

RESUM

L'objectiu del treball és l'estudi de l'estat de l'aire refrigerat per bigues de fred passives. Ens interessa l'efecte que té sobre l'estat de l'aire, la temperatura de treball del bescanviador de calor i la variació de tamany d'habitació. Farem l'experiment amb 2 geometries de biga diferents. Veure'm que passa amb una tercera geometria i, en habitacions grans refrigerades per varies bigues fredes.

Per corroborar els resultats d'una simulació es necessita fer l'experiment físic, en aquest projecte només s'ha fet el treball de simulació previ.

Per realitzar l'estudi s'ha utilitzat openFoam, un entorn de simulació lliure que tot i ser, inicialment, més complex, amb el temps permet arribar a fer grans estudis sense necessitat de costoses llicències. Aquest programa s'està incorporant ràpidament en l'àmbit docent.

L'entorn de CDF ha permès simular situacions hipotètiques sense necessitat d'un experiment físic. S'han generat diverses situacions possibles i se n'han valorat els resultats. Per l'anàlisi s'han processat els resultats utilitzant paraView.

En el treball es descriuen les subFuncions d'openFoam utilitzades.

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto, es el estudio del estado del aire refrigerado por bigas frías pasivas. Nos fijaremos en el efecto que tiene sobre el estado del aire, la temperatura de trabajo i la variación en el tamaño de habitación. Haremos el experimento con 2 geometrías de biga distintas. Veremos que ocurre con una tercera geometría i, en habitaciones grandes refrigeradas por varias bigas frías.

Para corroborar los resultados de una simulación se necesita realizar el experimento físico, en este proyecto, se ha realizado el trabajo de simulación previo.

Para realizar el estudio se ha utilizado openFoam, un entorno de simulación libre, dificultoso en el aprendizaje i de gran importancia en el ámbito docente. El entorno una vez adquirida experiencia permite realizar grandes estudios sin necesidad de pagar costosas licencias.

Este programa ha permitido simular situaciones hipotéticas sin necesidad de un experimento físico. Se han generado diversas situaciones posibles i se han

valorado los resultados. Para el análisis se han procesado los resultados con paraView.

En el trabajo se describen las subfunciones de openFoam usadas.

ABSTRACT

The aim of this project is study the state of the air refrigerated by passive chilled beams.

To validate the results of a simulation it's needed do a physical experiment, in this project, can just be found the simulation part.

In order to do the study has been used openFoam, a free software program of CFD. The program it's difficult to learn at beginning, but with time, allows simulating complex studies without paying expensive licenses.

OpenFoam, allows simulate hypothetical situations without any physical experiment required. Possible situations has been generated and analyzed. The analysis has been processed with paraView.

Used openFoamsubFunctions are described in the project.

AGRAÏMENTS

A Joan Grau, director del PFC, per oferir-me la possibilitat de realitzar aquest projecte i la seva constant ajuda.

A Jordi Muela, per tota l'ajuda tècnica durant l'aprenentatge d'openFoam.

Objectiu

L'objectiu Principal del projecte és analitzar els sistemes ja existents de climatització mitjançant bigues de fred, per a conèixer les característiques d'aquests, poder-les comparar, analitzar el seu funcionament en diferents estats de treball i veure'n el comportament en habitacions de tamany diferent. Aquest procés inclou:

- Entendre el funcionament de les Bigues fredes.
- Analitzar alguns del paràmetres que afecten al seu funcionament.

El projecte es un mitjà de formació per l'alumne, que accedeix d'aquesta manera al coneixement d'un programa d'anàlisi CFD, concretament openFoam.

- Entendre el funcionament del CFD i les equacions principals que el regeixen
- Conèixer el funcionament a nivell d'usuari d'openFoam.
- Crear una documentació que pugi ser utilitzada com a exemple durant la introducció en les simulacions amb openFoam.
- Interpretació i anàlisi de resultats.

Finalment el projecte ha de servir per a consolidar i aplicar els coneixements adquirits durant la carrera.

Abast del projecte

Un anàlisis complert, consta d'un treball previ en CFD i la validació del model realitzant un experiment físic. En aquest projecte només s'ha realitzat el treball d'anàlisis en CFD.

Per a poder analitzar l'estat de l'aire en una secció refrigerada per una biga freda i les seves variacions en funció dels diferents paràmetres, s'han creat diversos casos.

- 3x2,5m $T_{\text{tubs}}=14^{\circ}\text{C}$ geometria biga1
- 3x2,5m $T_{\text{tubs}}=14^{\circ}\text{C}$ geometria biga2
- 5x2,5m $T_{\text{tubs}}=14^{\circ}\text{C}$ geometria biga1
- 5x2,5m $T_{\text{tubs}}=14^{\circ}\text{C}$ geometria biga2
- 3x2,5m $T_{\text{tubs}}=16^{\circ}\text{C}$ geometria biga1
- 3x2,5m $T_{\text{tubs}}=16^{\circ}\text{C}$ geometria biga2
- Sala llarga, distància entre bigues 3,5m, $h=2,5\text{m}$, $T_{\text{tubs}}=14^{\circ}\text{C}$ geometria biga1
- 3x2,5m $T_{\text{tubs}}=16^{\circ}\text{C}$ Biga freda penjada, entrada superior

No inclou l'estudi de la humitat

Motivació

He aprofitat l'oportunitat que m'oferia el departament de Climatització de la facultat. He elegit aquest projecte perquè es un tema que m'atrau i em permet seguir formant-me.

Els anàlisis en CFD son utilitzats actualment per empreses i centres de recerca. El projecte m'introdueix en aquests tipus d'anàlisis que no he tingut la sort d'utilitzar durant la carrera i que son presents al mon laboral.

La simulació em permet aplicar coneixements adquirits durant la carrera, especialment de les assignatures:enginyeria tèrmica, fluidodinàmica, fonaments de climatització, i les assignatures que les introdueixen.

El projecte em permet afegir la meva petita contribució en la millora i desenvolupament d'un sistema de climatització amb molt futur en el sector.

CAPÍTOL 1:

BIGUES FREDES

1.1. Bigues Fredes, què son?

Les bigues fredes són un sistema innovador de condicionament, calefacció i ventilació. Tot i que hi ha diferents variants, aquests aparells consisteixen en una estructura per facilitar l'entrada i la sortida de l'aire, i un bescanviador allotjat a l'interior, per on hi circula un fluid a temperatura baixa, que, per convecció, extreu energia en forma calorífica a l'aire que el travessa. Per a un correcte funcionament d'aquests aparells, es desitjable que l'aire fred faci un circuit que ocupi tota l'habitació, es a dir aconseguir que l'aire fred s'escampi per l'habitació.

És un sistema que ofereix unes condicions tèrmiques ideals, es silencios i enèrgicament eficient. És reversible, la mateixa estructura pot servir per baixar la temperatura a l'estiu o augmentar-la a l'hivern.

Les bigues fredes, des del punt de vista tècnic tenen diversos avantatges, que fan interessant el seu desenvolupament.

