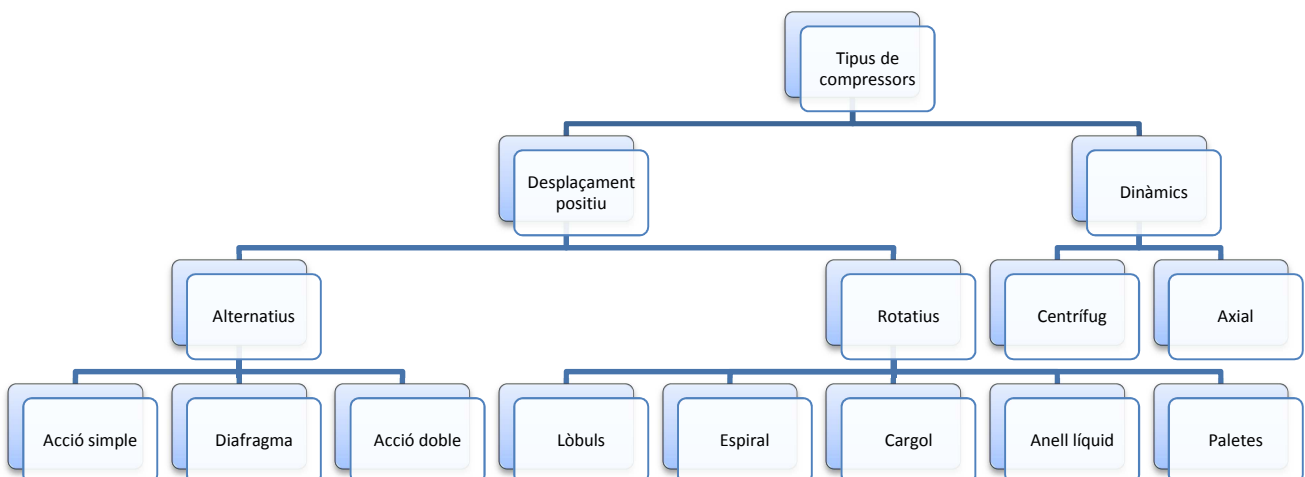
La seva funció també pot ser desplaçar certs tipus de fluids anomenats compressibles, tal com són els gasos i els vapor en diverses aplicacions. Aquesta compressió es realitza a través d'un intercanvi d'energia en forma de treball entre la

màquina i el gas. El treball exercit pel compressor és transferit a la substància que passa per ell convertint-se en energia de pressió.

Igualment a les bombes, els compressors també desplacen un fluid i incrementen la pressió. Però a diferència de les primeres, que són màquines hidràuliques, els compressors són màquines tèrmiques, ja que el seu fluid de treball és compressible, patint un canvi apreciable de densitat i, generalment, també de temperatura. Això també és una diferència front els ventiladors, els quals impulsen líquids compressibles però no augmenten la seva pressió, densitat o temperatura de manera considerable.

### **Tipus de compressors**

Els principals tipus de compressors s'il·lustren a la *Figura 11. Classificació tipus de compressors*:



**Figura 11.** Classificació tipus de compressors

#### **a) Compressors centrífugs**

Els compressors centrífugs fan servir un disc o roda rotativa dins d'una carcassa, de manera que al girar es força el pas de l'aire en direcció radial, és a dir, que l'aire que del centre de la roda impulsora és forçat pels àleps cap a l'exterior, incrementant la seva energia cinètica. Al voltant d'aquest disc amb àleps es troba un difusor, que no és més que conductes divergents que converteixen l'energia cinètica guanyada al rotor en energia de pressió.

Es fan servir principalment en aplicacions industrials contínues i estacionàries. Les seves aplicacions solen anar des de potències de 75kW fins a megawatts.

*b) Compressors axials*

Els compressors de flux axials són compressors rotatius dinàmics que fan servir cascades de perfils aerodinàmics per, progressivament, comprimir el fluid. Es fan servir quan es requereix molt flux de gas o quan calen dissenys compactes i modulars.

Els àleps o perfils aerodinàmics acceleren el fluid, mentre que la part estàtica, anomenada estàtor, converteix l'energia cinètica adquirida en energia de pressió i canvia la direcció del fluid, preparant i redirigint d'aquesta manera el flux per la següent etapa.

Els compressors axials són quasi sempre multietapa, amb una secció transversal per la qual passa el gas en forma d'anell amb àrea decreixent conforme es va comprimint, de manera que es manté el nombre de Mach axial òptim. Més enllà de cinc etapes o de relacions de compressió per damunt de 4:1, es fa servir geometria variable, variant angles dels àleps d'estàtor o situant vàlvules intermèdies per adaptar-se a les actuacions requerides.

Els compressors axials poden tenir eficiències molt altes; al voltant del 90% politròpic al seu punt de disseny. No obstant això, són molt cars, requereixen un gran nombre de components, toleràncies molt acurades i materials d'alta qualitat, fet que els fa cars.

Els compressors de flux axial es poden trobar a turbines de gas mitjanes i grans, a les estacions de bombament de gas natural i en algunes plantes químiques.

*c) Compressors alternatius*

Els compressors alternatius fan servir pistons moguts per un cigonyal. Poden ser estacionaris o portàtils, d'una o diverses etapes i poden venir impulsats per un motor elèctric o un motor de combustió interna.

A les aplicacions automotrius es poden tenir petits compressors alternatius de cinc a trenta cavalls. També es fan servir a aplicacions amb major requeriment de potència com per exemple al processament de petroli.

Les pressions de descàrrega poden estar per damunt dels 35MPa. En algunes aplicacions es fan servir compressors de diverses etapes, on aquests són més eficients però més grans, sorollosos i costosos que els aparells rotatius.

*d) Compressors d'espiral*

Un compressor d'espiral fa servir dos àleps amb forma d'espiral interposats per bombejar o comprimir fluids i gasos. La geometria de l'àlep pot ser involuta, espiral d'Arquímedes o corbes híbrides. Operen suaument i silenciosament i són més fiables que els altres tipus de compressors per a volums petits.

De vegades, una de les espirals és fixa, mentre que l'altre orbita excèntricament sense rotar, de manera que s'atrapen i es comprimeixen bosses de gas entre les espirals.

*e) Compressors de cargol*

Els compressors de cargol fan servir dos cargols helicoidals rotatius entremats com a compressor de desplaçament positiu, per a forçar el gas a comprimir-se reduint-ne el volum.

Es tracta d'un rotor mascle i una altra femella, de manera que són fàcilment acoblables degut a la seva secció en forma lobular. Ambdós elements rotatius forcen l'aire atrapat a reduir-se en volum, de manera que a la sortida s'ha augmentat la pressió.

Aquests compressors es fan servir en aplicacions d'operació continua industrials i comercials i poden ser estacionaris o portàtils. Poden abastar potències des de 2.2kW fins a quasi 380kW i s'arriba a unes pressions de 8MPa.

*f) Compressors de paletes*

Els compressors de paletes consisteixen en un rotor amb un nombre determinat d'àleps muntats als allotjaments radials del rotor. El rotor està muntat excèntricament a una carcassa major que ell, que pot ser circular o més complexa. Quan el rotor gira, les paletes llisquen enfora i endins dels allotjaments, sempre en contacta amb la paret de la carcassa gràcies a uns molls als allotjaments del rotor. D'aquesta manera, es va reduint el volum del gas admès a cada cicle gràcies a l'excentricitat de la màquina. Aquests compressors són, juntament amb els de pistó, els més vells de les tecnologies de compressió.

Si les canonades són fàcilment adaptables, es poden fer servir també com a bomba de buit. Poden ser estacionaries o portàtils, simples o multietapa, mogudes per motors elèctrics o per motors de combustió interna.

Un compressor de paletes s'adequa molt bé al motors elèctrics i és molt més suau en funcionament que l'equivalent compressor de pistons.

### ***Revisions periòdiques***

Segons el Reglament ITC IF i el RD 138-2011, els compressors hauran de superar unes revisions periòdiques obligatòries i unes inspeccions periòdiques obligatòries.

#### *a) Revisions periòdiques obligatòries*

Les instal·lacions es revisaran com a mínim cada cinc anys, sempre i quan les instal·lacions no utilitzin una càrrega de refrigerant superior als 3000 quilos i tinguin una antiguitat superior a quinze anys, que es revisaran al menys cada dos anys.

En aquestes revisions, com a mínim, es revisarà l'estat exterior i interior dels components i materials. S'han de desmuntar tots els limitadors de pressió i elements de seguretat per comprovar el bon funcionament i el calibratge. Es revisaran l'estat de les plaques d'identificació, de les canonades, dels aïllaments i dels detectors de fugues. També es comprovaran els equips de protecció personal reglamentaris.

#### *b) Inspeccions periòdiques de les instal·lacions*

S'hauran d'inspeccionar cada deu anys les instal·lacions frigorífiques de nivell 2. Una instal·lació de nivell 2 és aquella formada per un o varis sistemes frigorífics independents entre si amb una potència elèctrica instal·lada en els compressors superior a 30kW en algun sistema, que la suma total de la potència elèctrica instal·lada en els compressors frigorífics excedeixi els 100kW, o que utilitzin refrigerants de mitja o baixa seguretat (L2 i L3).

Tot i així, les instal·lacions que utilitzen refrigerants fluorats s'inspeccionaran cada any si la càrrega de refrigerant és igual o superior a 3000 quilos, cada dos anys si és inferior a 3000 però igual o superior a 300 quilos, i cada cinc anys si és superior a 30 quilos però inferior a 300.

En aquestes inspeccions, com a mínim, es revisarà que s'hagin fet les revisions obligatòries i els controls de fugues corresponents, s'inspeccionarà la gestió de residus i s'inspeccionaran els equips de pressió.

### **B.1.1.2 Evaporadors**

Es coneix com evaporador l'intercanviador de calor on es produeix la transferència d'energia tèrmica des d'un medi que ha de ser refredat cap al fluid refrigerant que circula a l'interior d'un dispositiu.

Quan el refrigerant entra als tubs que conformen l'evaporador, absorbeix calor dels productes que seran refredats, cosa que el fa "bullir" i es vaporitza. En aquest procés l'evaporador fa la funció de pont tèrmic entre el medi a refredar i el refrigerant.

Es desenvolupen i produeixen evaporadors de dissenys i formes varis per satisfer les necessitats dels usuaris. Tot i així, es poden classificar de dues maneres:

### **Segons l'alimentació del refrigerant**

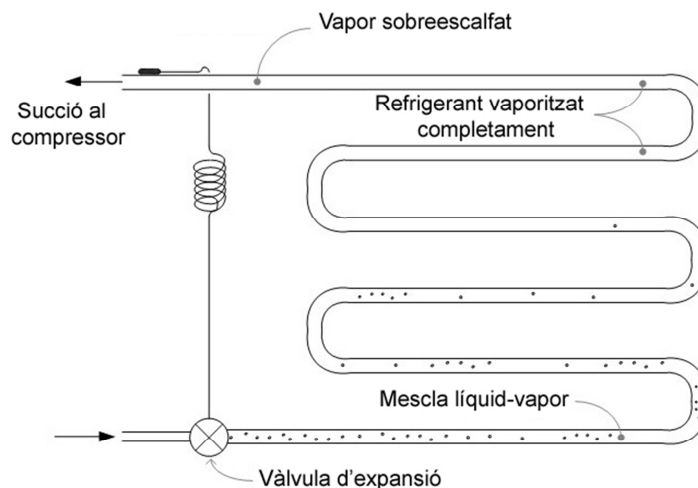
Segons l'alimentació del refrigerant l'evaporador pot ser per expansió directe, altrament dit expansió seca, per inundació o sobrealimentat.

#### *a) Evaporadors d'expansió directa o expansió seca*

Als evaporadors d'expansió directe l'evaporació del refrigerant es dona durant el seu recorregut per l'evaporador.

En aquests aparells el cabal màssic de refrigerant subministrat a l'evaporador generalment és en estat líquid i està limitat a la quantitat que l'evaporador pot vaporitzar completament durant tot el recorregut, de manera que al final únicament es pugui succionar vapor destinat al compressor.

Aquest tipus d'evaporadors són lleugerament menys eficients que els inundats i els sobrealimentats, però, en general, són més simples en el disseny, de menor cost inicial, requereixen menys carrega de refrigerant i tenen menys problemes que els altres respecte les pèrdues d'oli. Per aquestes raons, l'evaporador d'expansió directa és el més utilitzat.



**Figura 12.** Esquema evaporadors d'expansió directa

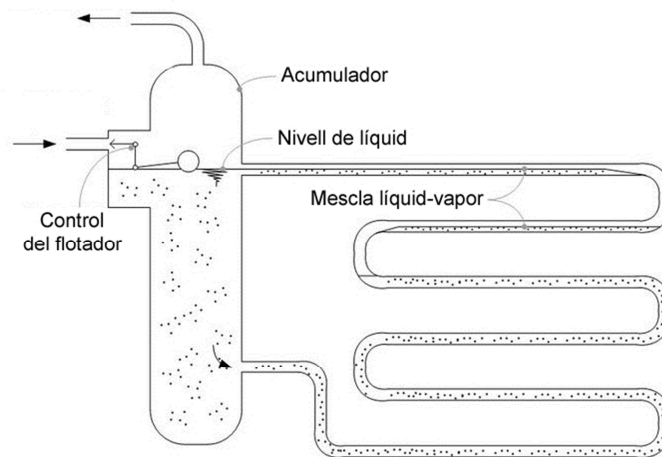


*b) Evaporadors inundats*

Els evaporadors inundats treballen amb el refrigerant líquid, per tant, s'emplenen completament per tenir impregnada tota la superfície interior de l'intercanviador i aconseguir una millor transferència de calor.

L'evaporador està equipat amb un acumulador o col·lector de vapor que serveix com a receptor del líquid, a partir del qual el refrigerant circula per gravetat a través dels circuits de l'evaporador. El nivell dins l'acumulador és regulat per un flotador.

Aquest tipus d'evaporadors són generalment utilitzats en muntatges frigorífics de múltiples evaporadors, amb amoníac (R717) com a refrigerant, ideal en instal·lacions de gran volum.



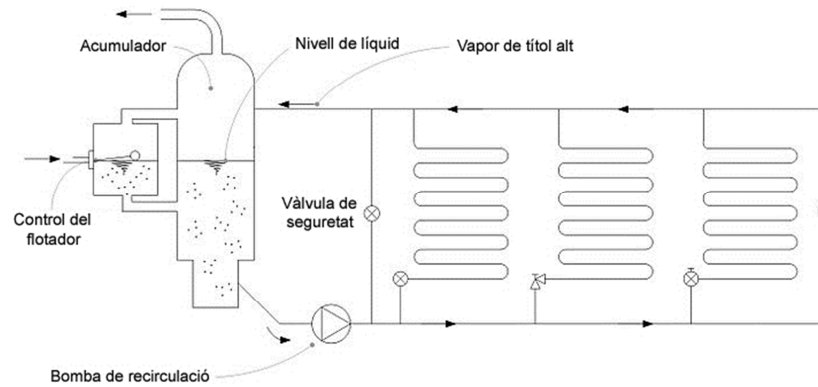
**Figura 13.** Esquema evaporadors inundats

*c) Evaporadors sobrealimentats*

L'evaporador sobrealimentat treballa amb considerable excés de refrigerant líquid en circulació a través de l'evaporador, que a més pot ser vaporitzat. L'excés de líquid és separat del vapor en un receptor de baixa pressió o acumulador, i és recirculat a l'evaporador, mentre el vapor és extret per la succió del compressor.

La re-circulació òptima varia segons molts factors, i és difícil de predir. Tot i així, amb una correcta re-circulació del líquid refrigerant, la humidificació de la superfície interior del tub i el rendiment són semblants als dels assecadors inundats.

Igual que en els evaporadors d'expansió directe, el flux màssic és regulat a través d'una vàlvula d'expansió manual.



**Figura 14.** Esquema evaporadors sobrealimentats

### **Segons el tipus de construcció**

#### *a) De tub descobert*

Els evaporadors de tub descobert són generalment de tubs de coure. Són usats pel refredament de líquids o bé utilitzant refrigerant secundari pel seu interior, on el fenomen d'evaporació del refrigerant no es duu a terme, sinó que aquests compleixen la tasca d'intercanviadors de calor.



**Figura 15.** Evaporador de tub descobert

*b) De superfície de placa*

Els evaporadors de superfície de plaques generalment són construïts per dos plaques planes metàl·liques soldades entre si, de tal manera que pugui fluir el refrigerant entre les dos plaques.

Es poden utilitzar de forma individual o en bateria. Les plaques poden estar disposades per flux de refrigerant paral·lel o poden quedar connectades per flux en sèrie.

Aquest tipus d'evaporador és molt usat en refrigeradors i congeladors casolans degut a una neteja senzilla i una fabricació fàcil i econòmica.



**Figura 16.** Evaporador de superfície de placa

*c) Aletejats*

Els evaporadors aletejats són evaporadors de tub descobert als quals es col·loquen plaques metàl·liques (aletes) per donar una major superfície per absorbir calor, millorant així l'eficiència.

Perquè les aletes siguin efectives han d'estar unides al tub de tal manera que s'asseguri un bon contacte tèrmic entre les aletes i el tub. En alguns casos les aletes estan soldades directament al tub; en d'altres, les aletes es fan lliscar sobre la canonada i es fa expandir el tub per pressió.

La dimensió i l'espai de les aletes depèn del tipus d'aplicació per la qual està dissenyat el serpentí. La dimensió del tub determina les dimensions de l'aleta; tubs petits van associats amb aletes petites.

Si tenen aletes, els serpentins tenen més àrea superficial en comparació amb un evaporador de tub descobert. Per això, un serpentí aletejat ocupa menys espai que qualsevol altre tipus d'evaporador per obtenir la mateixa transferència d'energia, fet que el converteix en el més utilitzat en unitats de convecció forçada, per exemple en aire condicionats, ventiladors i bombes de calor/fred.



*Figura 17. Evaporador aletejat*

### **B.1.1.3 Condensadors**

Un condensador termodinàmic és un intercanviador de calor que té la funció de refredar el fluid que passa per l'interior, aconseguint així que el fluid surti en estat líquid.

La majoria dels condensadors van acompanyats de ventiladors, per tal d'aconseguir una convecció forçada, que fa augmentar el rendiment. També la gran majoria són intercanviadors aletejats.

### **B.1.1.4 Vàlvules d'expansió**

La vàlvula d'expansió és un dispositiu d'expansió que té la capacitat de generar la caiguda de pressió necessària entre el condensador i l'evaporador del sistema.

En els equips d'expansió directa, a més, la seva funció és regular el cabal de refrigerant en estat líquid que entra a l'evaporador.

Aquest dispositiu permet millorar l'eficiència del sistema de refrigeració ja que regula el flux màssic del refrigerant en funció de la càrrega tèrmica.

## B.1.2 Refrigerants

El refrigerant o fluid frigorífic és l'utilitzat com a mitjà de transport del calor des d'un punt a un altre; absorbint calor i cedint-lo posteriorment. Els fluids frigorífics es divideixen en dos grans grups: els primaris o fluids frigorífics i els secundaris o fluids frigorífers.

Les propietats exigibles a un refrigerant depenen de les condicions de funcionament i la relació de les seves propietats físiques, termodinàmiques, químiques, de seguretat i econòmiques. Degut a la ampla gama de condicions de funcionament no existeix el refrigerant que compleixi totes les exigències i el perfecte funcionament dependrà del grau en què les seves propietats s'acostin a les exigències concretes d'utilització.

### B.1.2.1 Característiques

#### *Característiques físiques*

##### *a) Tensió de vapor*

La corba de tensió de vapor reflexa l'equilibri entre el fluid frigorífic líquid i gasós, proporcionant informació sobre la forma en què evolucionen les diferents magnituds davant els canvis d'estat en les condicions d'utilització. Podem destacar:

- Pressió de vaporització: ha de ser superior a la pressió atmosfèrica per evitar introducció d'aire i humitat.
- Pressió de condensació: no ha de ser molt elevada i permetre l'ús d'elements mòbils de menor resistència mecànica; a més no ha de ser pròxima a la pressió crítica del refrigerant, amb la finalitat de facilitar la condensació.
- Temperatura de solidificació: ha de ser molt inferior a la temperatura mínima de treball

##### *b) Relació de compressió*

La relació de compressió ha de ser petita en les condicions de funcionament, doncs l'eficàcia volumètrica varia inversament amb la relació de compressió. (*Taula 3. Relació de compressió (-5°C/+35°C)*)

Refrigerant	Relació de compressió
R-717	3.80
R-12	3.24
R-22	3.21
R-502	3.04

**Taula 3.** Relació de compressió (-5°C/+35°C)

c) *Calor latent de vaporització*

A excepció dels sistemes de potència reduïda, és recomanable un valor alt de calor latent, doncs serà més elevada la producció frigorífica específica, inferior el cabal màssic a circular i es permetrà utilitzar un equip més petit i compacte a part de reduir la potència consumida.

d) *Calor específic del refrigerant*

En el líquid el calor específic ha de ser baix, i en el vapor ha de ser alt, ja que aquesta característica augmenta el rendiment del refrigerant.

### **Característiques termodinàmiques**

Aquestes magnituds permeten comparar el comportament termodinàmic dels refrigerants, i d'acord amb els diagrames entròpic i de Mollier s'analitza la importància dels valors següents:

- Producció frigorífica específica: quantitat de calor que absorbeix un quilogram de refrigerant a l'evaporador
- Producció frigorífica volumètrica: quantitat de calor que absorbeix un metre cúbic de refrigerant aspirat pel compressor
- Potència frigorífica específica: quantitat de calor que teòricament absorbeix el refrigerant per unitat de treball del compressor

Al comparar aquests valors, s'observa que la potència requerida per unitat de capacitat refrigerant és semblant per tots els fluids frigorífics. Per això, aquests factors no són decisius en la selecció (*Taula 4. Potència frigorífica específica en kcal/kWh (-5°C/+35°C)*)

Refrigerant	Potència frigorífica específica
R-717	4755
R-12	5074
R-22	5031
R-502	4472

**Taula 4.** Potència frigorífica específica en kcal/kWh (-5°C/+35°C)

### **Característiques químiques**

El refrigerant no ha de patir transformacions químiques en les condicions d'utilització del sistema frigorífic, i ha de ser inert davant l'oli, els materials de la instal·lació i a la presència d'aigua al circuit.

a) *Comportament davant la humitat*

L'existència de petites quantitats d'aigua al circuit frigorífic és inevitable, doncs són diverses les causes que donen lloc a la seva presència. Tot i així, per un adequat

funcionament, es necessita que el nivell d'humitat es mantingui per sota del nivell que produeixi efectes perjudicials al sistema.

El nivell màxim d'aigua admissible en un sistema frigorífic depèn del tipus de refrigerant, oli lubricant i temperatures de treball del sistema; s'han considerat valors màxims d'aigua d'un 1% en amoníac i d'un 0.0025% per fluids halògens.

L'aigua es combina amb el fluid frigorígen donant lloc a la formació de compostos corrosius que poden reaccionar amb l'oli refrigerant i amb materials del sistema. També pot estar present com a "aigua lliure", que en els punts de temperatura igual o inferior a 0°C, vàlvula d'expansió i evaporador, es transforma en gel reduint el rendiment i arribant a bloquejar la vàlvula.

*b) Comportament davant als materials*

D'acord amb el Reglament RD 138/2011 qualsevol material utilitzat en els equips frigorífics ha de ser resistent a l'acció dels materials amb què entre en contacte. Els fluids frigorígens no ataquen els materials utilitzats a la instal·lació; tot i que com s'ha indicat a l'apartat anterior, la presència d'aigua els fa corrosius en determinades condicions. Per això, la Instrucció MI-IF-005 estableix una relació de prohibicions que es resumeixen a la *Taula 5. Utilització de metalls no fèrrics i les seves aleacions*:

<b>Metall</b>	<b>Refrigerant prohibit</b>	<b>Observacions</b>
Coure	Amoníac Formiat de metil	Les aleacions de coure poden utilitzar-se després d'un examen de compatibilitat
Alumini	Clorur de metil	
Magnesi		En general, exceptuant casos especials d'aleacions de baix %
Zinc	Amoníac Clorur de metil Fluids frigorígens clorats	
Plom	Fluids frigorígens clorats	S'exceptua a las juntes
Estany	Hidrocarburs fluorats	Amb temperatures de servei inferior a -10°C

*Taula 5. Utilització de metalls no fèrrics i les seves aleacions*

*c) Relació refrigerant-oli*

Els fluids frigorígens, sota les condicions normals de treball, es mostren suficientment estables davant els olis lubricants; tot i així, degut a la presència d'aire i humitat, les reaccions entre refrigerant i oli són més intenses, podent arribar a la descomposició de l'oli, la formació de fangs i àcids, corrosions de superfícies metàl·liques i dipòsits de coure. Per reduir o eliminar aquests inconvenients és

necessari utilitzar olis de qualitat alta, evitar la presència d'aire i aigua i projectar el sistema de tal manera que la temperatura de descàrrega sigui raonablement baixa.

La problemàtica del grau de miscibilitat de l'oli amb el refrigerant permet separar aquests tres grups:

- Són totalment miscibles en les condicions del circuit frigorífic
- Miscibles en el condensador però reducció del grau de mescla en l'evaporador
- No són miscibles

En els refrigerants del primer grup, que no són combustibles ni tenen acció tòxica, l'oli redueix la viscositat disminuint les seves qualitats lubricants, i afecta al fluid frigorígen reduint l'eficiència i la capacitat del sistema, doncs en aquestes condicions una fracció del fluid que circula pel sistema no correspon a refrigerant, sinó a l'oli, que a l'impregnar les superfícies internes del condensador i l'evaporador redueix la seva capacitat d'intercanvi.

Amb els refrigerants que presenten una major o menor miscibilitat, l'oli s'haurà de separar en les zones fredes, en l'evaporador i en lloc en que existeixi refrigerant líquid; en aquests casos és recomanable la instal·lació de separadors d'oli en les línies de descàrrega per reduir-ne la circulació pel circuit frigorífic. Tot i així, com que els separadors no són totalment eficaços, és necessari facilitar i assegurar el retorn de l'oli fins el compressor mitjançant línies de retorn o acumuladors d'oli en les zones en que sigui major la separació.

### **B.1.2.2 Classificació**

#### ***Fluids frigorígens***

Segons la definició del Reglament de Seguretat en Plantes i Instal·lacions Frigorífiques, el refrigerant o fluid frigorígen és el fluid utilitzat en la transmissió de calor que, en un sistema frigorífic, absorbeix calor a baixes temperatures i pressió, cedint-la a temperatura i pressió més elevades. Aquest procés té lloc amb canvis d'estat del fluid.

El Reglament de Seguretat en Plantes i Instal·lacions Frigorífiques classifica els refrigerants en tres grups (

*Taula 6.* Classificació dels refrigerants) d'acord amb el següent criteri general:

- Grup primer: si no és combustible i amb acció tòxica nul·la o lleugera



- Grup segon: si és d'acció tòxica o corrosiva, o si la seva mescla amb l'aire pot ser combustible o explosiva a un 3.5% o més, en volum.
- Grup tercer: si la seva mescla amb l'aire pot ser combustible o explosiva a menys d'un 3.5% en volum.

Número d'identificació del refrigerant	Nom químic	Fórmula química	Pes molecular en grams	Punt d'ebullició en °C a 1.013bar
Grup primer: Refrigerants d'alta seguretat				
R-11	Triclorofluorometà	CCl <sub>3</sub> F	137.4	23.8
R-12	Diclorodifluorometà	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120.9	-29.8
R-13	Clorotrifluorometà	CClF <sub>3</sub>	104.5	-81.5
R-13B1	Bromotrifluorometà	CBrF <sub>3</sub>	148.9	-58
R-14	Tetrafluorur de carboni	CF <sub>4</sub>	88	-128
R-21	Diclorofluorometà	CHCl <sub>2</sub> F	102.9	8.92
R-22	Clorodifluorometà	CHClF <sub>2</sub>	86.5	-40.8
R-113	1,1,2-Triclorofluoretà	CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>	187.4	47.7
R-114	1,2-Diclorotetrafluoroetà	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	170.9	3.5
R-115	Cloropentafluoroetà	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	154.5	-38.7
R-C318	Octofluorciclobutà	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	200	-5.9
R-500	R-12 (73.8%)+R-152a (26.2%)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> /CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	99.29	-28
R-502	R-22 (48.8%)+R-115 (51.2%)	CHClF <sub>2</sub> /CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	112	-45.6
R-744	Anhídrid carbònic	CO <sub>2</sub>	44	-78.5
Grup segon: Refrigerants de seguretat mitja				
R-30	Diclorur de metil	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84.9	40.1
R-40	Clorur de metil	CH <sub>3</sub> Cl	50.5	-24
R-160	Clorur d'etil	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	64.5	12.5
R-611	Formiat de metil		60	31.2
R-717	Amoníac	NH <sub>3</sub>	17	-33
R-764	Anhídrid sulfurós	SO <sub>2</sub>	64	-10
R-1130	1,2-dicloroetilè	CHCl=CHCl	96.9	48.5
Grup tercer: Refrigerants de baixa seguretat				
R-170	Età	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30	-88.6
R-290	Propà	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	44	-42.8
R-600	Butà	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	58.1	0.5
R-600a	Isobutà	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	58.1	-10.2
R-1150	Etilè	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	28	-103.7

Taula 6. Classificació dels refrigerants

### **Fluids frigorífers**

Els fluids frigorífers s'utilitzen per la transmissió de calor des del producte o lloc que ha de ser refredat fins el fluid frigorigen. Aquest sistema de refrigeració s'utilitza en les instal·lacions amb llargues conduccions, amb situacions diversificades de productes i punts de refredament i per evitar els riscos de frigorífens tòxics en proximitat amb els aliments.

Els avantatges d'aquest sistema es reflecteixen en reducció del volum necessari de fluid frigorigen, disminució de fugues, millor regulació i distribució més homogènia del fred.

Les característiques exigibles a un fluid per ser utilitzat com frigorífic secundari són: calor específic elevat, coeficient de conductivitat elevat, grau de fluïdesa adequat, tensió de vapor petita i temperatura de congelació molt inferior a la temperatura de treball.

Els fluids frigorífics secundaris utilitzats habitualment són: aigua, salmorres, solucions alcohòliques i líquids criogènics.

#### **B.1.2.3 Nomenclatura**

La nomenclatura simbòlica numèrica dels refrigerants s'estableix a partir de la fórmula química, adoptant la lletra "R" seguida d'una expressió numèrica d'acord amb l'equació 9:

$$C_m H_n Cl_y F_x \rightarrow R - (m - 1)(n + 2)x \quad (9)$$

Si el resultat del nombre d'àtoms de carboni de la molècula menys 1 (m-1) és igual a 0, aquest no s'escriu.

En cas que la molècula contingui àtoms de brom, s'afegeix a la dreta una "B" majúscula, seguida del numero d'àtoms d'aquest element.

Els derivats cíclics s'expressen segons la regla general i s'afegeix una "C" majúscula a l'esquerra del numero refrigerant.

En els compostos isòmers, el més simètric (en pesos atòmics) s'indica sense cap lletra a continuació dels números; mentre que al augmentar la asimetria es col·locaran las lletres: a, b, c, ...

Els compostos no saturats seguiran les regles anteriors, afegint el numero 1 com a quarta xifra, contada des de la dreta.

Els azeòtrops o les mescles s'expressen mitjançant les denominacions dels seus components, intercalant el percentatge en pes corresponent a cada un. També es poden anomenar per un numero de la sèrie "500" completament arbitrari.

Els compostos inorgànics es designen afegint a "700" els pesos moleculars corresponents; si diferents refrigerants inorgànics tenen els mateixos pesos moleculars, s'utilitzen les lletres A,B,C, ... per distingir-los entre ells.

### **B.1.3 Desglaç**

Quan l'aire de la sala entre en contacte amb l'evaporador ens condensa part del vapor d'aigua que es troba a l'aire. D'aquest, una petita part queda congelada a l'evaporador, restant eficàcia a l'aparell.

Per tal de que el rendiment disminueixi el mínim, s'instal·len els sistemes de desglaç. Hi ha diferents sistemes que s'expliquen a continuació, i és important l'elecció i la bona configuració del desglaç per mantenir el rendiment.

#### **B.1.3.1 Desglaç per aire**

En el desglaç per aire, dins l'evaporador durant un temps determinat es fa circular un corrent d'aire que descongela les petites partícules que havien quedat congelades a la superfície.

S'utilitza en instal·lacions amb temperatura positiva i habitualment està controlat únicament pel temps en un PLC.

#### **B.1.3.2 Desglaç per aigua**

És un desglaç també per temps, en el que un PLC talla la circulació del fluid fred per donar entrada a una aigua que permet el desglaç de la bateria frigorífica.

Com es pot veure en la *Figura 74. Diagrama procés*, l'assecador analitzat té un sistema de desgel d'aquest estil.

**B.1.3.3 Desglaç elèctric**

En aquest cas, el PLC activa unes resistències elèctriques que mitjançant l'aportació de calor permeten el desglaç. Les resistències es desconnecten o bé per el temps regulat o bé mitjançant l'acció d'un termòstat fi de desglaç.

**B.1.3.4 Desglaç per gas calent**

És el més complet dels anteriorment descrits i s'utilitza fonamentalment per baixes temperatures.

El PLC tanca la circulació del fluid fred i l'aspiració i deixa passar el gas calent. El termòstat de fi de desglaç o el PLC acaben el cicle.

## B.2 BATERIA DE CALOR

Per tal d'analitzar la bateria de calor, més que enumerar les parts que la componen, es centrarà l'atenció en el tema energètic. Aquesta bateria pot ser o bé un evaporador d'un circuit de calor, o pel contrari unes resistències elèctriques dins l'armari que escalfin l'aire que hi circula.

La determinació de quin dels dos muntatges és l'òptim des d'una visió d'eficiència energètica vindrà molt determinat per la distància a la que es troba la caldera de l'assecador o dels aïllaments tèrmics per tal que l'evaporador del circuit sigui el més econòmic. D'alta banda, escalfar una sala d'uns quatre-cents quaranta-cinc metres cúbica amb uns salts tèrmics que poden ser d'uns vint graus Celsius amb resistències elèctriques també és un procés costós.

Únicament per tenir-ho present, en l'esquema donat pel fabricant (*Figura 74. Diagrama procés*) sobre l'assecador a analitzar, que està format per una bateria de calor, es veu que aquesta té un cabal de  $21.5\text{m}^3/\text{h}$  a la bateria. Aquest cabal ha de ser a una temperatura superior als vint-i-quatre graus que es necessiten a la sala, i aproximadament es té un salt tèrmic a la bateria d'uns deu graus essent la temperatura de sortida de quaranta graus.

Com també es pot veure en l'esquema del fabricant, el fluid que circula per la bateria de calor no és aigua calenta sortida de la caldera, sinó que és un fluid que s'escalfa a través d'un intercanviador de plaques gràcies a l'aigua calenta d'aquesta. Sabent que és el mateix fluid, aigua, però que s'intercanvia per tal d'evitar impureses a l'assecador arrossegades per algun motiu, es té que es necessita un cabal una mica més elevat d'aigua escalfada per la caldera per culpa del rendiment de l'intercanviador.

Això implica que per cada procés d'assecatge de tota la sala, que aproximadament tarda uns quinze dies, es necessitaran  $8127\text{ m}^3$  de fluid circulant per l'evaporador. Això significa que es necessiten uns 340GJ, que aproximadament suposaran un cost d'uns 8520€ si únicament es considera escalfar aquesta aigua, sense transportar-la.

Tenint present que en un assecador de les dimensions analitzades i caben uns 47900 xoriços, tampoc és tant el cost que es té per peça, uns divuit cèntim. Tot i així és important omplir la sala al màxim valor dissenyat, ja que cada nou procés és molt elevat de cost, només tenint present la bateria de calor i el temps.

### **B.3 VENTILADOR**

Un ventilador centrífug és un aparell compost d'un rodet d'àleps que gira dins d'una carcassa espiral coneguda com a voluta. La rotació del rodet s'assegura mitjançant un motor, generalment elèctric, essent la seva finalitat posar en moviment aire o fluids gasiformes.

Generalment són elements reversibles, entenent per reversibles que tan poden enviar aire cap a un costat com cap a l'altre, poden fer sortir aire pels laterals i treure'l per dalt, com fer-lo sortir per dalt i recollir-lo pel costats. Aquest segon procés no es fa servir ja que s'assecarien únicament els xoriços superiors i no es podria homogeneïtzar la sala.

En el procés d'assecatge aquest treballa sempre a plena carrega, obtenint així el mateix cabal en tot moment. En el cas analitzat el cabal era de 24.000 metres cúbics per hora.