- Es un sistema que no utilitza desaigües, per tant no hi ha drenatges, recollida de condensats, ni risc del cultiu indesitjat de bacteries, virus o larves.
- Existeixen diferents possibilitats amb bigues fredes, actives i passives, amb posició vertical o horitzontal.
- Permeten ser integrades amb les diferents geometries de falç sostre o adaptats als requeriments arquitectònics.

- El cost de manteniment del sistema es baix, es un sistema amb poques avaries i no incorpora filtres que necessitin ser canviats.



Figura 1: biga de fred integrada al sostre

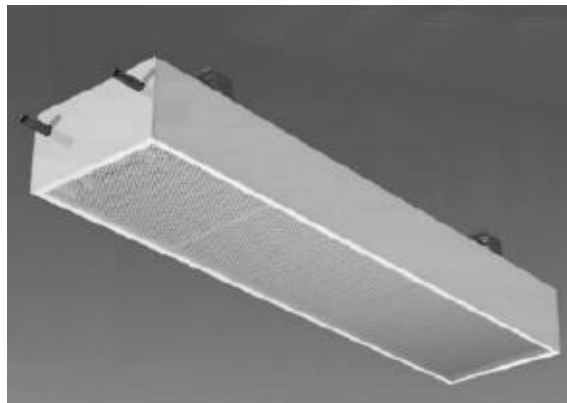


Figura 2: biga de fred amb entrada superior

1.2. Bigues fredes passives

El seu funcionament es basa en la convecció natural. La convecció es un dels tres fenòmens de transferència de calor, es caracteritza perquè es produïda per un fluid que transporta energia entre 2 zones a diferent temperatura. Els fluids quan s'escalfen augmenten de volum, provocant una disminució de la densitat que a la seu torn produeix moviment. El transport d'energia provocada per aquest fet es coneix com convecció.

La llei de Newton descriu aquest fenomen on h representa el coeficient de convecció.

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_{inf})$$

El règim de funcionament de les Bigues fredes passives varia en funció de diferents paràmetres. Depèn la geometria del bastidor, secció lliure de pas de l'aire etc.

La calor subministrada augmenta amb la superfície de les bateries, el salt tèrmic del fluid utilitzat o amb una bona geometria per aconseguir una bona convecció.

Les bigues fredes passives tenen una llargada que oscil·la entre 0.9 i 3 metres, i l'alçada ronda els 160mm, l'amplada va dels 240 als 400mm.

Ofereixen una potència que va des del 100W a 800W.

1.3. Bigues fredes actives

Les bigues fredes actives tenen un funcionament semblant a les bigues fredes passives, però consten d'un sistema d'inducció de moviment d'aire. No obstant requereixen una potència de subministrament més elevada.

1.3.1 Parts bàsiques

Tot i que hi ha diferents geometries i variacions en general les bigues fredes actives consten de les següents parts:

- Plenum d'expansió per l'aire primari amb boques de connexió horitzontal o vertical .
- Bateria de tubs amb aletes per on hi circula aigua freda (o calenta si és requereix escalfar)
- Toveres amb diferents execucions de descàrrega mecanitzades sobre panell deflector.
- Reixeta d' entrada de l'aire induït la forma del qual es pot modificar en funció de l'aspecte desitjat.
- Difusor lineal per a d'impulsió de l'aire una vegada barrejat i tractat.

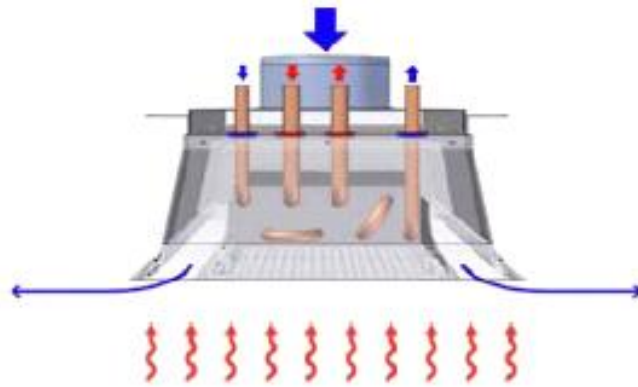


Figura 3: Esquema biga de fred 1

1.3.2 Principi de funcionament

S'aporta aire primari a través del plenum d'expansió. L'aire arriba a una càmera proveïda de toveres, les quals impulsen l'aire primari per efecte inductiu. Aquest aire generarà un arrossegament de l'aire interior, el qual es veurà obligat a travessar la bateria de tubs proveïdes d'aletes per a optimitzar l'intercanviament de calor.

L'aire interior, ja refredat, es barreja amb l'aire primari i la barreja és injectada a l'interior del recinte per efecte Venturi.

El cabal d'aire interior abans de ser barrejat és entre 2 i 5 vegades l'aire primari.

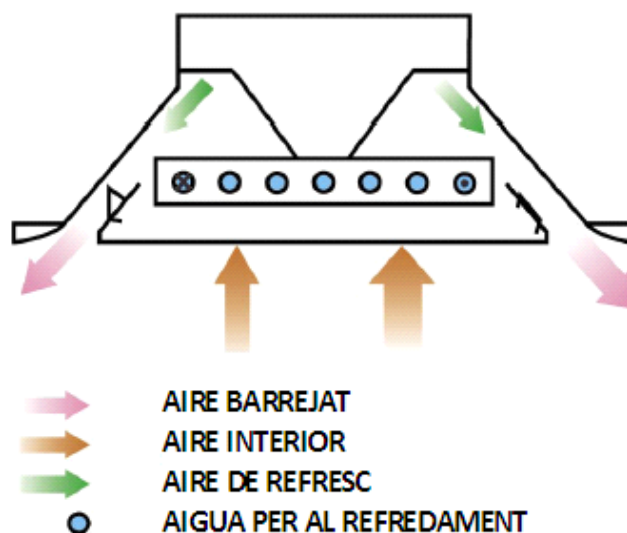


Figura 4: Esquema biga de fred 2

1.4. Objectius de la climatització

L'objectiu últim de la climatització és crear un clima ambiental agradable.

Per a aconseguir-lo es pretén controlar la temperatura, el moviment d'aire, la humitat, la renovació de l'aire i les impureses de l'aire. En aquest estudi ens centrarem en la Temperatura i el moviment de l'aire.

La temperatura recomanada a l'interior de les habitacions a Espanya, a l'estiu és de 25°C.

El moviment de l'aire a l'interior de l'habitació climatitzada, ha de garantir que no hi hagi zones amb aire estancat, i s'han de controlar les velocitats a les zones ocupades, ja que velocitats superiors a 0,3 m/s són molestes, 0,25 m/s per a persones assegudes.

1.5. Geometria utilitzada

Les geometria de la biga de fred que utilitzarem té una secció rectangular de 400mm de llarg, i 160mm d'altura. L'entrada d'aire s'ha col·locat als laterals. Una altra opció és fer l'entrada d'aire per dalt i penjar la biga a 150mm del sostre. La sortida d'aire s'ha creat al costat inferior, ja que és una biga per a ser col·locada al sostre. Algunes variants es col·loquen a les parets, i tenen l'entrada i la sortida ubicades al mateix costat però a diferent altura. Per elegir la forma i la mida de l'entrada i la sortida s'han consultat plànols i esquemes de fabricants.