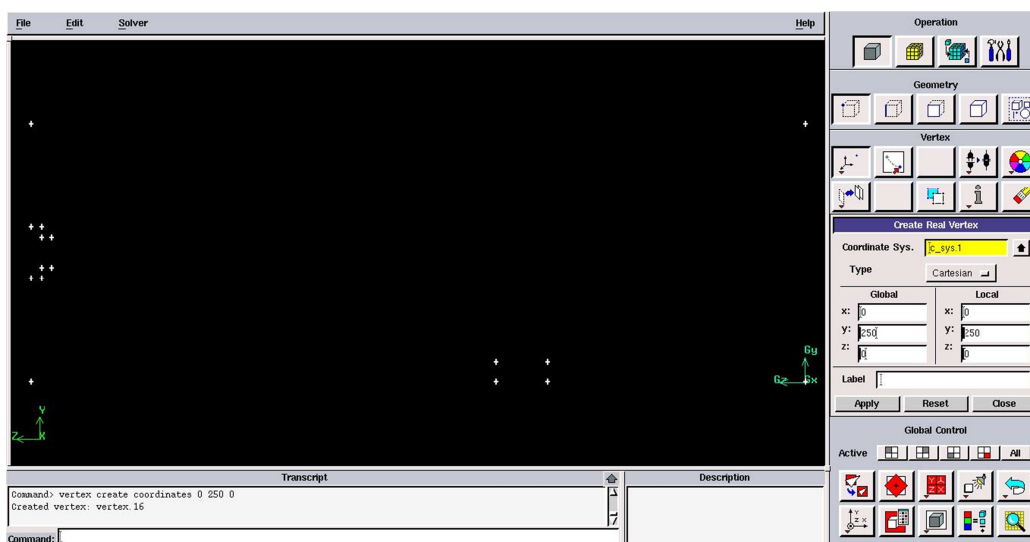
## ANNEX C. SIMULACIONS PAS A PAS

En aquest annex s'explicaran els passos seguits per realitzar les simulacions. Tal com s'ha descrit en la memòria el primer pas serà el de generar el model. Tot el procés de generació del model es farà amb el GAMBIT.

Dibuixar la geometria en el GAMBIT és un procés relativament llarg. Tot i ser una interfície gràfica dinàmica, un petit error costa de rectificar ja que utilitza processos molt lents.

El cas que s'analitzarà és un volum, i per saber en tot moment la figura geomètrica que es té, s'han de mirar els colors de les línies. Si hi ha una línia groga, és que és únicament una línia; si és de color blau, és que hi ha una superfície i si la figura és de color verd, és que ja es disposa d'un volum.

El primer a pas a fer serà entrar les coordenades de l'alçat de l'assecador. Per tal d'entrar punts, ajuntar-los i totes les funcions a fer, s'utilitzarà el menú gràfic que es troba a la dreta de la pantalla, tal com es pot observar a la *Figura 18. Creació del punts*.



**Figura 18.** Creació del punts

Aquests els unirem amb línies, i seguidament amb les línies es crearà una superfície. Aquesta superfície es copiarà, i s'ajuntaran els vèrtex corresponents per tal de generar el volum, tal com es pot veure a la *Figura 19. Còpia de la superfície de l'alçat*.

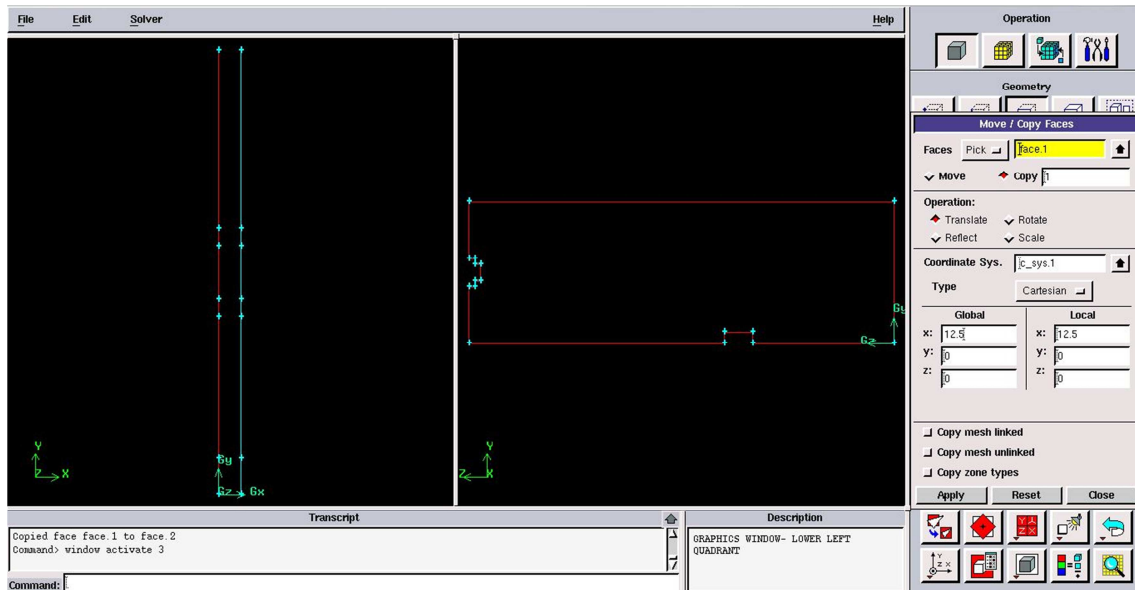


Figura 19. Còpia de la superfície de l'alçat

Dins aquest volum, s'ha de dibuixar el volum dels xoriços. Aquests, mitjançant una resta booleana, s'eliminaran del volum inicial de l'assecador, per aconseguir el volum de l'aire que és el que es necessita per analitzar.

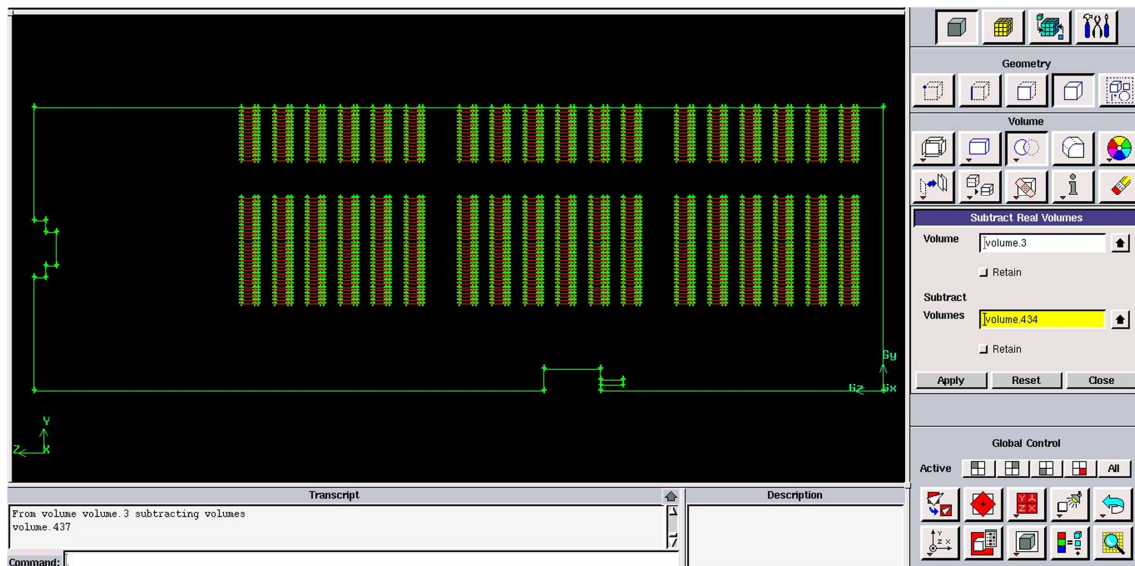
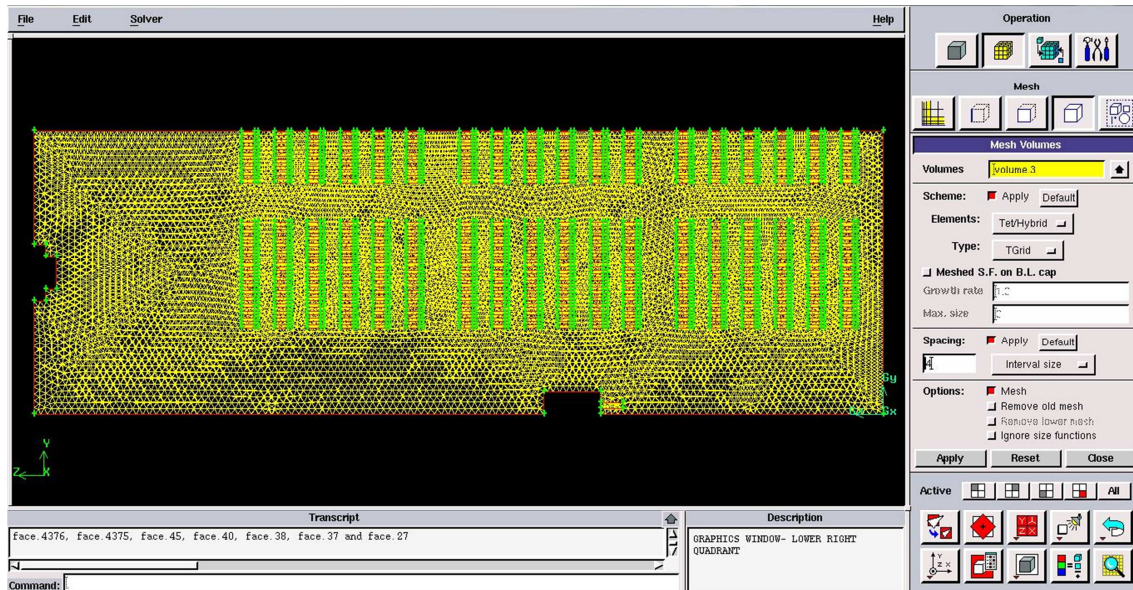


Figura 20. Resta booleana del volum

Un cop es té la geometria dibuixada, s'ha de mallar el volum. Per tal d'aconseguir un mallat acurat, no es malla tot el volum amb elements de la mateixa dimensió, sinó que s'utilitzen funcions de creixement per tal de tenir un mallat



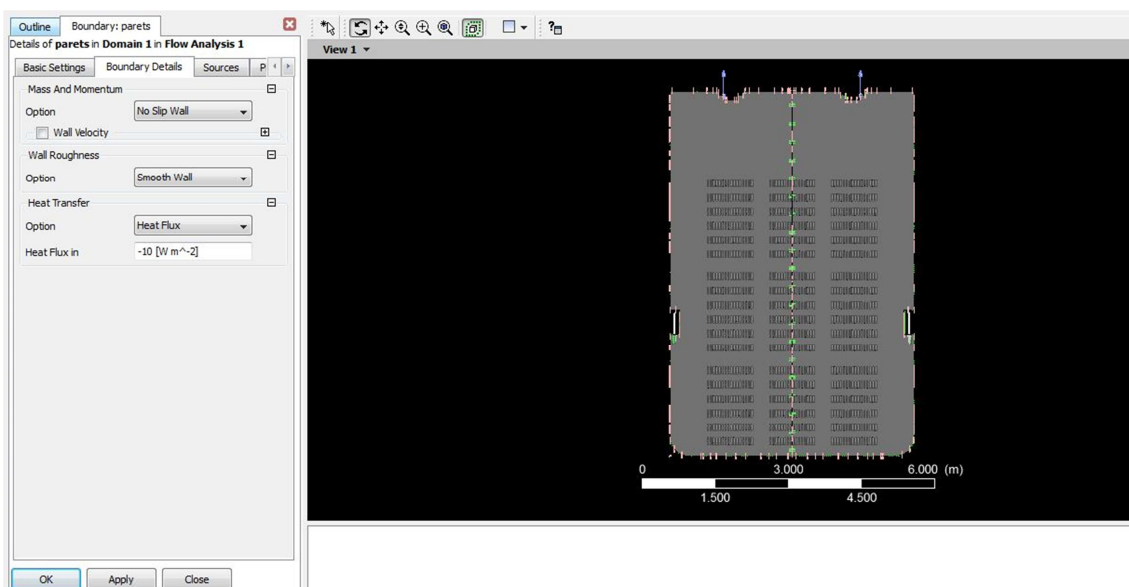
incremental. Així s'aconsegueix tenir una mida d'element més petita a les zones més delicades i un mallat més bast a les zones amb menys importància.



**Figura 21.** Geometria mallada

Un cop està la geometria mallada, s'ha de definir el domini i les condicions de contorn i ja es pot exportar a l'ANSYS CFX. El format d'exportació és .msh.

Un cop es té l'arxiu al CFX s'han de tornar a definir les condicions de contorn i el domini. També s'han de definir les velocitats d'entrada d'aire, els coeficients de transmissió tèrmics i les condicions d'extracció.



**Figura 22.** Definint coeficients de transmissió tèrmics

Amb aquestes condicions correctament definides, es defineixen les condicions de la simulació, que en tots els casos s'han definit com a mil simulacions o fins que s'arribés a uns residuals de deu elevat a menys quatre. Totes les simulacions s'han aturat per la primera condició.



**Figura 23.** Resolució de la simulació

Amb la resolució acabada, ja es pot obrir el post-procés per extreure dades i imatges per l'anàlisi de resultats. Per tal d'extreure unes imatges útils, es representaran els fluxos de velocitat o la temperatura en un pla al mig del volum analitzat.

## ANNEX D. RESULTATS

Primer de tot es comprovarà quin flux d'aire i temperatura tindria el nostre assecador amb les dimensions que el fabricant ha dissenyat. Tal com s'ha comentat, aquestes imatges són els estats estacionaris si es fa sortir el mateix cabal d'aire però amb diferents proporcions a banda i banda.

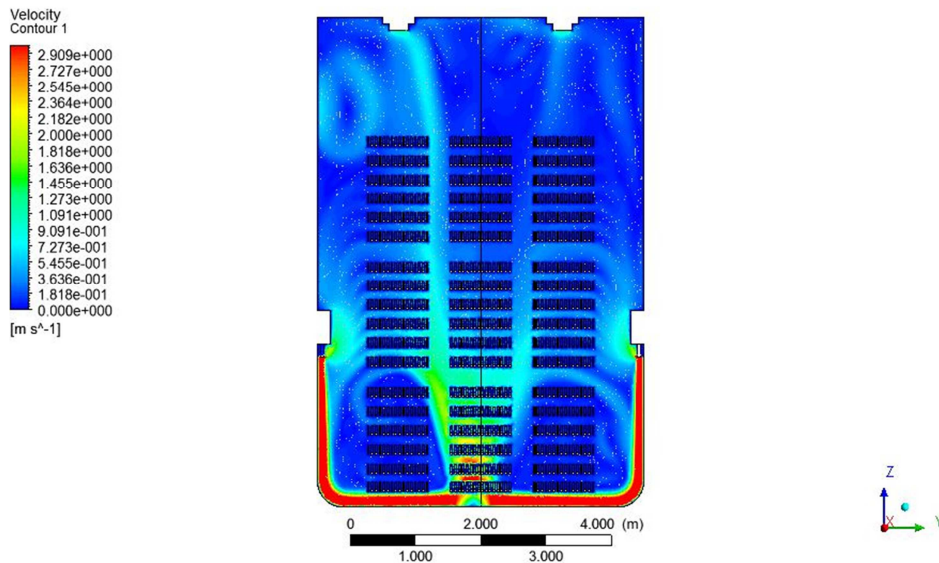


Figura 24. Representació de flux d'aire 50%-50%

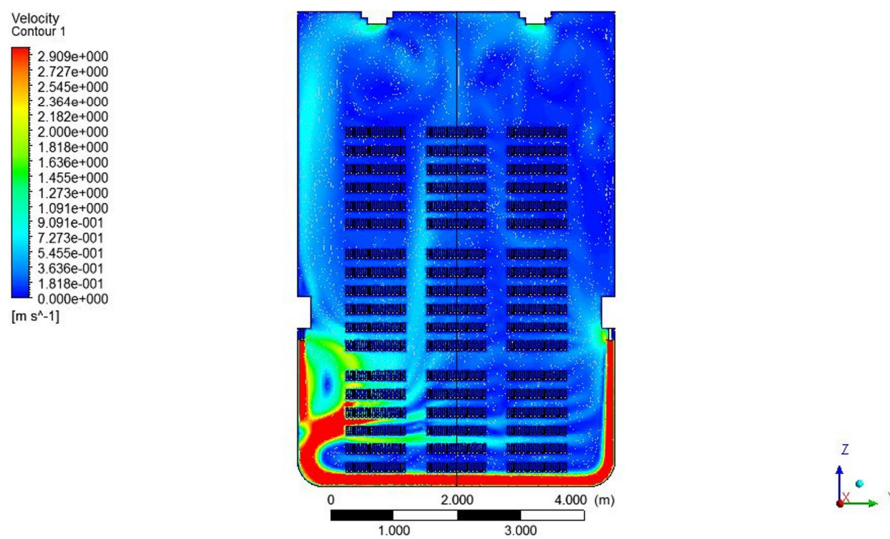


Figura 25. Representació de flux d'aire 40%-60%

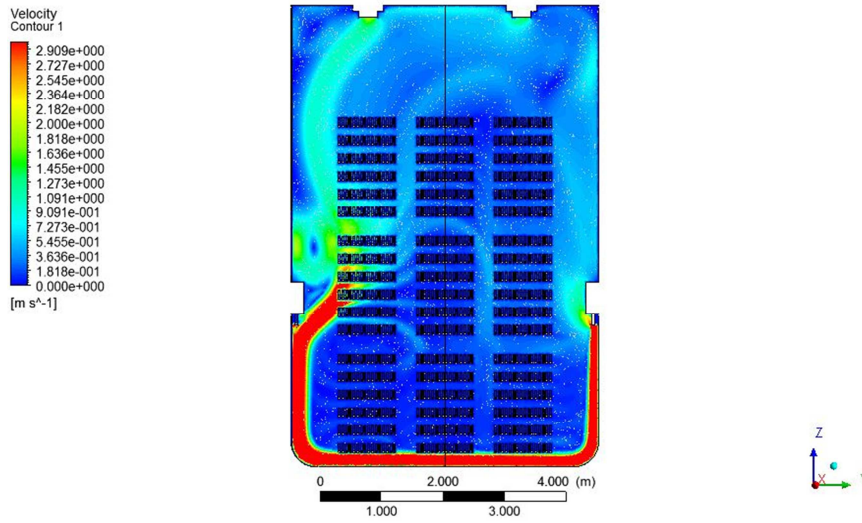


Figura 26. Representació de flux d'aire 30%-70%

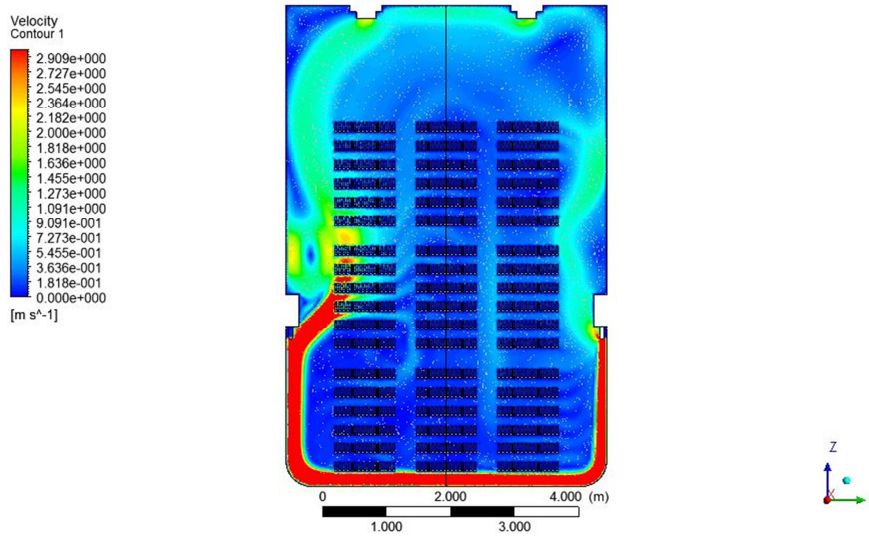


Figura 27. Representació de flux d'aire 20%-80%

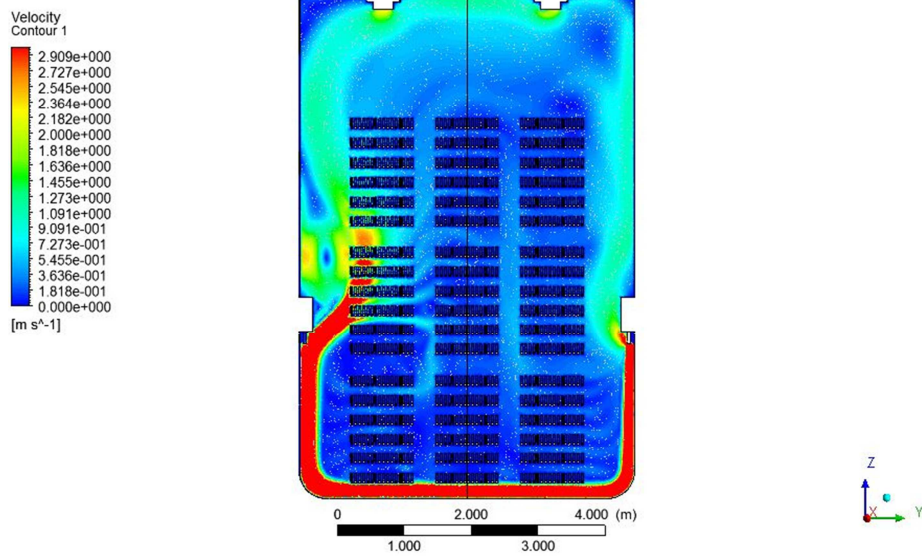


Figura 28. Representació de flux d'aire 10%-90%

Seguidament es pot observar, amb les mateixes condicions, el flux de temperatura que tindria l'assecador.

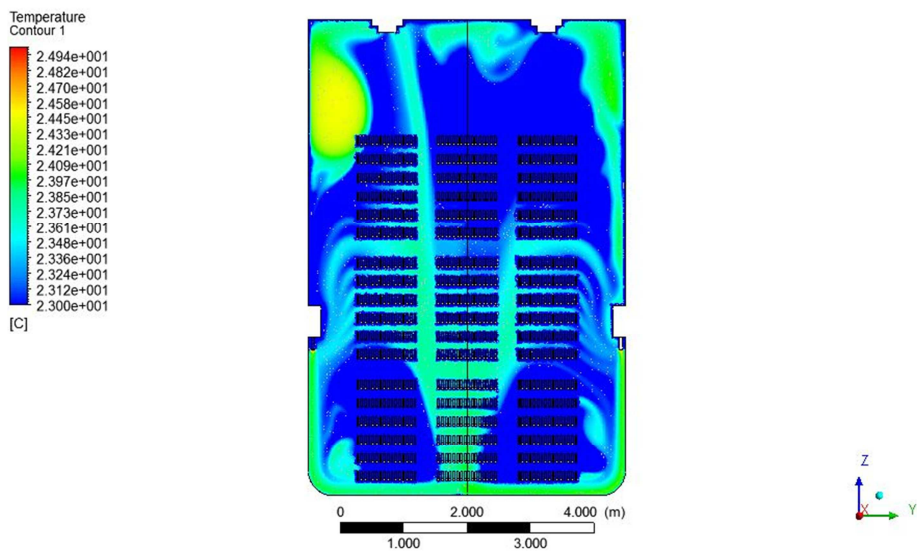


Figura 29. Distribució de temperatura 50%-50%

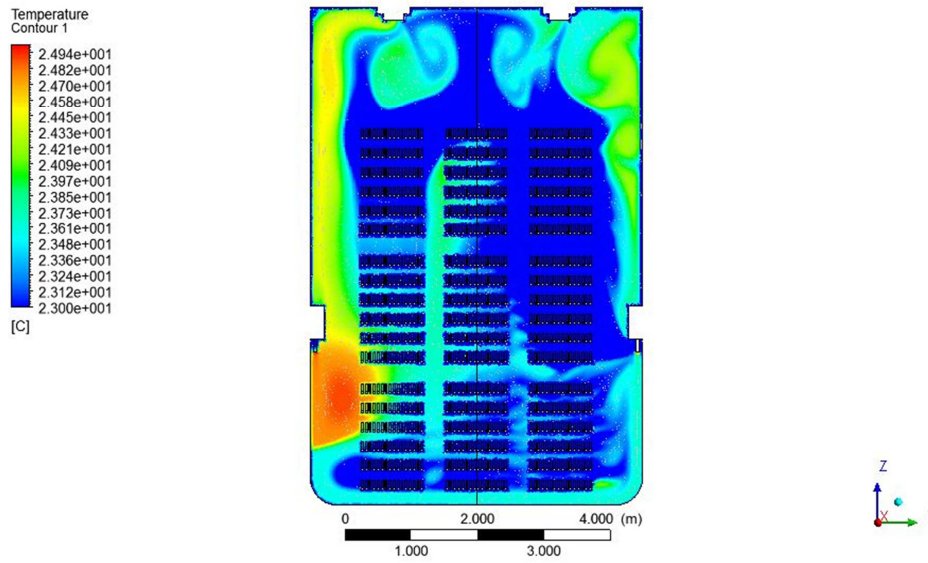


Figura 30. Distribució de temperatura 40%-60%

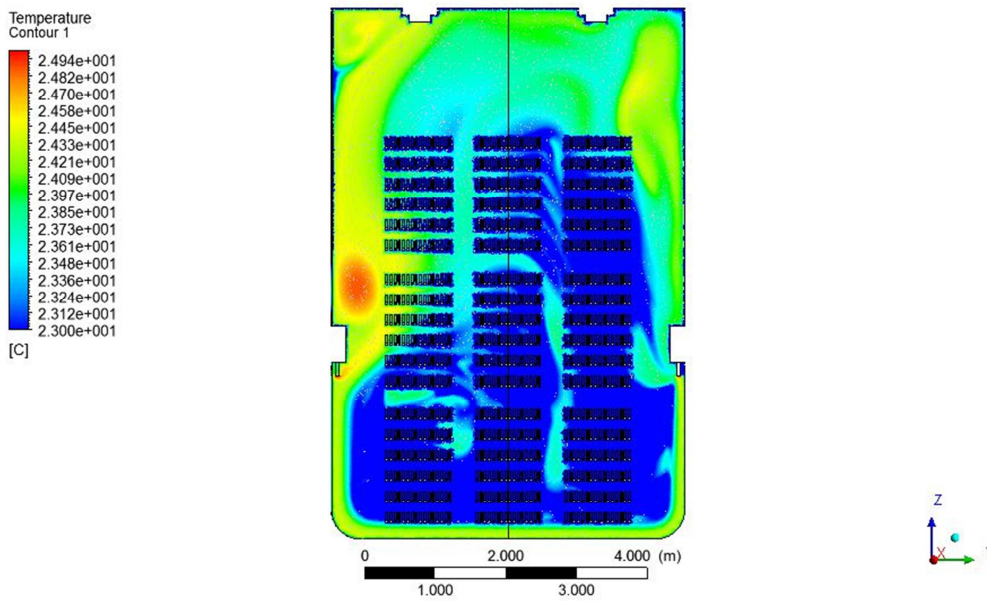


Figura 31. Distribució de temperatura 30%-70%

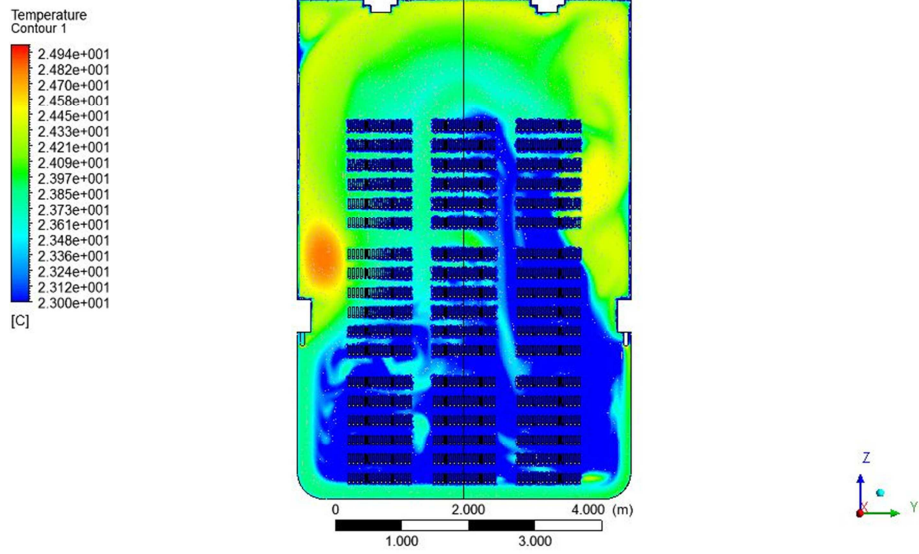


Figura 32. Distribució de temperatura 20%-80%

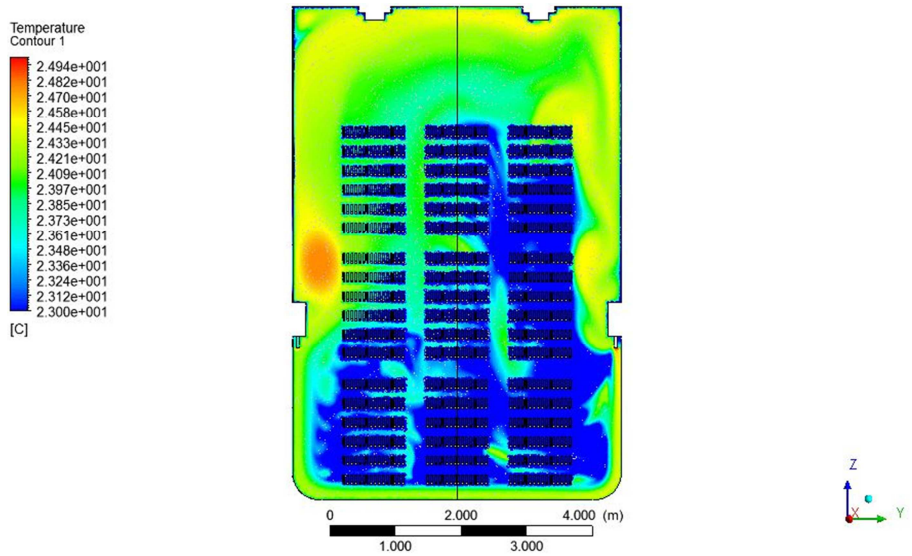
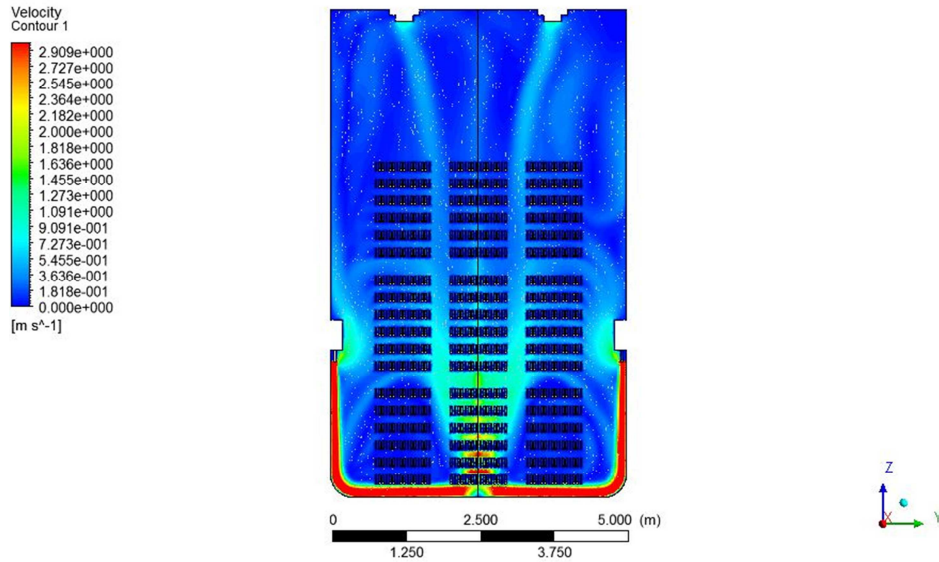
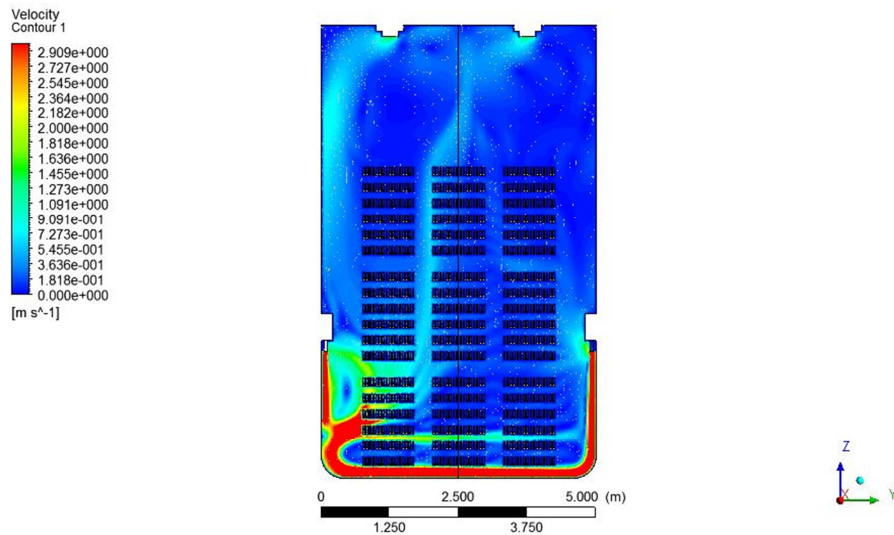


Figura 33. Distribució de temperatura 10%-90%

Seguidament s'analitzarà com es comportaria l'assecador si tingués una alçada superior a la proposada per l'instal·lador, en aquest cas de 8,25 metres. Els casos analitzats seran els mateixos que anteriorment, primerament s'analitza el flux d'aire per les diferents configuracions dels sortidors.



**Figura 34.** Representació de flux d'aire 50%-50%



**Figura 35.** Representació de flux d'aire 40%-60%



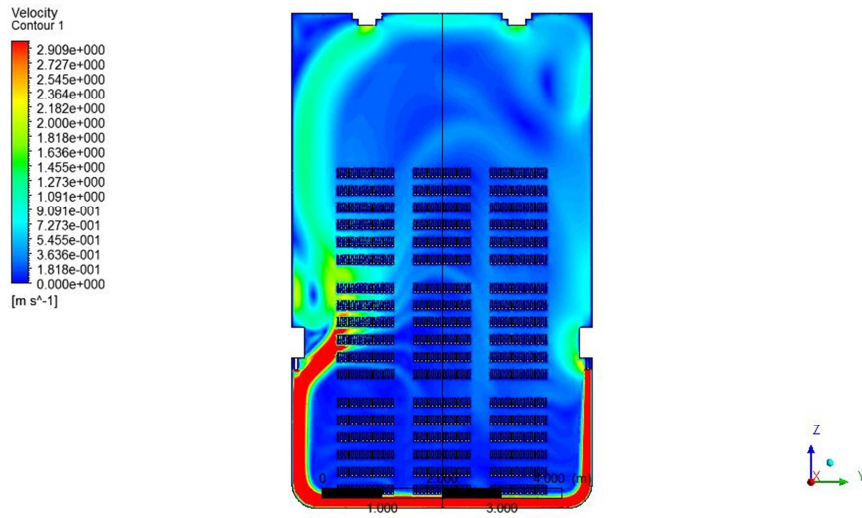


Figura 36. Representació de flux d'aire 30%-70%

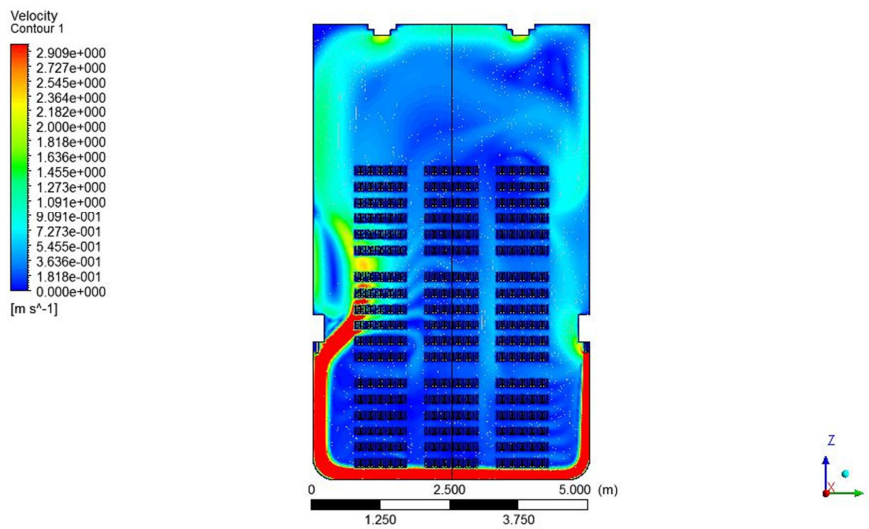


Figura 37. Representació de flux d'aire 20%-80%

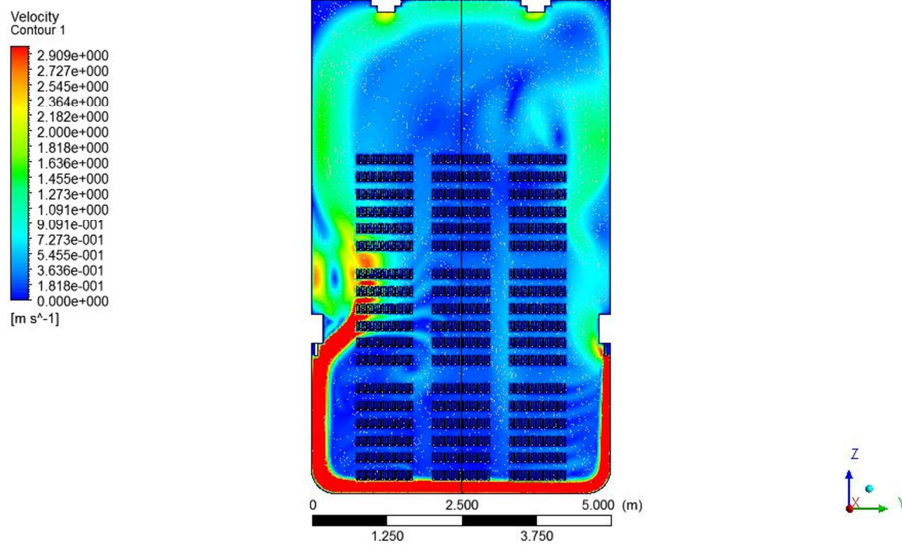


Figura 38. Representació de flux d'aire 10%-90%

Igual que en el cas anterior, s'analitza el flux de temperatura que tindria l'assecador per les diferents configuracions.