Elbescanviador de la biga serà un conjunt de tubs, tal com es pot veure a la imatge.

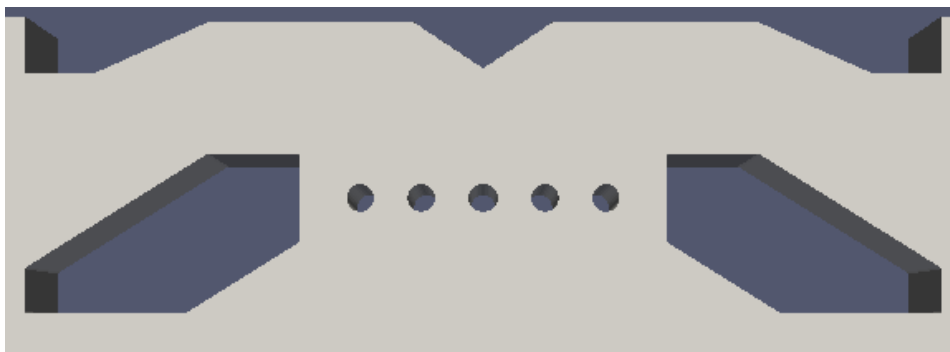


Figura 5: Geometria de biga 1

Un total de 5 tubs col·locats en línia, tenen per funció rebaixar la temperatura de l'aire que travessa la biga.

S'ha creat una segona geometria variant la quantitat de tubs, en total 11, col·locats en 2 files, l'entrada i la sortida d'aire es mantenen igual.

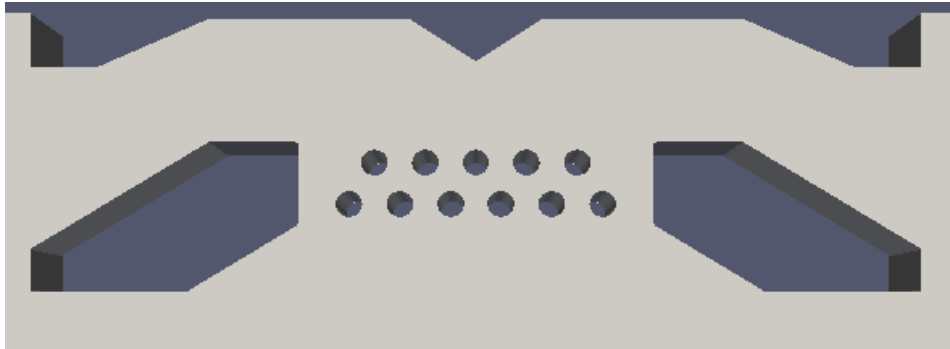


Figura 6: Geometria de biga 2

El mallat per estalviar temps de càlcul, serà creat amb una simetria, i el refinarem en funció de la precisió necessària. Crearem una zona refinada al voltant de la paret i al centre de l'habitació, que és un s'espera més activitat. Finalment crearem una capa límit a tot la superfície de la biga freda.

CAPÍTOL 2: INTRODUCCIÓ A LA CFD

2.1. Que és la CFD?

Les inicials corresponen a "Computational fluid dynamics" en anglès. La mecànica de fluids computacional, és una branca de la mecànica de fluids.

Consisteix en l'ús de mètodes numèrics i algoritmes per a resoldre i analitzar problemes. Per dur a terme aquests càlculs s'utilitzen ordinadors. Tot i que totes les persones amb coneixements de computació són capaços d'utilitzar-los, els resultats que obtingui podrien ser físicament inadequats ja que cal ajustar les condicions de contorn i els paràmetres de fluid.

La CFD va començar als anys 60 com a eina en la indústria aeroespacial, va agafar forma durant els anys 70, coincidint amb una millora de la computació i de la modelització dels fluids. Convertint-se als anys 80, en una de les eines més importants per a les indústries, pel que respecta a la predicció del flux de fluids. A partir d'aquest punt la CFD no ha parat d'evolucionar, i s'ha adaptat per a poder tractar situacions cada cop més diverses. (reaccions químiques, transferència de calor, esforç del fluid al interactuar amb sòlids etc.)

Actualment, la CFD s'ha convertit en una eina recurrent en l'enginyeria i s'utilitza en gairebé tots els camps : sistemes de climatització, indústria agroalimentària (envasat), Indústria Militar, Automoció, Energia, Indústria química, indústria electrònica, indústria biomèdica, indústria naval, indústria metal·lúrgica, Fabricació de material esportiu, sostenibilitat del medi ambient.

La CFD permet predir les propietats del fluid estudiat, sense necessitat d'un assaig real. És un procés ràpid que ajuda al disseny, redueix costos en experimentació. Els resultats obtinguts generalment son mes fàcils de tractar que obtinguts els experimentalment, ja que el format del resultat és predeterminat i les dades no van acompanyades de dades absents o errònies.

Per altra banda els anàlisis fets en CFD, requereix validacions experimentals, per a validar el model utilitzat. Requereix personal especialitzat, una forta inversió en material d'anàlisis, a més, a vegades el cost en temps de computació és elevat .

2.2. La dinàmica de fluids

La dinàmica de fluids és una branca de la física que estudia el comportament dels fluids i les forces que se'n deriven.

La dinàmica de fluids assumeix que els fluids compleixen la llei de conservació de la massa, la primera i la segona llei de la termodinàmica i la segona llei de Newton

2.2.1 Hipòtesis del medi continu

La hipòtesis del medi continu és la base de la mecànica de medis continus. En aquesta hipòtesis es considera que el fluid és continu al llarg de l'espai que ocupa, ignorant l'estructura discontinua del model molecular. D'aquesta manera podem considerar que les propietats del fluid són funcions contínues. Aquesta hipòtesis la podem acceptar en la majoria de casos macroscòpics.

2.2.2 Concepte de partícula fluida

En aquest concepte es defineix la partícula fluida. La partícula fluida és la massa elemental del fluid que en un instant determinat es troba en un punt de l'espai. Aquesta massa ha de ser prou petita per considerar que en l'interior no hi ha variacions en les propietats del fluid, i per tat les hi puguem assignar. La partícula fluida es mou, tota ella, amb la velocitat macroscòpica del fluid, de manera que sempre està formada per les mateixes molècules. Així doncs un punt de l'espai en diferents instants de temps estarà ocupat per diferents partícules fluides.

2.2.3 Descripcions del moviment

Alhora de descriure el moviment d'un fluid existeixen dos punts de vista. La descripció Lagrangiana és la manera clàssica de fer-ho, consisteix en seguir cada partícula en el seu moviment, buscant-ne l'equació de la posició, considerant per exemple les partícules fluides.