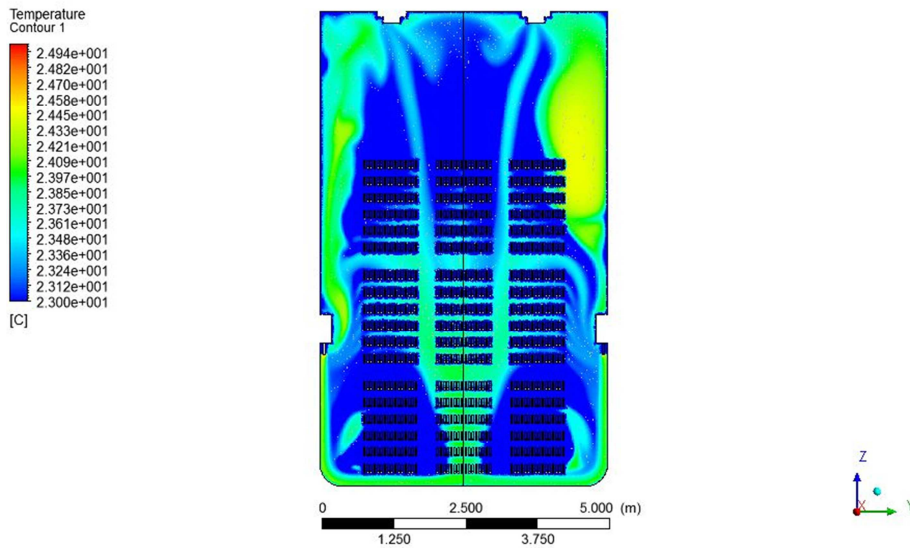


Figura 39. Distribució de temperatura 50%-50%

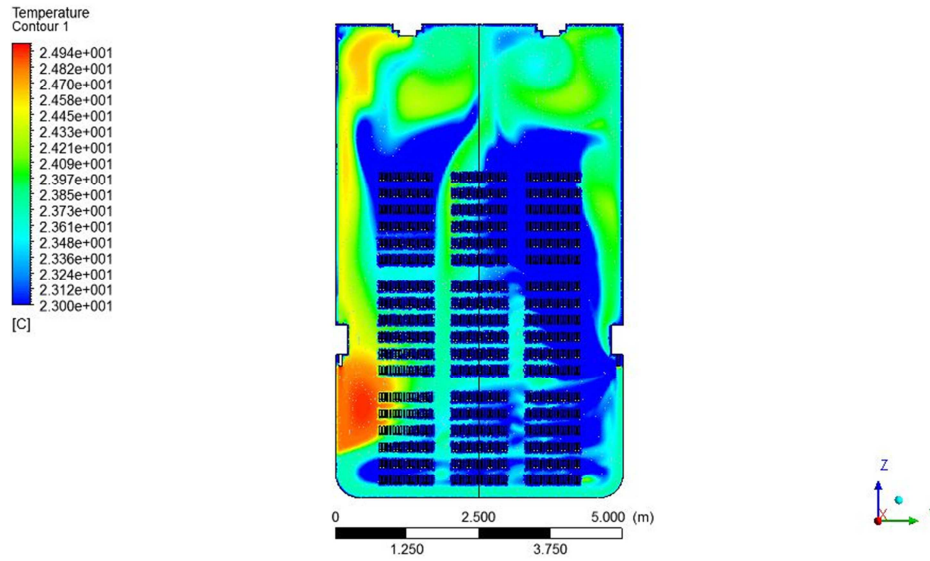


Figura 40. Distribució de temperatura 40%-60%

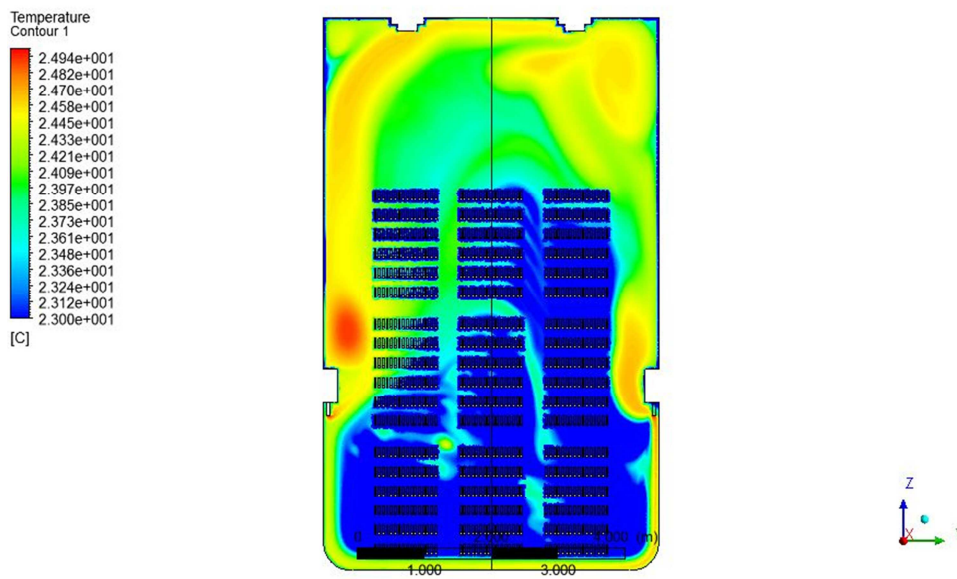


Figura 41. Distribució de temperatura 30%-70%

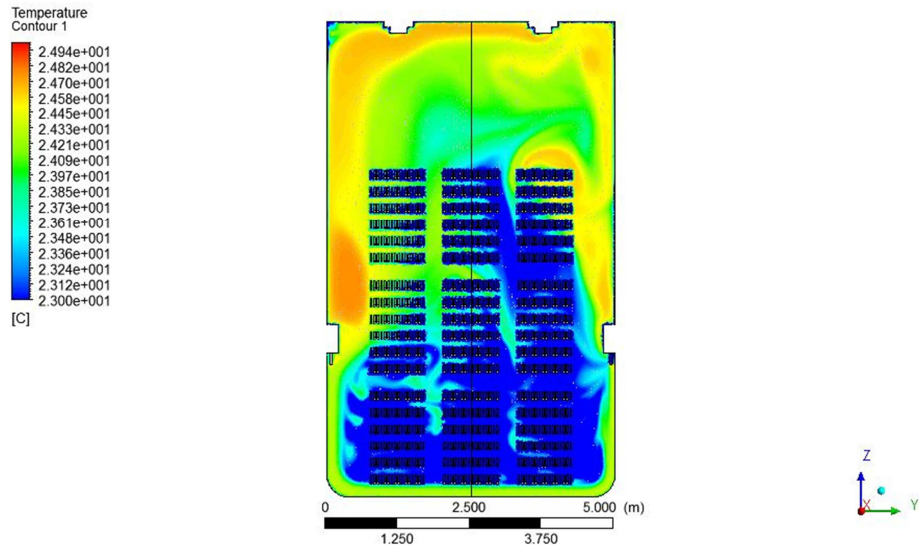


Figura 42. Distribució de temperatura 20%-80%

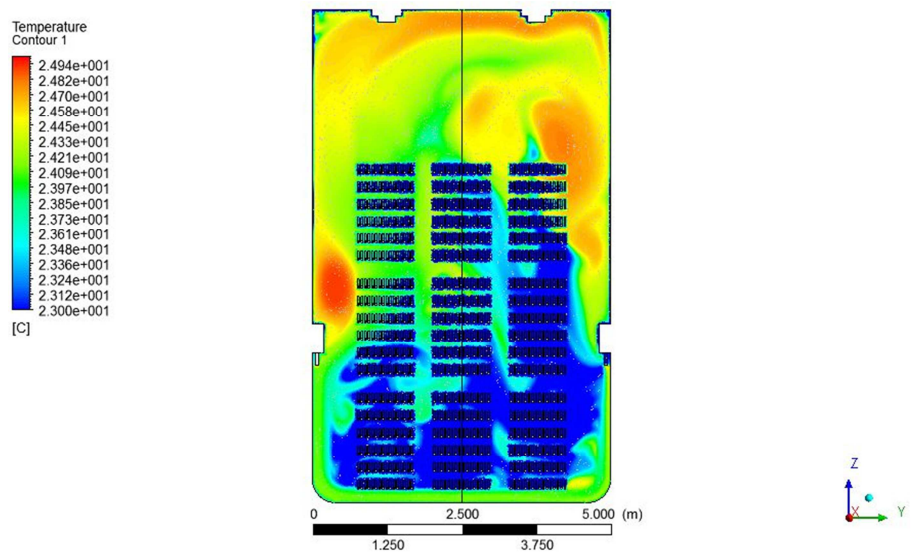
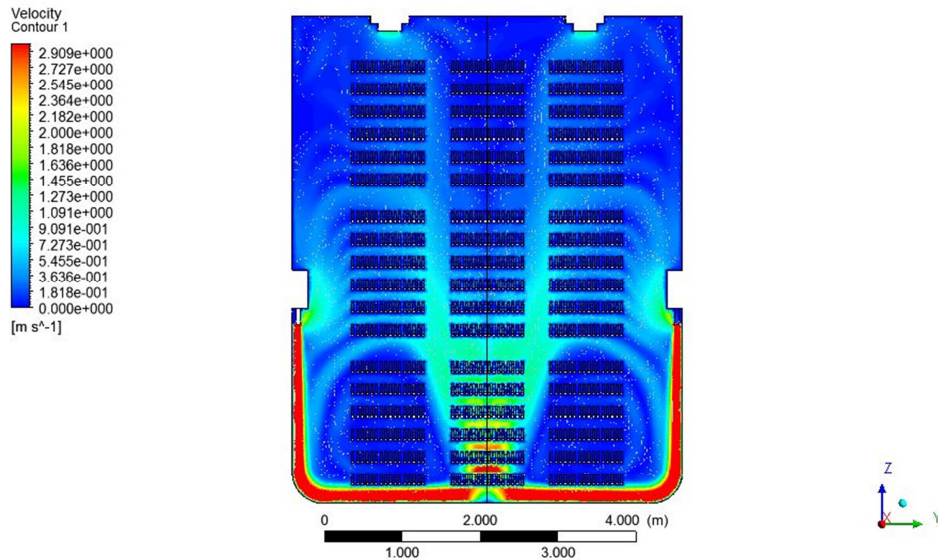
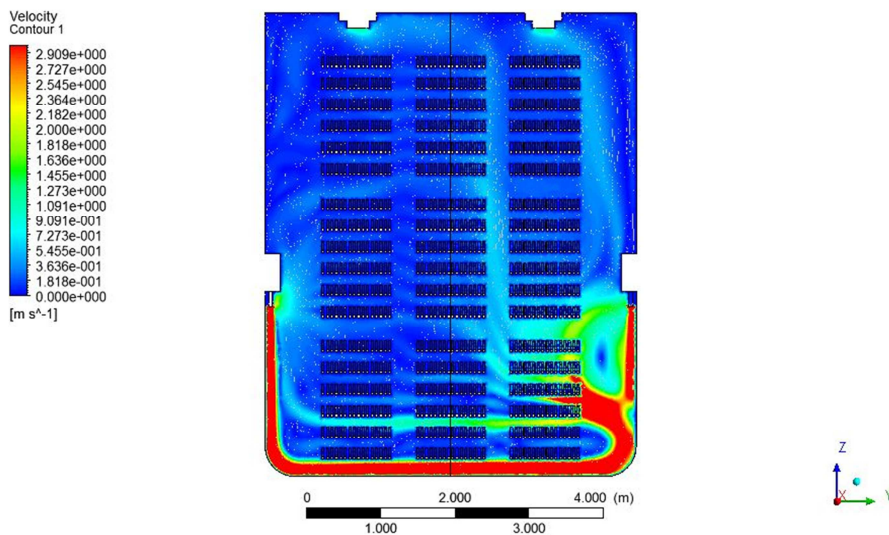


Figura 43. Distribució de temperatura 10%-90%

També s'analitzarà com es comportaria l'assecador si tingues una alçada inferior a la proposada per l'instal·lador, en aquest cas de 6,25 metres. Els casos analitzats tornaran a ser els mateixos que anteriorment. Inicialment es trobaran les imatges del flux d'aire per les diferents configuracions dels sortidors.



**Figura 44.** Representació de flux d'aire 50%-50%



**Figura 45.** Representació de flux d'aire 60%-40%

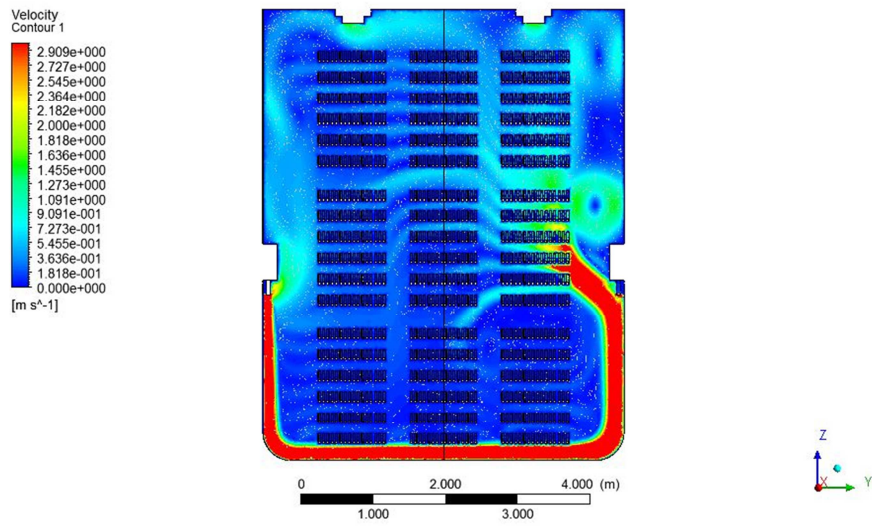


Figura 46. Representació de flux d'aire 70%-30%

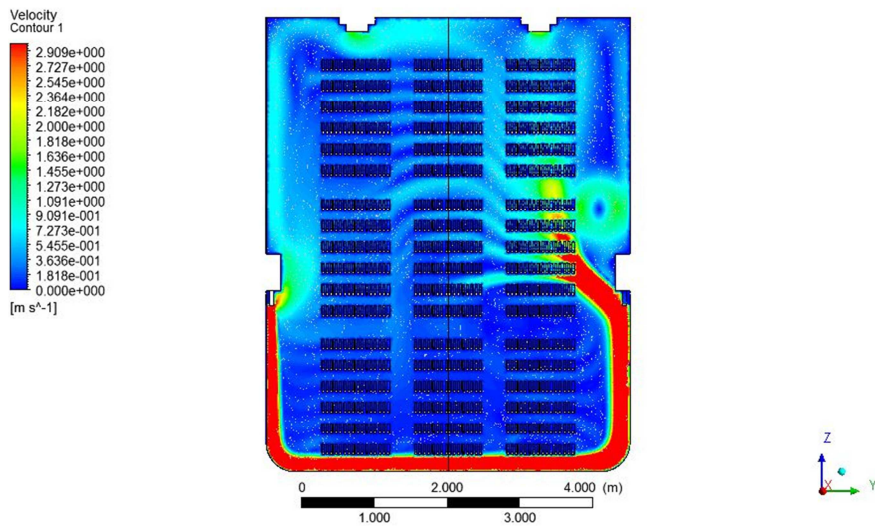


Figura 47. Representació de flux d'aire 80%-20%

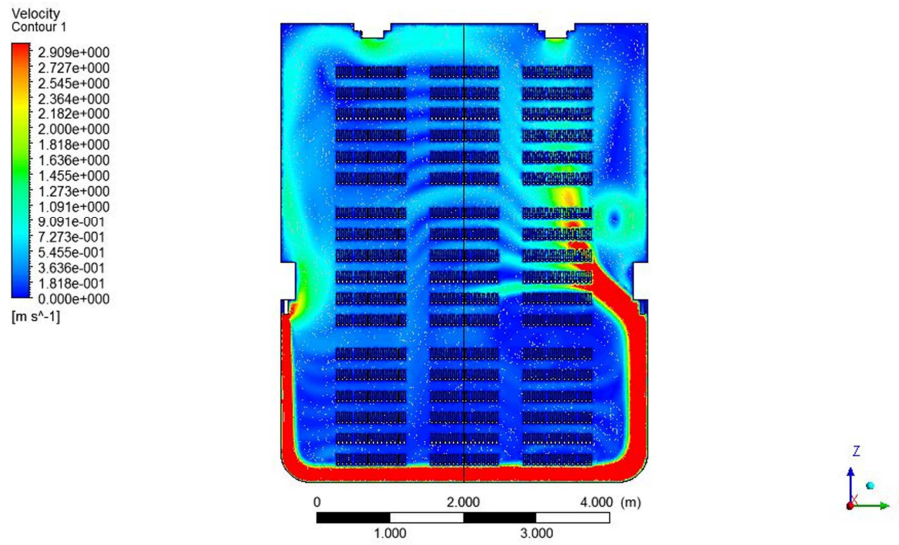


Figura 48. Representació de flux d'aire 90%-10%

Igual que en els casos anterior, s'analiza el flux de temperatura que tindria l'assecador per les diferents configuracions.