Una segona forma és assignar a cada punt de l'espai a cada instant, un valor per a les propietats o magnituds fluides, sense considerar, quina és la partícula fluida que ocupa cada diferencial. Aquesta manera de procedir s'anomena Euleriana, on les posicions de l'espai estudiades són fixes, i les propietats d'aquests es poden considerar com les propietats de les partícules que els ocupen.

La descripció Euleriana és la que s'utilitza comunament en mecànica de fluids, ja que en la majoria d'aplicacions és més eficient.

2.3. Equacions Principals

La equació de continuïtat i l'equació d'energia juntament amb les equacions de quantitat de moviment, són bàsiques pel mètode del volum de control. A continuació exposarem algunes de les equacions més rellevants.

2.3.1 Conservació de la massa

Aquesta llei expressa que la massa no pot ser creada ni eliminada d'un sistema. Permet descriure en la visió Euleriana, la massa que es transfereix a través de les Superfícies de control.

El diferencial de superfície l'anomenem, ds

La velocitat del flux l'anomenarem \vec{v} .

\vec{n} serà el vector normal a la superfície de control unitari.

La taxa de variació de la massa dins el volum de control serà Ω .

$$\frac{d}{dt} \int p d\Omega$$

El flux de massa de fluid transferida queda:

$$\rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dS$$

De forma general:

$$\frac{d}{dt} \int d\Omega + \rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dS = 0$$

2.3.2 Equacions de la quantitat de moviment

Aquestes equacions fan referència a la segona llei de Newton, per a un fluid que flueix a través d'un volum finit. La equació de la quantitat de moviment lineal relaciona la quantitat de moviment lineal del fluid amb les forces que actuen sobre ell. La equació del moment angular relaciona el moment angular del fluid amb el moment o par de torsió que actua sobre el fluid.

La equació de quantitat de moviment està preparada per a quantitats vectorials i tracta valors que no es conserven (força/quantitat de moviment).

S'utilitza generalment per a calcular interaccions de força entre un fluid en moviment i objectes sòlid en contacte amb ell o per considerar la gravetat.

La més utilitzada de les dos és la equació de moviment lineal, pot ser expressada com:

Velocitat d'acumulació de quantitat de moviment dins del volum de control més cabal de quantitat de moviment que surt del volum de control menys cabal de quantitat de moviment que entra al volum de control és igual a la suma de forces que actuen sobre la massa que ocupa el volum de control. En forma d'equació:

$$\frac{d}{dt} \int_{V_{vc}} \rho \vec{V} dV + \int_{A_{sor}} \rho \vec{V} (Vn) dA - \int_{A_{ent}} \rho \vec{V} (Vn) dA = \sum F$$

2.3.3 Equació de l'energia

L'equació de l'energia consisteix a verificar que el canvi d'energia d'un sistema és igual a potència transferida en aquest mateix sistema.

L'energia intrínseca és la energia emmagatzemada en un sistema, pot ser: cinètica, potencial, interna, etc.

Per augmentar l'energia intrínseca d'un sistema es pot transferir a mitjançant calor o treball. En forma d'equació:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{d}{dt} \int_{V_{vc}} \rho \left(\tilde{u} + \frac{V^2}{2} + gz \right) dV + \oint_{A_{vc}} \rho \left(u + \frac{V^2}{2} + gz \right) (\vec{V}_r \cdot \hat{n}) dA$$

o senzillament:

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt} = \frac{dE_{sis}}{dt}$$

2.3.4 Navier-Stokes

L'equació de la quantitat de moviment en format diferencial dóna lloc a les equacions de Navier-Stokes.

Les equacions de Navier-Stokes són la base de la mecànica de fluids, descriuen la dinàmica d'un fluid viscos. Són unes equacions diferencials parcials de segon ordre no-lineals i inestables. Els resultats d'aquestes equacions són molt valuosos però aconseguir solucions a partir d'elles és extremadament complicat. Són un total de 3 equacions, una per a cada eix i contenen quatre incògnites, la quarta equació que permetria obtenir-ne resultats és l'equació de la continuïtat.

Les equacions de Navier-Stokes en coordenades cartesianes pels 3 eixos:

$$\rho \left(\frac{du}{dt} + u \frac{du}{dx} + v \frac{du}{dy} + w \frac{du}{dz} \right) = - \frac{dP}{dx} + \rho g_x \left(\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{dv}{dt} + u \frac{dv}{dx} + v \frac{dv}{dy} + w \frac{dv}{dz} \right) = - \frac{dP}{dy} + \rho g_y \left(\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} + \frac{d^2v}{dz^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{dw}{dt} + u \frac{dw}{dx} + v \frac{dw}{dy} + w \frac{dw}{dz} \right) = - \frac{dP}{dz} + \rho g_z \left(\frac{d^2w}{dx^2} + \frac{d^2w}{dy^2} + \frac{d^2w}{dz^2} \right)$$

2.3.5. Model de turbulència k-ε

El model de turbulència adoptat serà un de dos equacions, concretament un model k-ε, on k representa l'energia cinètica turbulenta i ε la raó de dissipació turbulenta. Els models de turbulència són aproximacions que sorgeixen de

l'experiència per tancar matemàticament les equacions. En el nostre cas recuperarem els valors recomanats per a aire a velocitats baixes.

CAPÍTOL 3: OPENFOAM

OpenFoam és un entorn de CFD, a diferència del Fluent és programa de software lliure, pel que no és necessari pagar una llicència per utilitzar-lo.

En aquest apartat s'explicarà el procés bàsic d'ús i el funcionament de les eines que s'han utilitzat.

3.1. Creació de l'estructura Bàsica

OpenFoam és un conjunt de llibreries en C++ destinades a la creació de programes de resolució de problemes CFD, juntament amb aquestes llibreries hi ha un conjunt de programes (solvers) destinats a estudiar diferents tipologies de problemes i un conjunt d'eines de processat addicional. Totes dues construïdes utilitzant les esmentades llibreries.

Per crear un nou cas, no es parteix de zero, es treballa a partir d'un solver que descriu el model utilitzat. Abans de començar a treballar, cercarem casos similars, els quals modificarem, per aprofitar-ne el codi.

Durant el transcurs d'una simulació, anirem editant i executant diferents processos. Aquests processos crearan documentació, podríem dir que el conjunt de dades que es van creant és la nostra simulació, ja que en conté la informació. OpenFoam per tan requereix ordre, una estructura ben organitzada, ja que està preparat per executar documents situats en directoris concrets. Aquests documents els prepararem abans d'executar les ordres, més endavant s'indicarà les principals funcions dels mes bàsics.

L'estructura serà la següent:

En la carpeta Principal (per exemple, "cas 1"), creem les carpetes "0", "constant" i "system". També hi adjuntarem els documents executables Allrun i Allclean, que ens facilitaran la feina, Aquests documents estan descrits a l'apartat documents de suport.