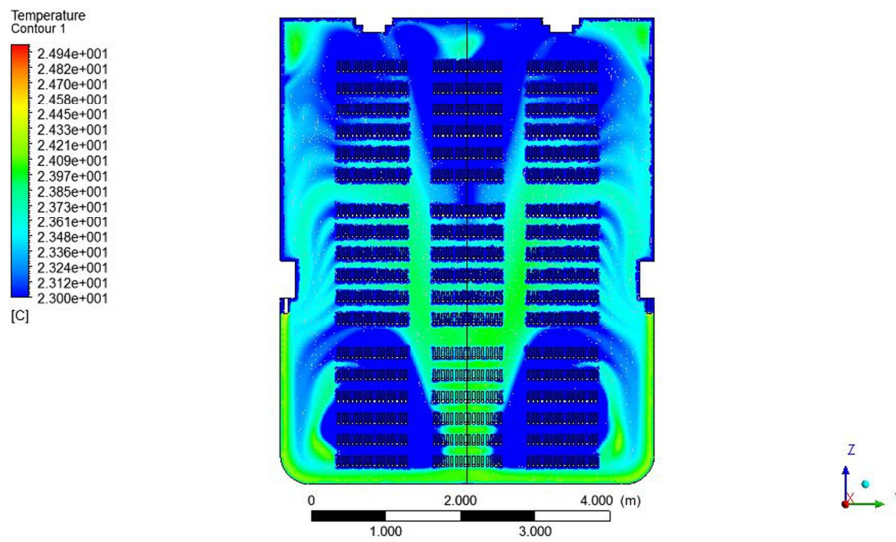


Figura 49. Distribució de temperatura 50%-50%

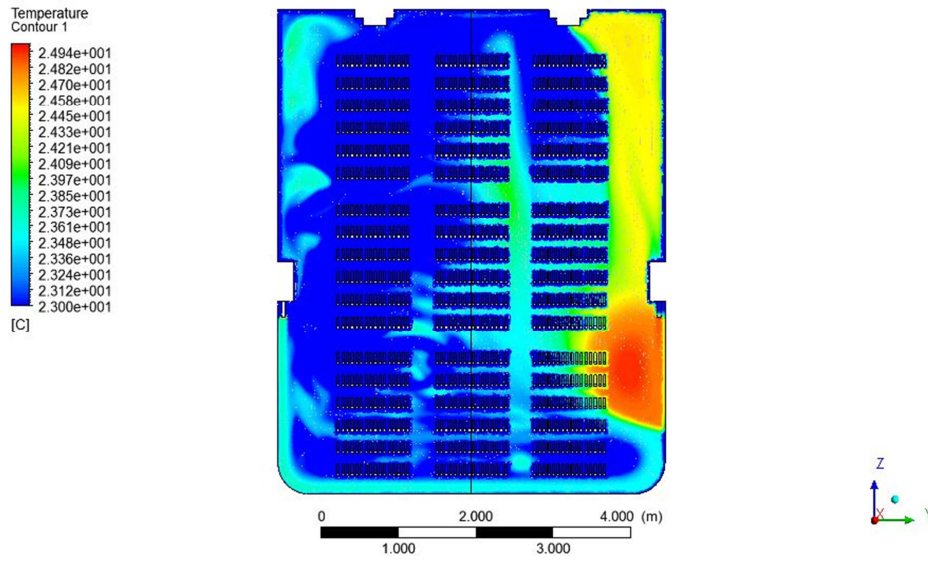


Figura 50. Distribució de temperatura 60%-40%

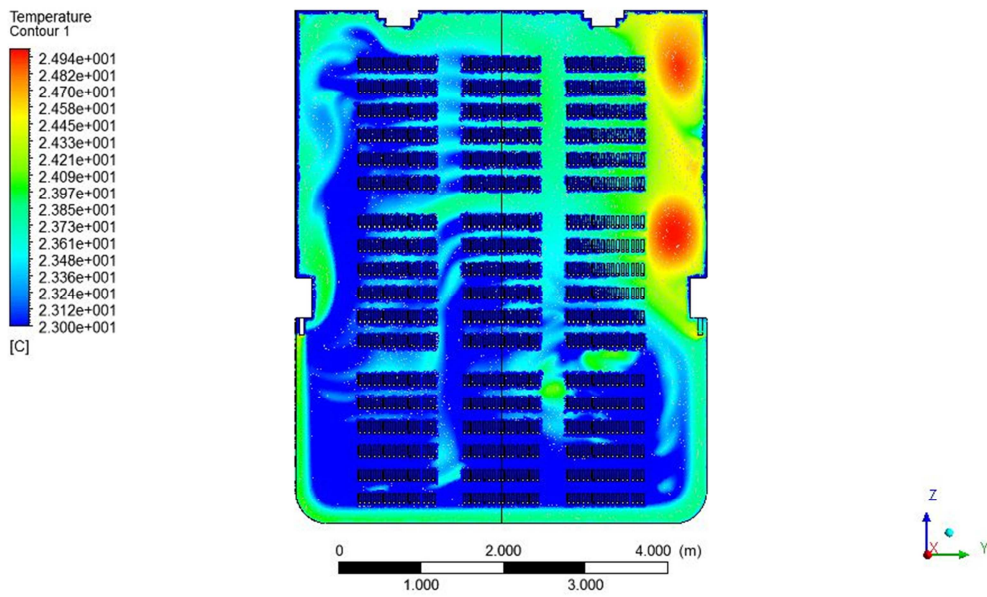


Figura 51. Distribució de temperatura 70%-30%



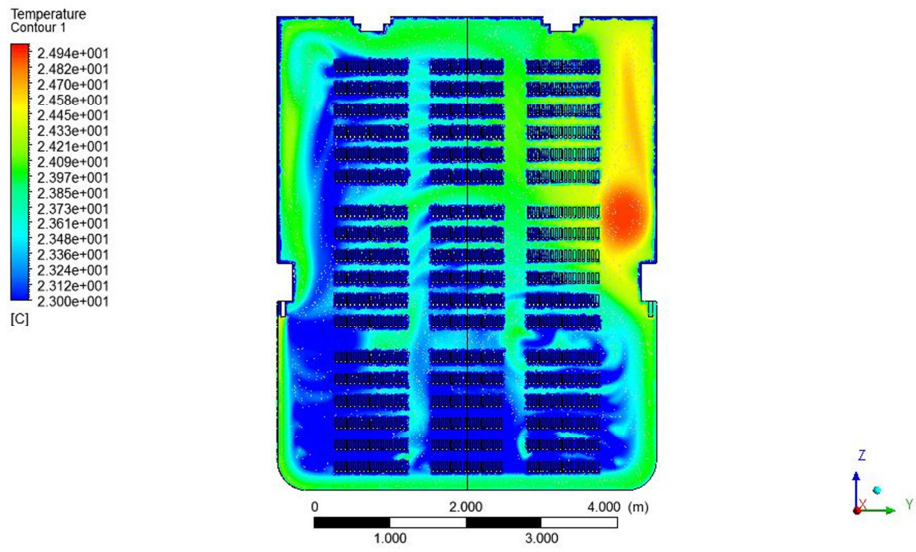


Figura 52. Distribució de temperatura 80%-20%

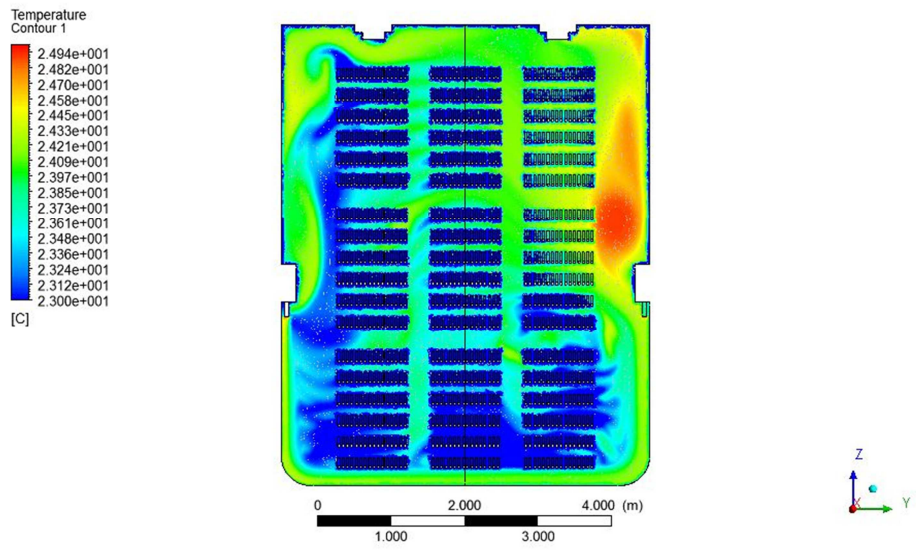


Figura 53. Distribució de temperatura 90%-10%

Seguidament s'analitzarà com es comportaria l'assecador si tingués un radi inferior més petit que el proposat per l'instal·lador, en aquest cas de 30 centímetres, respecte els 40 cm aconsellats. Els casos analitzats seran els mateixos que anteriorment, primerament s'analitza el flux d'aire per les diferents configuracions dels sortidors.

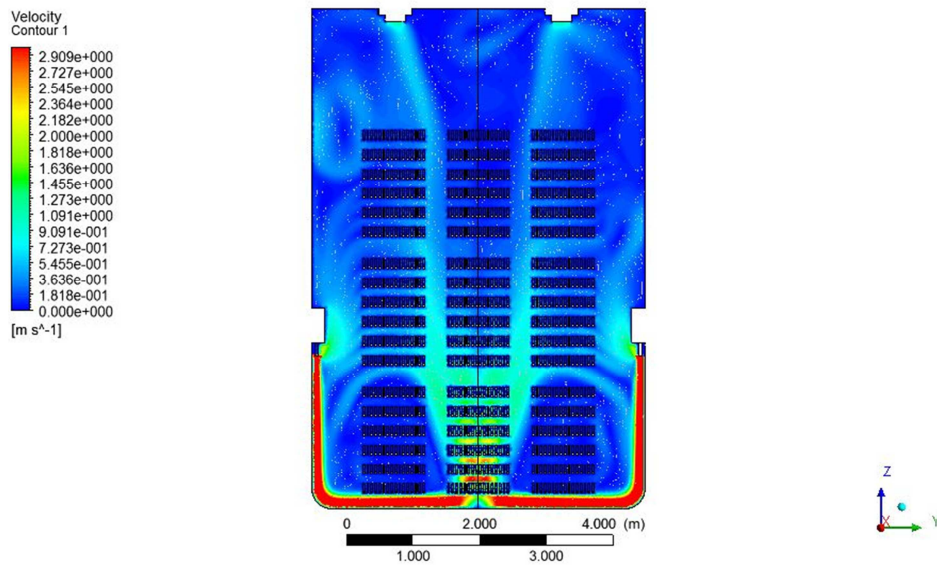


Figura 54. Representació de flux d'aire 50%-50%

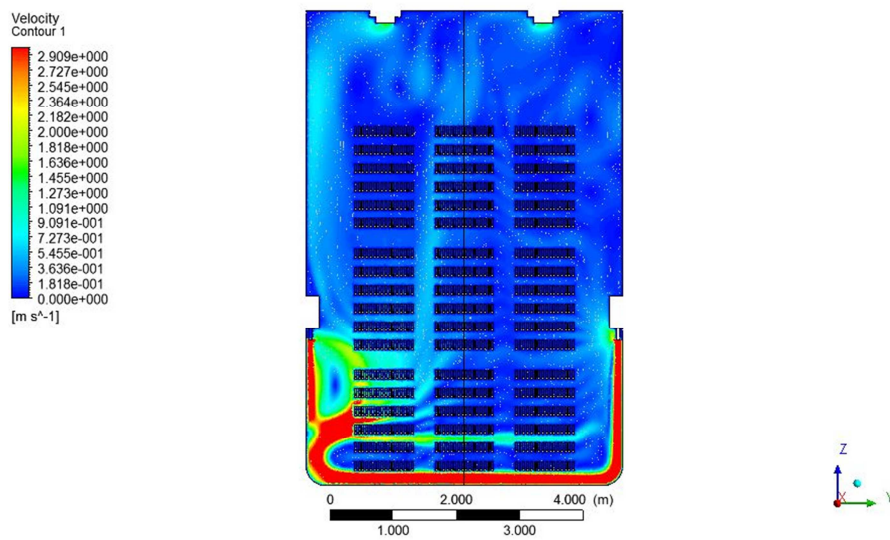


Figura 55. Representació de flux d'aire 40%-60%

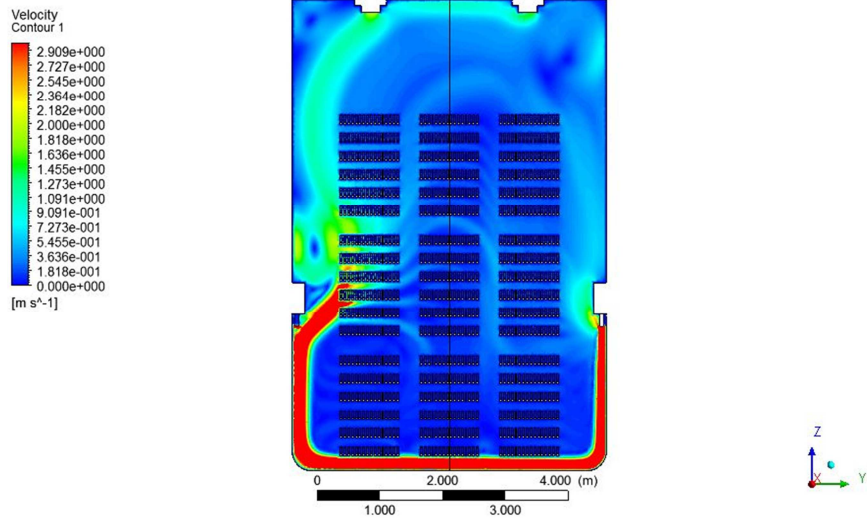


Figura 56. Representació de flux d'aire 30%-70%

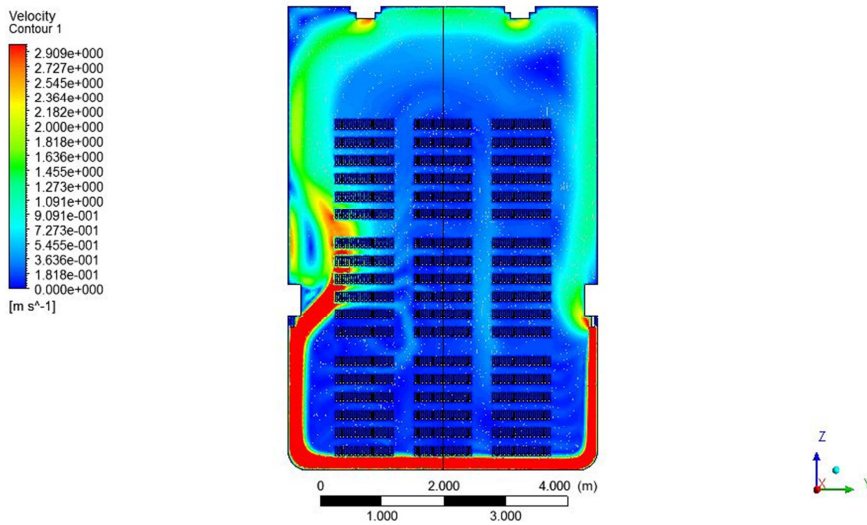


Figura 57. Representació de flux d'aire 20%-80%

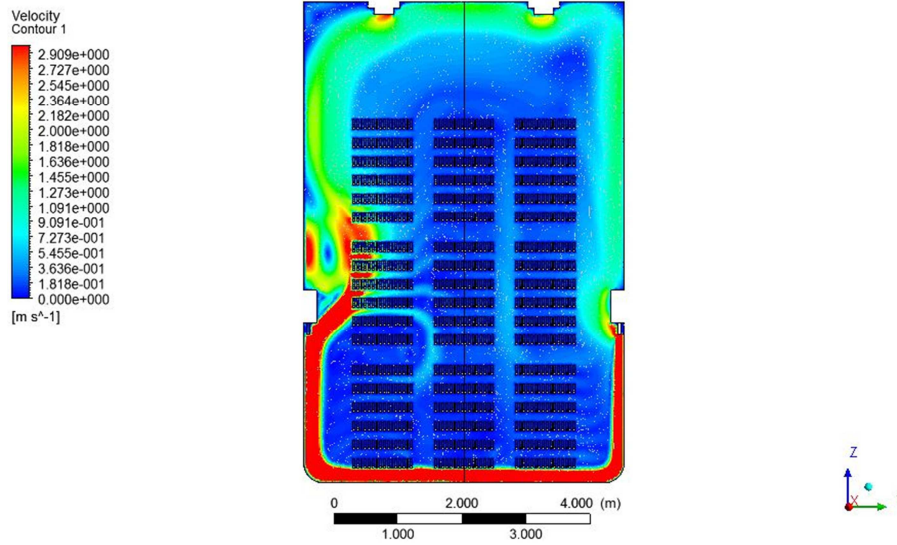


Figura 58. Representació de flux d'aire 10%-90%

Igual que en el cas anterior, s'analitza el flux de temperatura que tindria l'assecador per les diferents configuracions.