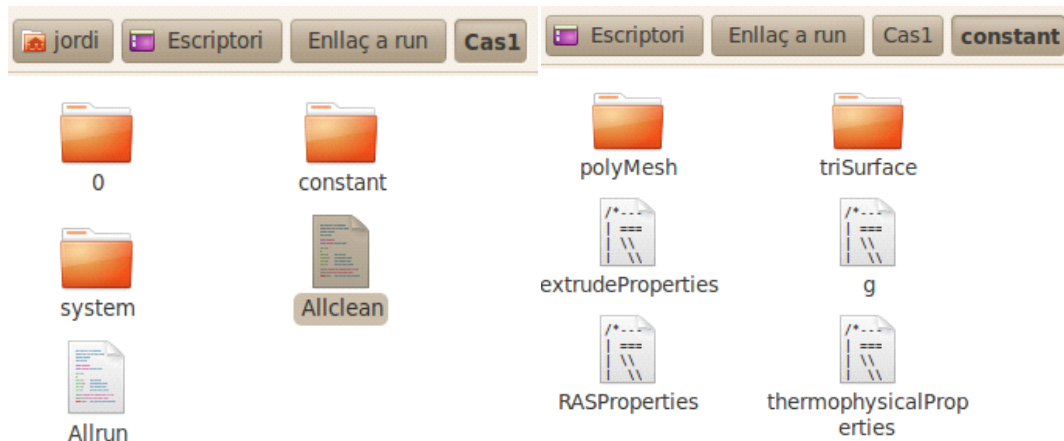


Figura 7: Estructura openFoam 1

En la carpeta "constant", agregarem documents on indicarem paràmetres aplicables a tot el domini. Per exemple al document "transportProperties" definirem la viscositat dinàmica, a "g" definirem la gravetat etc. Crearem també la carpeta "polyMesh", en aquesta carpeta adjuntarem el document "blockMeshDict", a on definirem la geometria de la malla. Si tenim intenció d'utilitzar l'eina "snappyHexMesh" crearem la carpeta "triSurface" on i adjuntarem la superfície en format .stl.

En la carpeta "0", crearem els documents que definiran els camps en el temps "0", en aquests documents també adjuntarem les condicions de contorn per a cada camp. per exemple velocitats, pressions temperatures i els coeficients necessaris.

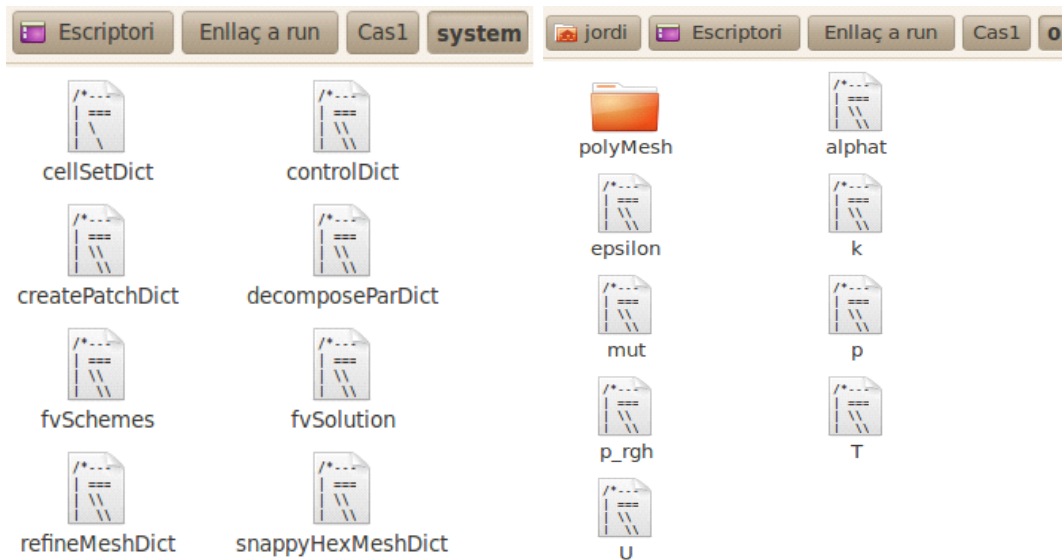


Figura 8: Estructura openFoam 2

En la carpeta "system" crearem el document "controlDict" on indicarem de quina manera volem que es discretitzi el temps. Afegirem també en aquesta carpeta els documents on s'indica quines equacions s'utilitzaran per resoldre el cas. Aquesta carpeta contindrà també documents que permetran executar diferents funcions, com per exemple "cellSetDict" o "refineMesh".

Durant el transcurs de la simulació, s'aniran creant documents a directoris predeterminats. Aquests documents són 100% editables, tot i que podem assumir que la manera més fàcil d'introduir informació és per els documents preparats per fer-ho, i considerar els altres documents com càlculs interns. Per posar un exemple podem crear milers de punts amb totes les cares definides amb relativa facilitat utilitzant el document blockMeshDict, però si eliminem un punt editant el document "points", haurem de reajustar molts altres documents que definien les cares creades i les seves unions.

3.2 Descripció dels documents bàsics

En aquest apartat faré una explicació dels documents bàsics per a crear una simulació utilitzant openFoam.

3.2.1 BlockMeshDict

La malla la definirem en el document "blockMeshDict" que es troba en el directori "cas/constant/polyMesh". En aquest arxiu definirem punts a l'apartat "Vertices", indicant-ne coordenades.

Per a unir els punts formant regions mallades utilitzarem l'apartat "blocks". Aquests regions tindran formes diferents, si utilitzem la paraula clau Hex, seran hexaedres la geometria més natural per omplir un volum, tot i que hi ha diferents opcions de geometries, per a poder aconseguir la forma desitjada.

Per crear malles que no uneixin els vèrtex en línies rectes s'utilitzarà l'aparat "edge".

Finalment en l'apartat "patches" s'anomenaran les cares externes, donarem noms iguals a les cares que considerarem que tinguin les mateixes condicions de contorn, d'aquesta manera ens estalviarem feina més endavant.

3.2.2 ControlDict

Aquest document es troba a la carpeta "system". És l'encarregat de discretitzar el temps. En aquest document s'indica en quin temps s'inicia la simulació (generalment $t=0$), en quin temps finalitza i l'increment del temps en cada interval. També s'indicarà la precisió dels càlculs i cada quan es guardaren el resultats, d'aquesta manera podem estalviar espai.

Cal destacar que per la majoria d'algoritmes només s'utilitza el temps anterior per a trobar els resultats següents.

3.2.3 FvSchemes/Fvsolution

En aquests documents, indicarem les equacions que volem utilitzar per resoldre el cas. Per fer-ho hem de saber quins camps volem estudiar i quines hipòtesis considerarem. Una vegada tinguem decidit l'algoritme que volem implementar recuperarem els arxius "FvSchemes" i "Fvsolution" i els adjuntarem a la carpeta "system".

3.2.4 Paràmetres aplicables a tot el domini

Els adjuntarem a la carpeta "constant", en son exemples la gravetat, les propietats de transport, les propietats tèrmiques etc. Aquests documents estan

preparats, de manera que només fa falta recuperar-los i indicar el valor dels paràmetres concrets en el cas estudiat.

3.2.5 Documents de Camps

Aquests documents es troben a la carpeta "0". Contenen el valor de les propietats. Tots tenen el mateix format. Primer se n'indica la classe de paràmetre i el camp definint les unitats, en unitats bàsiques en el sistema internacional. Seguidament s'indica el valor del mallat intern i es defineixen les condicions de contorn en cada una de les cares. Es crearan documents de camp nous en les carpetes dels diferents temps que hem decidit guardar. Aquests contenen la informació que volem obtenir, la podem visualitzar utilitzant eines com el paraView.

3.3. Refinament

OpenFoam permet refinar el mallat, per a fer-ho és necessari crear l'arxiu "refineMeshDict". En aquest arxiu indicarem les característiques del refinament, per exemple en quins eixos volem actuar.

Per refinar ara només caldrà executar al terminal la comanda refineMesh, si volem sobrescriure la nova malla escriurem: refineMesh -overwrite

És possible que necessitem un refinament localitzat per exemple més precisió a la part superior del mallat que en la inferior. Per a fer-ho crearem l'arxiu "cellSetDict", és un arxiu que serveix per anomenar una regió de la malla. En aquest arxiu indicarem la regió i el nom que li donarem.

Hi ha diverses comandes, per seleccionar una geometria, la que utilitzarem és la més senzilla, un hexaedre, ho indicarem juntament amb una parella de vèrtex oposats de la regió en qüestió:

```
boxToCell { box ( -2 1 -0.1 ) ( 2 2.5 0.1 ) ; } .
```

Finalment modificarem el document refineMeshDict, per indicar-li la regió que ha de refinar. Per executar l'ordre de refinament caldrà escriure un nou argument perquè entengui que volem executar la comanda en una regió concreta. La regió ha d'estar indicada prèviament al document: refineMesh -dict -overwrite

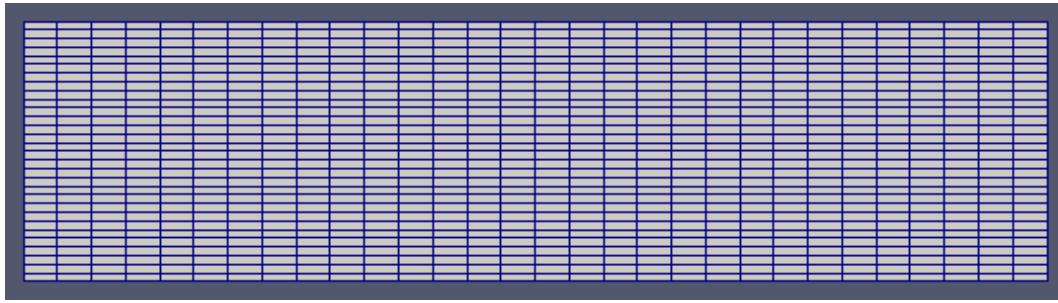


Figura 9: Malla sense refinar

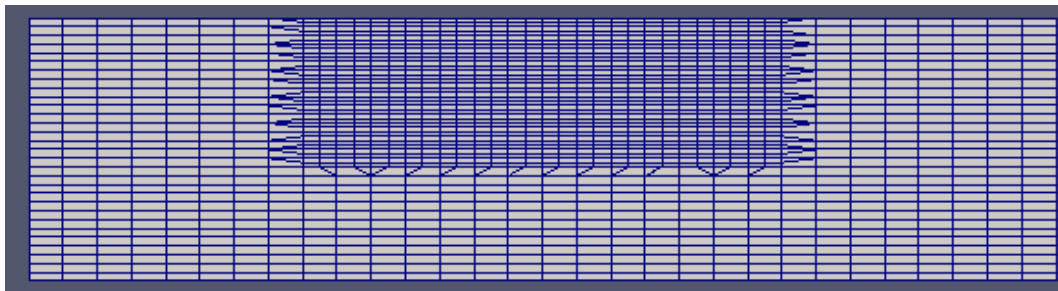


Figura 10: Malla refinar

3.4. Mallat mitjançant un arxiu .stl

3.4.1 Obtenció i preparació dels documents principals

El format d'arxiu .stl defineix la peça a partir de petits triangles que s'ajusten a les superfícies tot formant cares, els triangles estan perfectament encaixats sense superposicions ni forats.

SnappyHexMesh és una eina que permet a openFoam modificar una malla existent foradant-la amb un arxiu .stl. Aquesta malla podria estar creada per exemple amb l'arxiu "blockMeshDict". Per tan per aconseguir una malla d'aquesta manera només caldrà que creem l'arxiu .stl que separi l'espai que volem extreure de la malla que volem modificar.

3.4.2 Creació de la malla principal i la superfície .stl:

Creem la malla principal. En aquest exemple crearem un hexaedre.

Aconseguim l'arxiu .stl. Per fer-ho podem crear una peça amb Solidworks i guardar-la especificant el tipus d'arxiu: .stl format ASCII.

Després de guardar-lo l'adjuntarem a la carpeta "triSurface". Fet això ens assegurarem que l'extensió de l'arxiu està en minúscula, si no és així ho canviarem manualment editant el nom.

Editem l'arxiu .stl canviem la primera fila, concretament en canviarem el nom per defecte, és a dir la primera fila a de ser: "solid (nom_arxiu)". Afegirem també el nom de l'arxiu a l'ultima línia de manera que quedarà: "endsolid (nom_arxiu)".

La geometria que hem de crear ha de ser la part que volem buidar de la malla en aquest cas buidarem d'un hexaedre, la figura de la imatge. Ens assegurarem que la peça es foradada allargant la figura en excés, per la part superior i en l'eix z (profunditat).

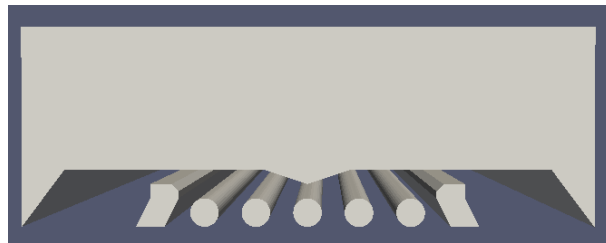


Figura 11: superfície creada amb SolidWorks

3.4.3 Posicionament relatiu

Si l'arxiu .stl s'ha fet en les coordenades correctes, aquest pas es pot saltar.

Utilitzem el paraView per comprovar la posició relativa de la malla ja existent i l'arxiu .stl amb la superfície en la que tenim definit el volum que volem buidar.

Visualitzem l'arxiu amb la malla principal creada amb openFoam i la superfície amb l'arxiu creada amb solidWorks. Si no estiguessin entre elles en la posició adequada o la mida no fos la desitjada, es pot arreglar ràpidament fent una transformació afí amb l'eina Transform. Aquesta opció es troba a la barra d'eines: Filters- Alphabetical-Transform.

L'objectiu és aconseguir una combinació com la de la figura 12.