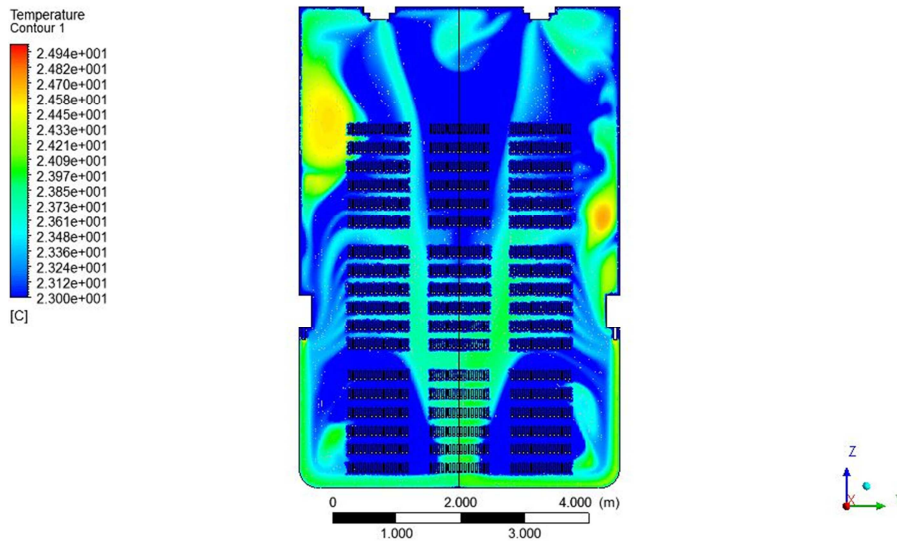


Figura 59. Distribució de temperatura 50%-50%

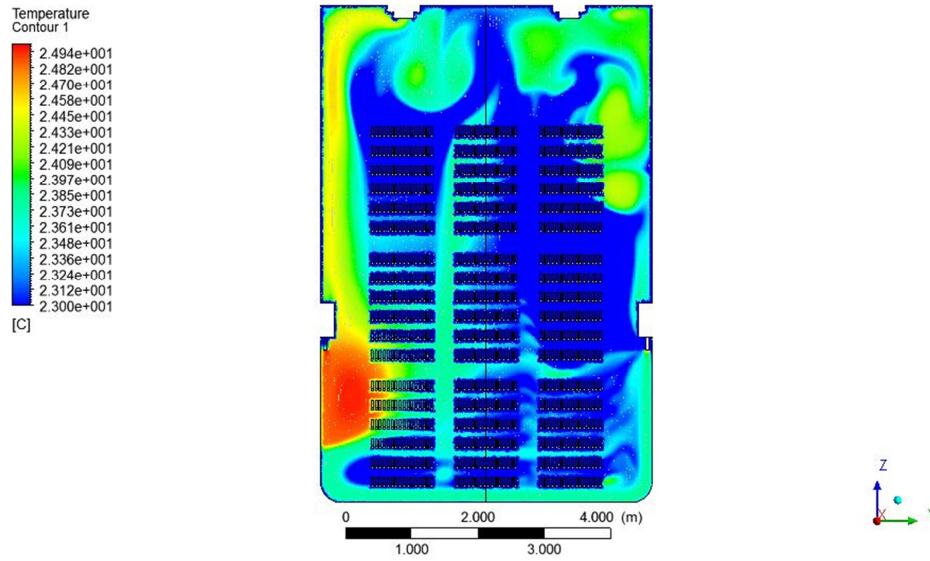


Figura 60. Distribució de temperatura 40%-60%

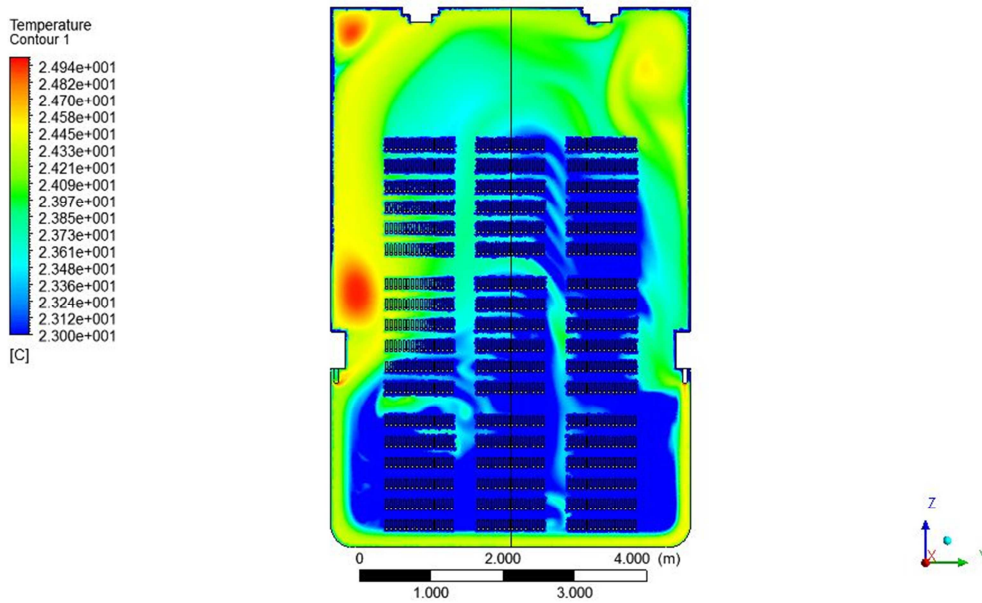


Figura 61. Distribució de temperatura 30%-70%

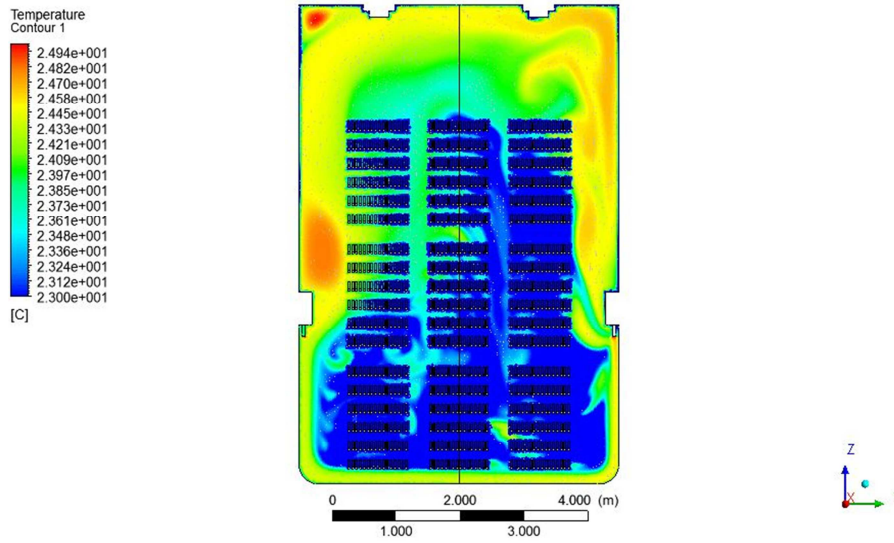


Figura 62. Distribució de temperatura 20%-80%

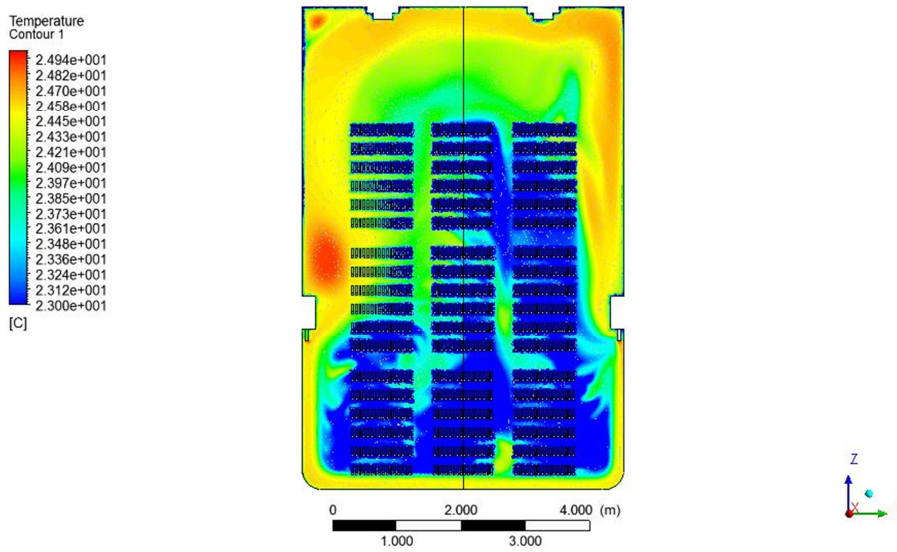
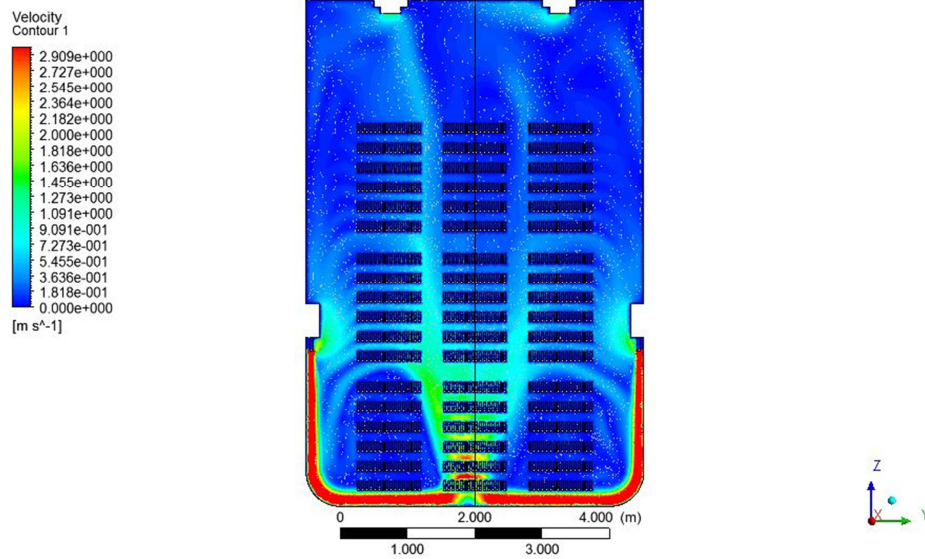
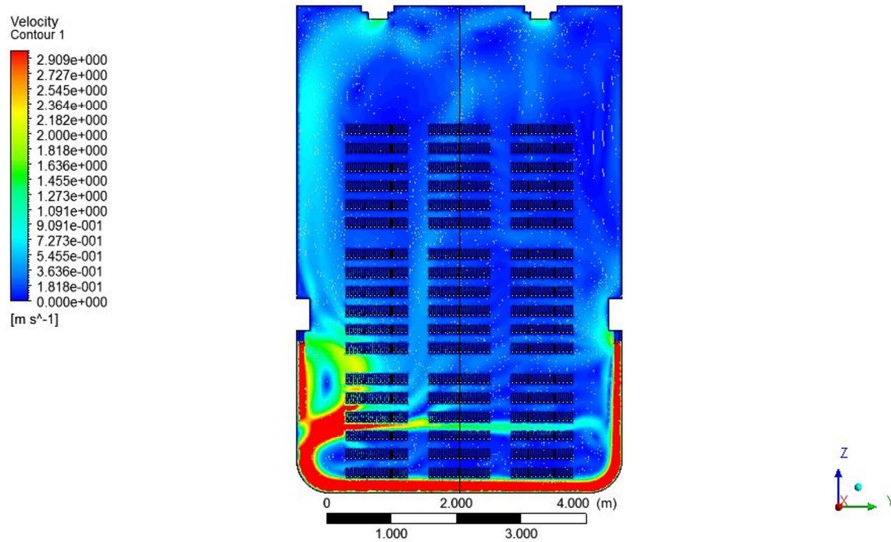


Figura 63. Distribució de temperatura 10%-90%

Per acabar, s'analitza l'assecador amb un radi inferior més gran, en aquest cas de 50 centímetres.



**Figura 64.** Representació de flux d'aire 50%-50%



**Figura 65.** Representació de flux d'aire 40%-60%

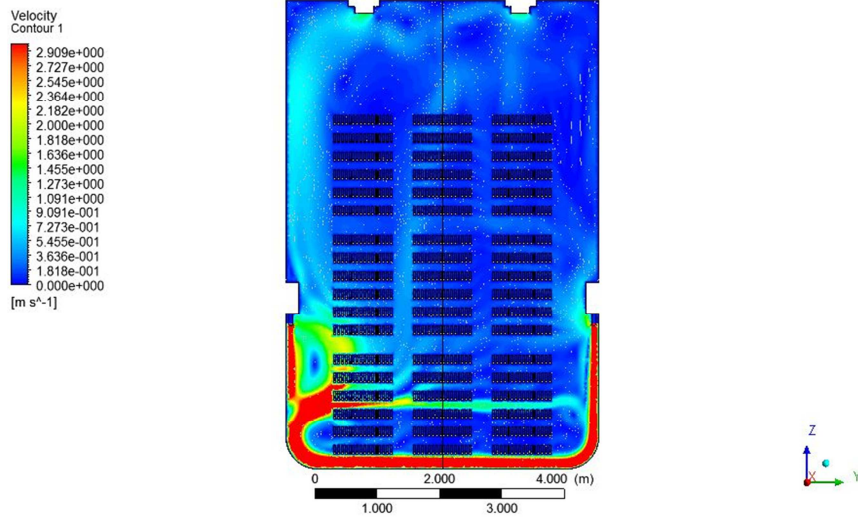


Figura 66. Representació de flux d'aire 30%-70%

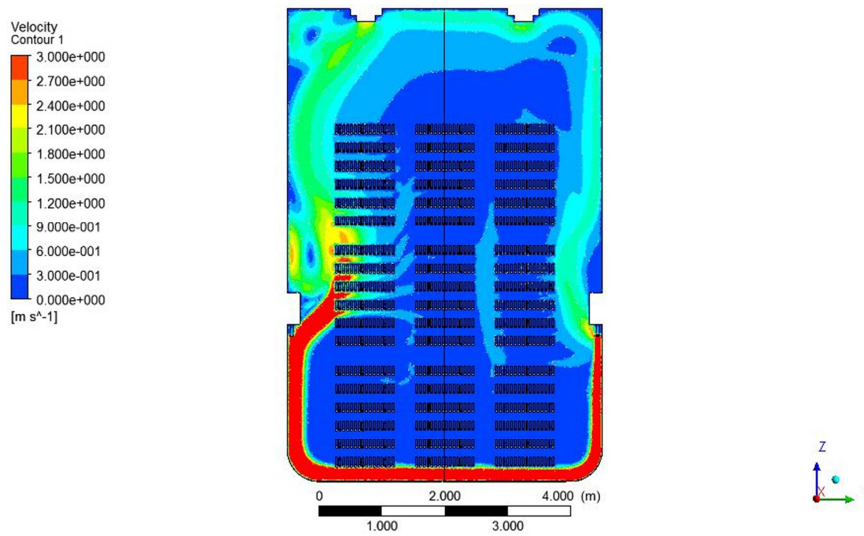
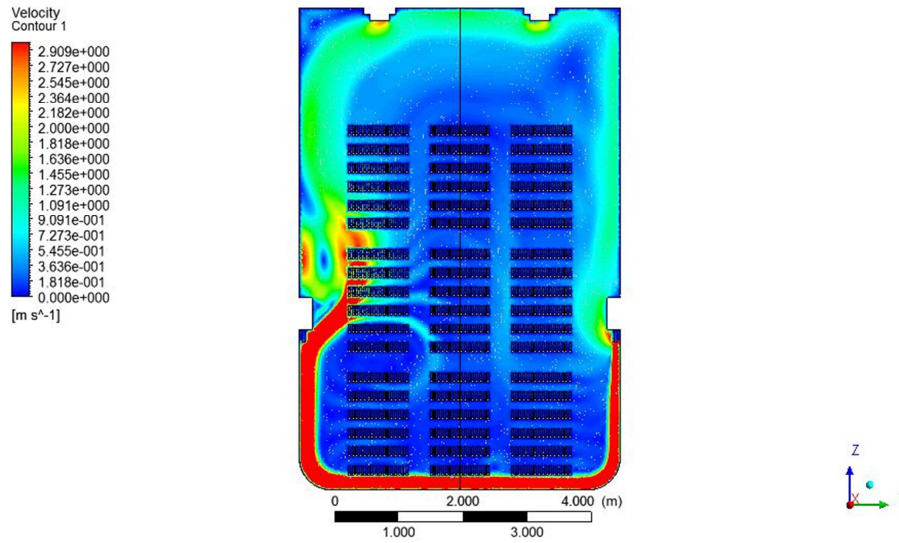


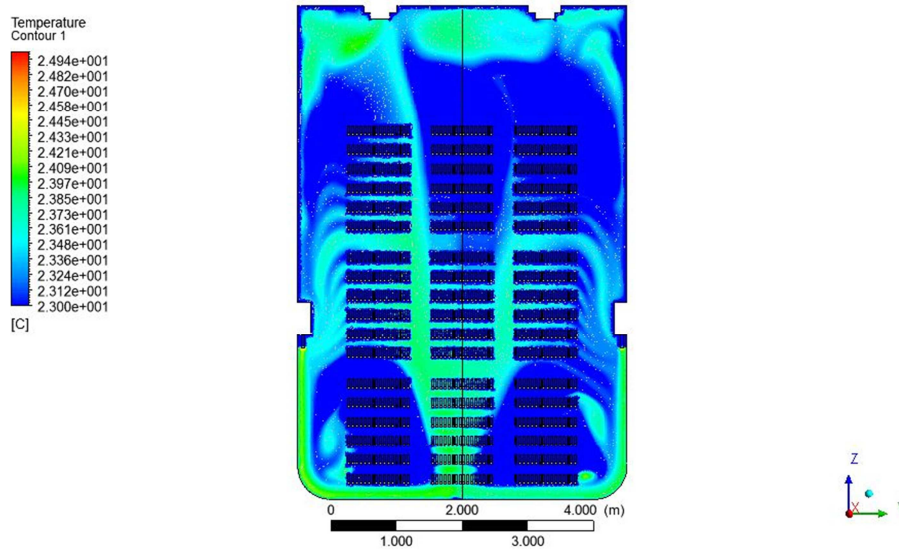
Figura 67. Representació de flux d'aire 20%-80%





**Figura 68.** Representació de flux d'aire 10%-90%

Des d'aquesta imatge, es troben els resultats obtinguts del flux de temperatura per les diferents configuracions.