Figura 12: superfície i malla actual

3.4.4 SnappyHexMesh

Creem l'arxiu snappyHexMeshDict.txt. Aquest arxiu, la funció del qual és foradar la malla actual per una superfície, permet ajustar moltes opcions, per indicar de quina manera volem crear la nova malla. En aquest apartat explicaré les principals:

Primer s'ha d'indicar quines de les 3 funcions bàsiques del document cal executar, per a aquest exemple les activarem totes tres. És interessant senyalar que aquest document es pot fer servir per crear capes límit, activant només la tercera opció.

```
castellatedMesh true;
```

```
snap true;
```

```
addLayers true;
```

Una vegada activats els procediments que volem aplicar, indiquem en el document quina és la malla actual, indicarem també l'arxiu amb la superfície, ajustada i posicionada estratègicament amb el paraview.

La primera opció que hem activat indica si es vol crear la malla emmerletada. En aquest procés s'eliminen els punts separats per la superfície.

Per omplir aquest apartat del document snappyHexMesh, cal seguir els comentaris adjuntats. Conté opcions i restriccions de refinament, que s'usen en aquest procés. En aquest apartat també s'ha d'indicar un punt que estigui contingut en la malla inicial i que no estigui contingut en el volum que es vol sostreure.

En la imatge podem comprovar que els punts s'uneixen en línies rectes i només en les direccions cartesianes.



Figura 13: malla emmerletada

La segona opció que hem activat suavitza les unions amb els punts no eliminats però que es troben al voltant dels punts sostrets, i adapta la superfície resultant a la superfície que conté l'arxiu creat amb solidworks.

Hi ha 4 paràmetres a especificar, aquests variaran en funció de si necessitem una simulació més acurada o ens serveix una simulació més ràpida.

Tal com es pot veure en la imatge, respecte la malla emmerletada les unions en les seccions del tub són suaus. Podem veure com s'adapten perfectament a la superfície adjuntada (Figura 11).



Figura 14: malla amb "snap" activat

Finalment la última opció que hem activat correspon a la creació de capes límits en aquelles cares en les que snappyhexmesh ha tallat.

Aquest apartat conté molts paràmetres, comentats al mateix document on s'han d'indicar, els ajustarem en funció de les característiques de la capa límit que necessitem.

L'ajust de la capa límit pot no crear-se correctament si no ajustem bé els paràmetres, especialment en aquelles zones on trobem canvis bruscos. En aquest cas concret, ha estat necessari augmentar la precisió del mallat i augmentar a 40 el paràmetre `nCellsBetweenLevels` a l'apartat `castellatedMesh`, aquest paràmetre crearà més capes en la zona refinada.

En aquest cas, en l'apartat `addLayers` s'ha decidit treballar en distàncies absolutes per a tenir més control. Per a indicar-ho s'ha donat el valor "false" al paràmetre `relativeSizes`, i després s'ha calculat aproximadament el 30% i el 10% (que es el valor que hi ha per defecte en l'arxiu) de la distància entre cares de la malla, per a omplir el paràmetres `finalLayerThickness` i `minThickness`.

Executarem l'ordre amb la comanda `snappyHexMesh`, `snappyHexMesh -overwrite` si volem sobre escriure el mallat actual.

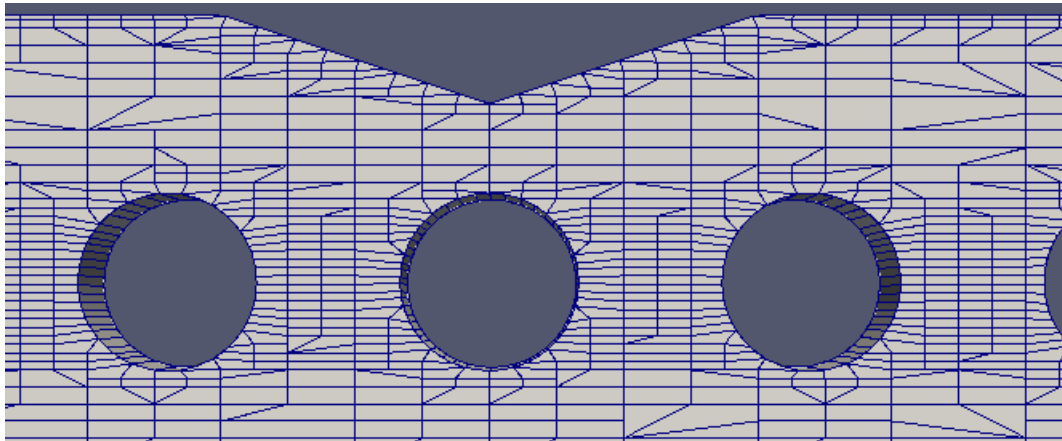


Figura 15: mallat sense capa límit

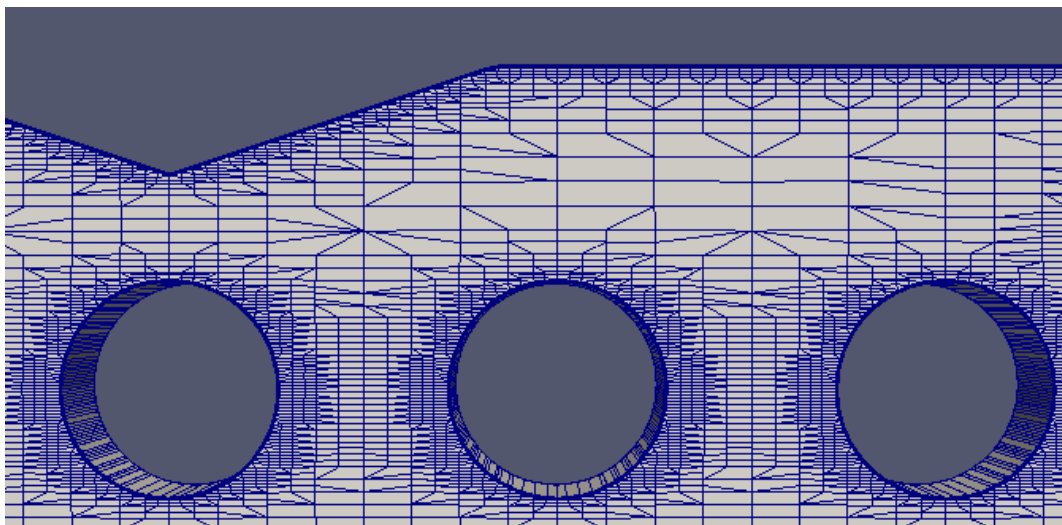


Figura 16: mallat amb capa límit

3.4.5 Transformació a 2D

Hem aconseguit una malla amb la forma desitjada per a una simulació 3D. Si per altra banda necessitéssim una malla 2D, hauríem de tenir en compte que hem utilitzat `snnapyHexMesh`. Aquest algoritme està pensat per a crear malles en 3D. `snnapyHexMesh`, no diferencia els eixos, i així com hem obtingut algun punt extra en els eixos x i y , en l'eix z gairebé segur que n'haurà afegit algun. Això converteix la nostra malla, en una malla 3D inadequada per a la simulació de seccions.