**Figura 69.** Distribució de temperatura 50%-50%

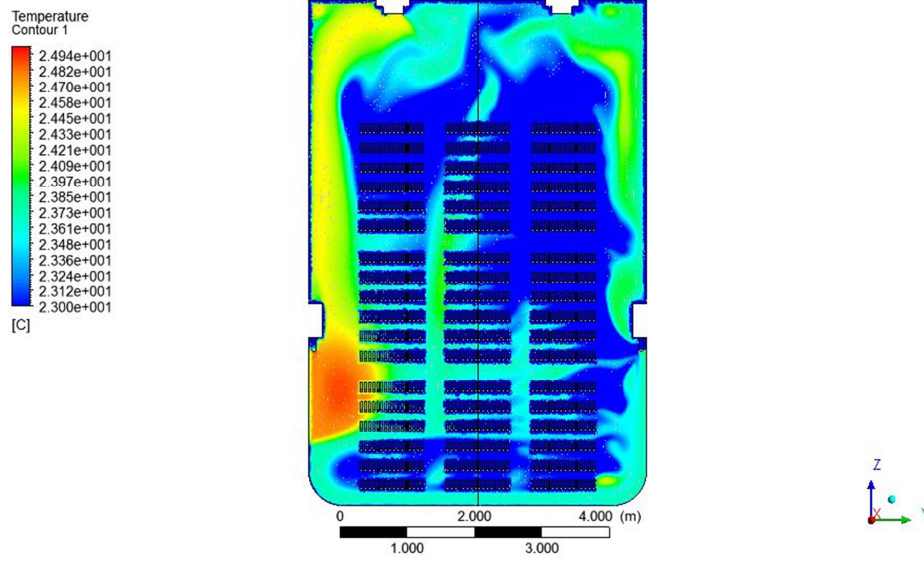


Figura 70. Distribució de temperatura 40%-60%

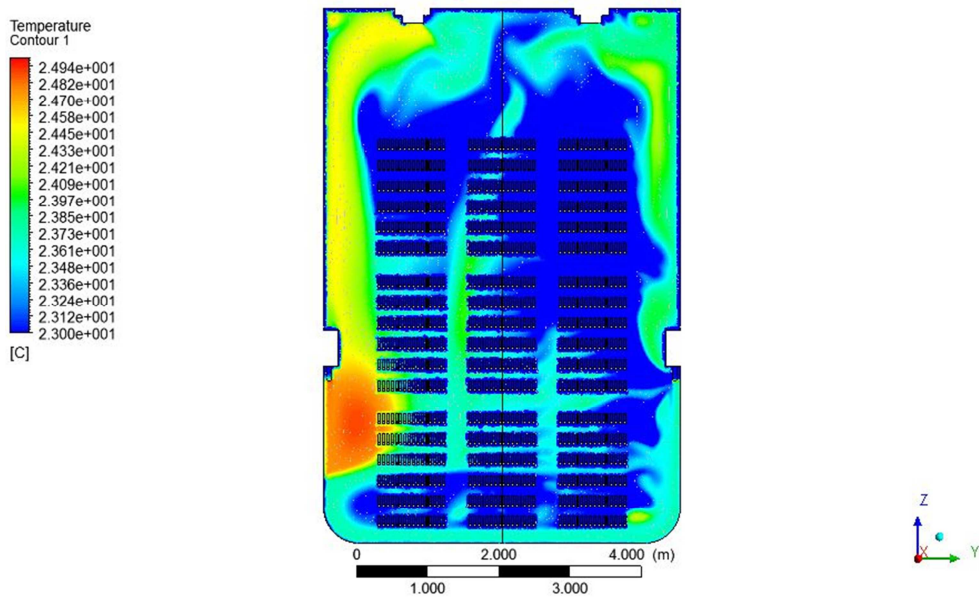


Figura 71. Distribució de temperatura 30%-70%

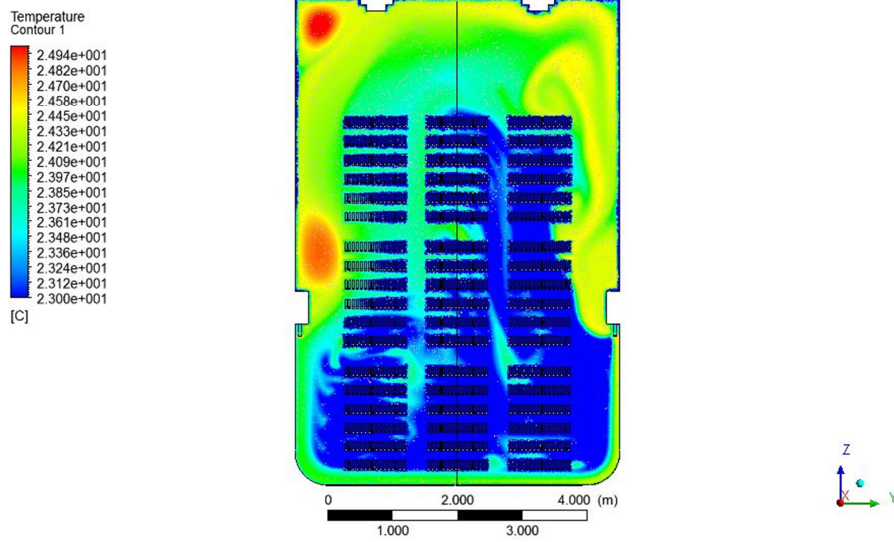


Figura 72. Distribució de temperatura 20%-80%

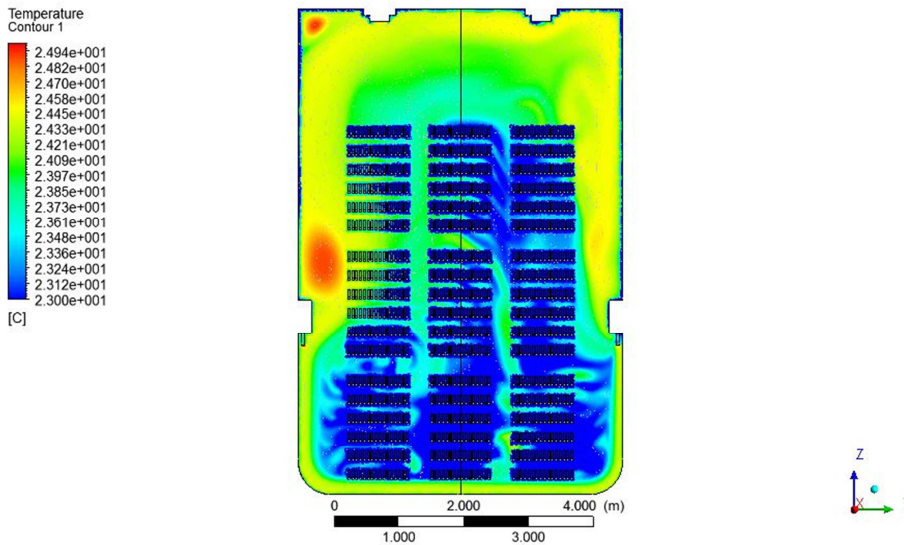
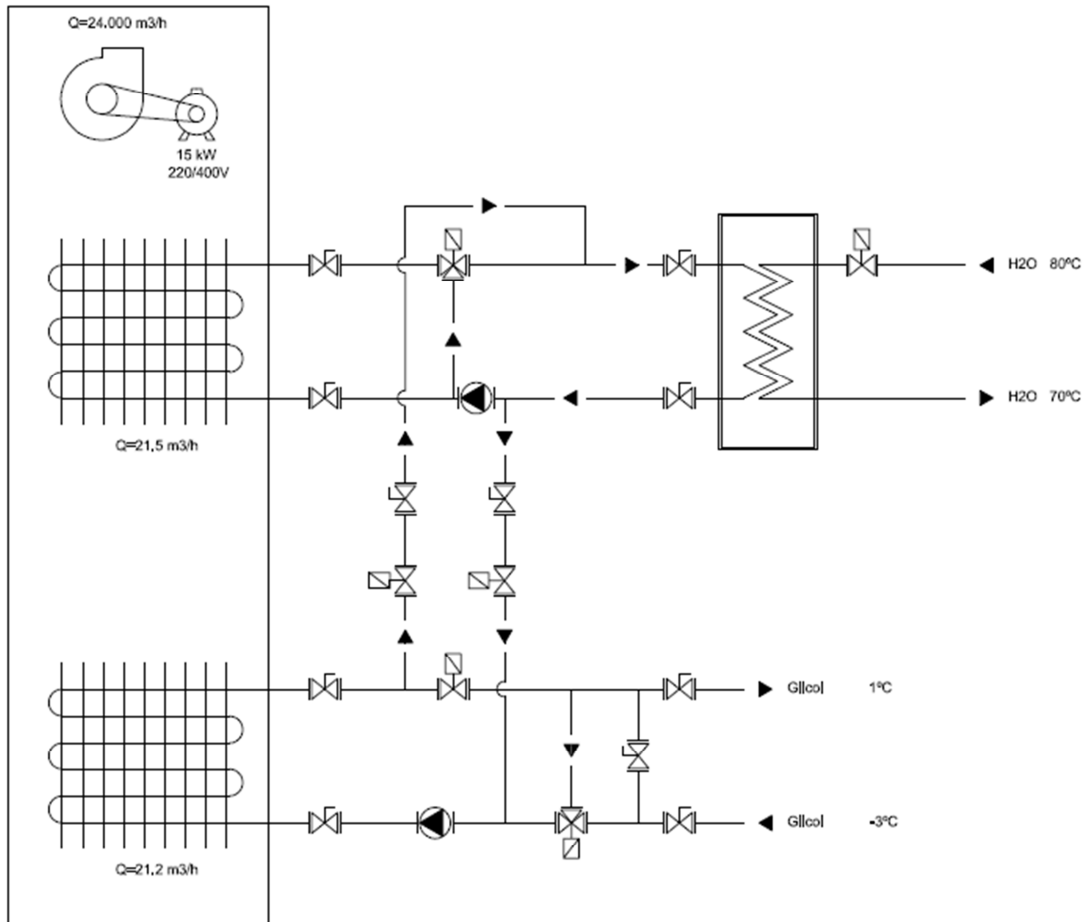


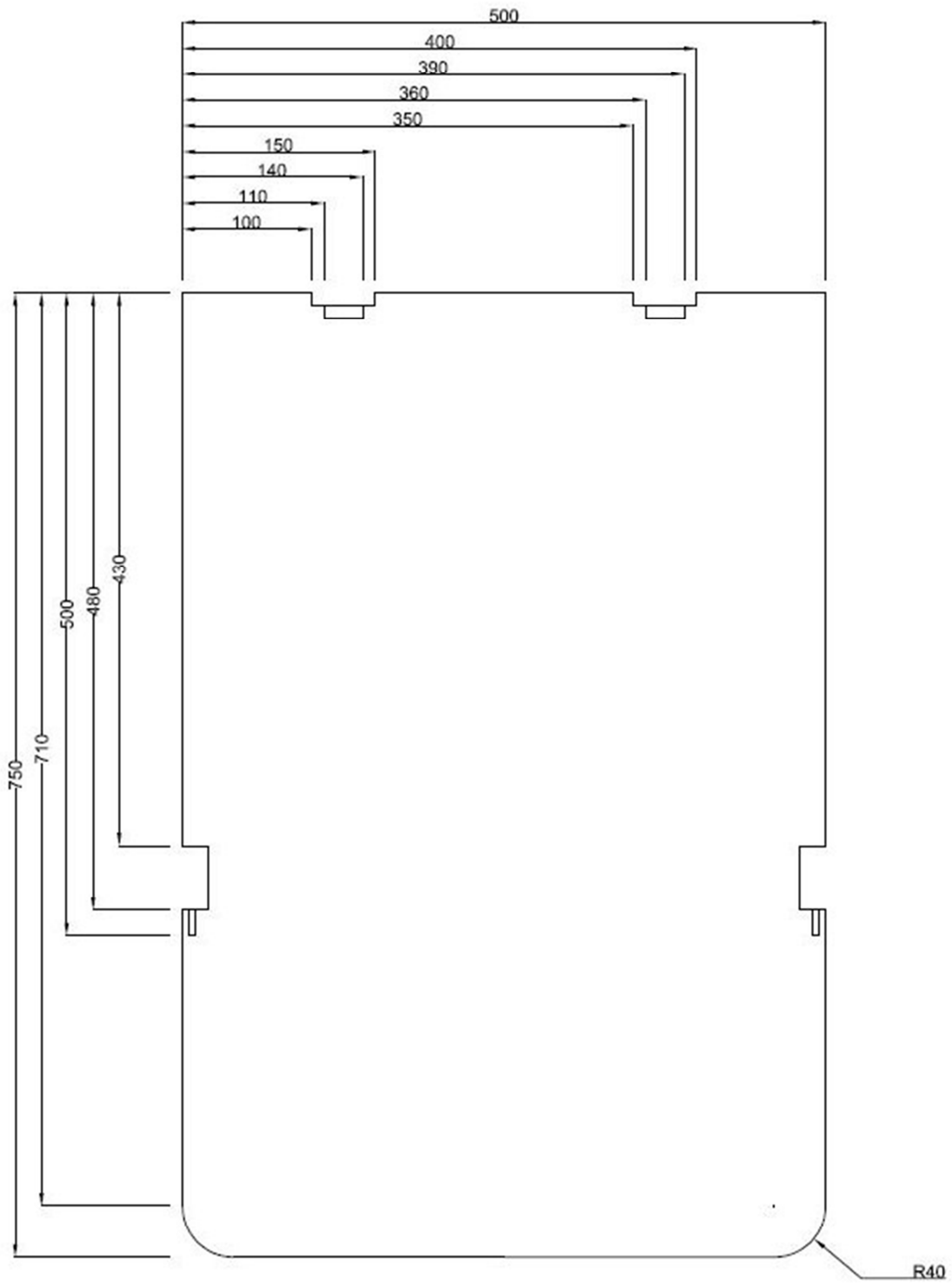
Figura 73. Distribució de temperatura 10%-90%

A més a més, al document 2. CD es poden trobar els vídeos tan de flux d'aire com de la distribució de temperatura, des de l'instant inicial en que es troba l'assecador a temperatura ambient fins a un estat estacionari, entrant diferents proporcions d'aire a vint-i-cinc graus pels conductes laterals.

## ANNEX E. DIAGRAMES TÈCNICS



*Figura 74. Diagrama procés*



**Figura 75.** Alçat assecador (cotes en centímetres)

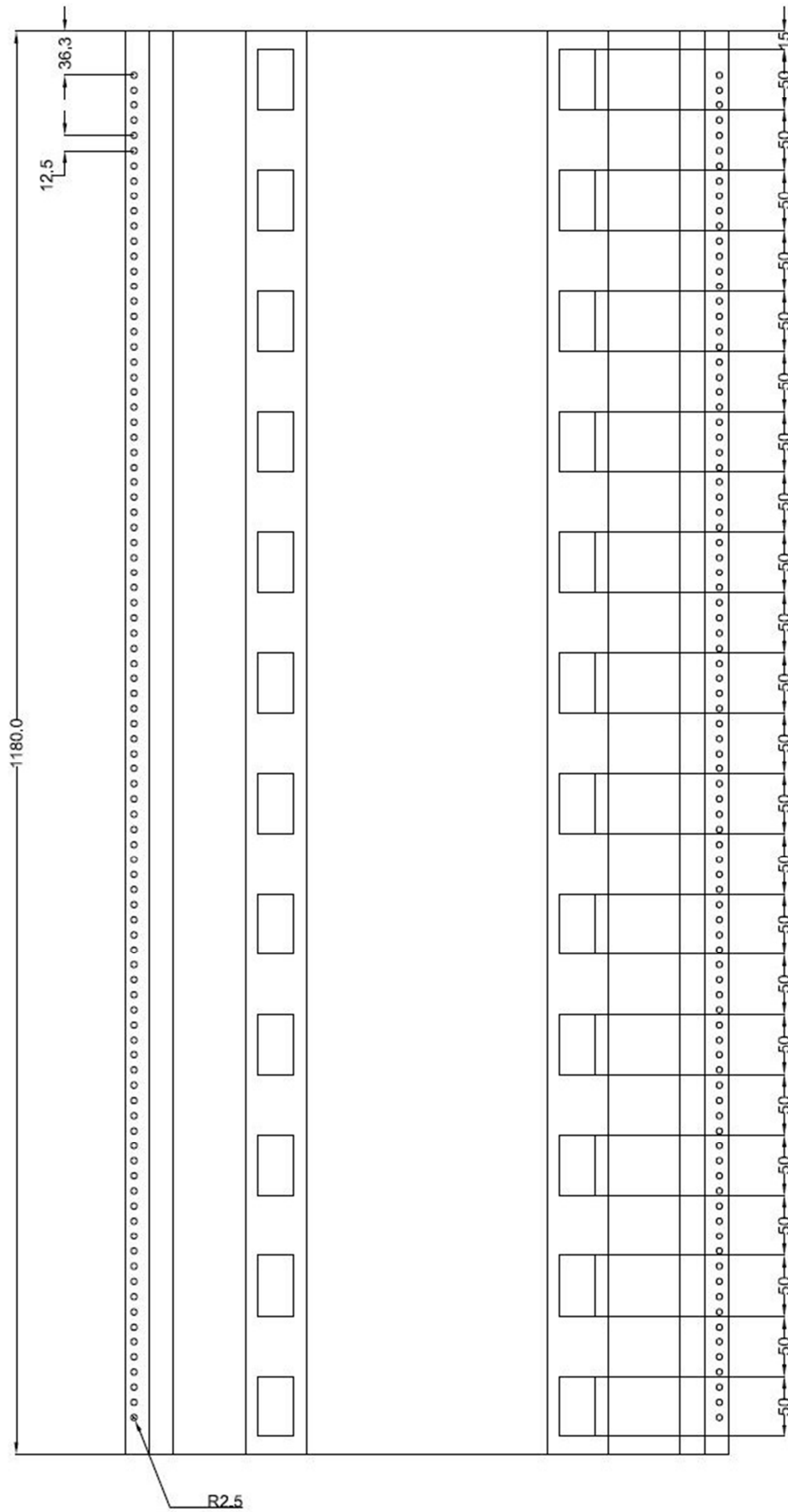


Figura 76. Planta assecador (cotes en centímetres)

## ANNEX F. PRESSUPOST

A la següent taula es presenta el pressupost d'aquest projecte:

Concepte	Temps (h)	Unitats	Preu unitari (€/h)	Preutotal (€)
Treball de camp	3,00	1	30,00	90,00
Geometria i mallat	3,00	5	30,00	450,00
Pre-procés	0,50	25	30,00	375,00
Resolució equacions	5,00	25	10,00	1250,00
Post-procés	0,50	25	30,00	375,00
Post-procés -videos-	8,00	10	30,00	2400,00
Analitzar resultats	6,00	1	50,00	300,00
<b>TOTAL COST DIRECTE</b>				<b>5240,00</b>
<b>COST INDIRECTE</b>				<b>786,00</b>
<b>TOTAL SENSE IVA</b>				<b>6026,00</b>
<b>21% IVA</b>				<b>1265,46</b>
<b>TOTAL</b>				<b>7291,46</b>

El cost indirecte aplicat és igual al 15% del cost directe.