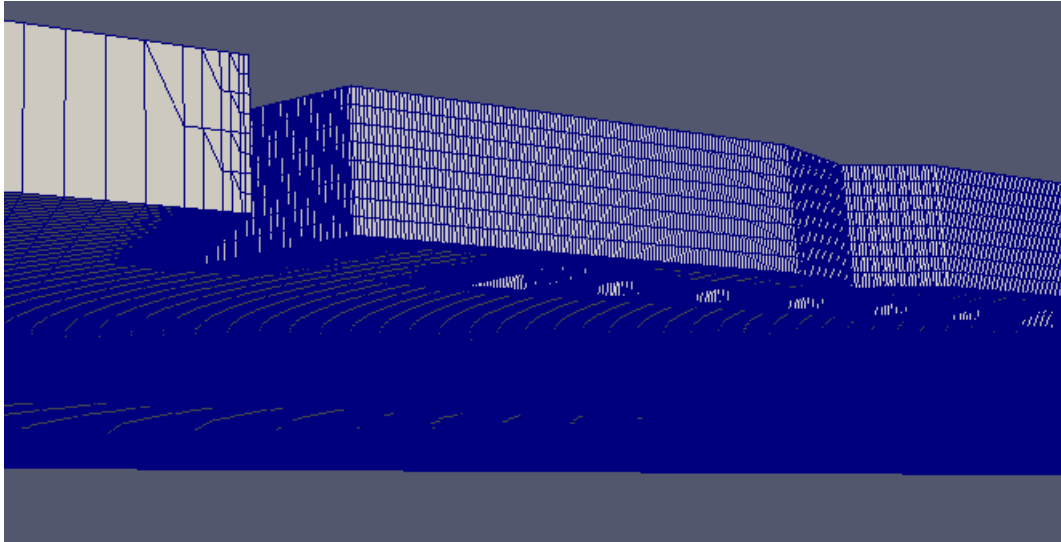


Figura 17: malla lateral

Solucionar aquest petit contratemps no és complicat, perquè openFoam posa a disposició dels usuaris una aplicació, capaç d'extruir una de les cares que tinguem anomenades. Creant així una nova malla, que per no complicar-nos la vida s'explicarà com sobreesciure-la a l'anterior.

Primer de tot haurem de modificar el document blockMeshDict, de tal manera que la cara que en 2D s'anomena popularment "frontandback", es transformi en dues cares, per exemple:

```
empty front ( ( 0 3 2 1 ) )
```

```
emptyback ( ( 4 5 6 7 ) )
```

D'aquesta manera, podem extruir la cara "front", per a aconseguir una malla sense separacions el l'eix z.

Una vegada realitzat aquest petit canvi, ens disposem a crear el document extrudeProperties, curiosament, ubicat en la carpeta "constant", quan la posició més natural seria "system".

En aquest document després de copiar la capçalera, indicarem en quina malla es troba la cara que volem extruir, juntament amb el nom de la cara.

Indicarem també l'espessor, el nom de la cara creada, i el nombre de divisions el fixarem a 1, ja que és un requisit per a fer simulacions 2D.

Conté algun argument destinat a altres tipus d'extrusions, com per exemple una malla revolucionada. Aquests, per fer una malla 2D els deixarem desactivats.

Executarem l'algoritme utilitzant la comanda "extrudeMesh".

3.4.6 Anomenant cares

Una malla creada utilitzant "snappyHexMesh" i posteriorment "extrudeMesh" té la geometria adequada per a una simulació, però faltaria arreglar el nom de les cares creades per a poder definir posteriorment les condicions inicials i de contorn.

La malla, actualment conservaria el nom de les cares que no hem tallat, el nom de la cara "front" i el nom de la nova cara "back" indicat en el document extrudeProperties. Les altres cares tenen un mateix nom, indicat en el document snappyhexmesh. Ho podem comprovar utilitzant el paraView, activant "Mesh Parts" i "PatchNames".

Per a posar nous noms, i sobre escriure el resultat escriurem a la consola la comanda: `autoPatch 60 -overwrite`

És una comanda que es troba en el codi d'openFoam i no necessita cap document de text de suport.

L'ordre executarà un algoritme que desfarà els noms existents i anomenarà les cares (auto0, auto1...). Considerarà que hi ha hagut un canvi de cara quan hi hagi un gir de més graus que l'argument que li hem entrat, en aquest cas el 60.

Seguidament crearem el document createPatchDict.

Aquest document senzillament serveix per a canviar noms, canviarem els noms creats automàticament en el pas anterior per a uns de més adequats.

Per a visualitzar els noms de les cares actuals de la nostra malla, escrivim a la consola "paraFoam", i una vegada dins del paraView desactivem els camps, si és que els tenim. Activem "Mesh Parts" i "PatchNames". I manualment anem modificant el document createPatchDict, indicant el nom vell de la cara, el nom nou de la cara i de quin tipus serà la cara nova.

Una vegada el document estigui acabat executem l'ordre: `createPatch -overwrite`

Finalment visualitzem el resultat per detectar errors.

3.5. Documents de suport

Durant el procés de simulació, si en trobem encara en la fase nova proposta – error, i per estalviar-nos d'executar les ordres una per una, així com per reduir el temps improductiu durant la fase de càlcul, podem ajudar-nos d'un document de text a on indicarem les ordres que cal executar. De tal manera que l'única ordre que donarem a la consola serà que executi aquest document en comptes d'anar posant les ordres una darrera l'altre. D'aquesta manera, per a fer comprovacions a passos intermedis, només caldrà anar al document i indicar que les ordres posteriors són comentaris, per a poder-les tornar a transformar en ordres normals acabada la comprovació.

Creem a la carpeta Principal un document de text, l'anomenarem Allrun.

En el document després de la capçalera indicarem les ordres, per exemple de manera lineal:

```
runApplication ordre (per exemple: blockMesh )
```

```
runApplication ordre (per exemple: cellSet)
```

etc.

Crearem també un document AllClean, Aquest servirà per a netejar la informació dels casos anteriors, per a fer-ho, openFoam ens fa recomanació de la informació que cal netejar per a una nova simulació, si l'acceptem només caldrà copiar la capçalera del document. Si volem esborrar alguna dada més o podem indicar mitjançant l'ordre rm i la direcció relativa del document.

L'interpret d'ordres que farem servir per defecte en openFoam serà Unix Shell, per visualitzar les ordres podem accedir a:

```
opt/openfoamXXX/bin/tools/RunFunctions.
```

```
opt/openFoamXXX/etc/config$
```

CAPÍTOL 4:

ESTUDI

Estudiarem, els canvis que es produeixen, per a dues geometria reals de bigues de fred, al variar les dimensions de l'habitació, i al variar la temperatura de treball dels tubs de la biga de fred.

4.1. Simulacions prèvies

4.1.1 primera simulació

El primer cas que hem creat és una habitació amb el sostre més fred que les parets, amb un salt de temperatures elevat,.

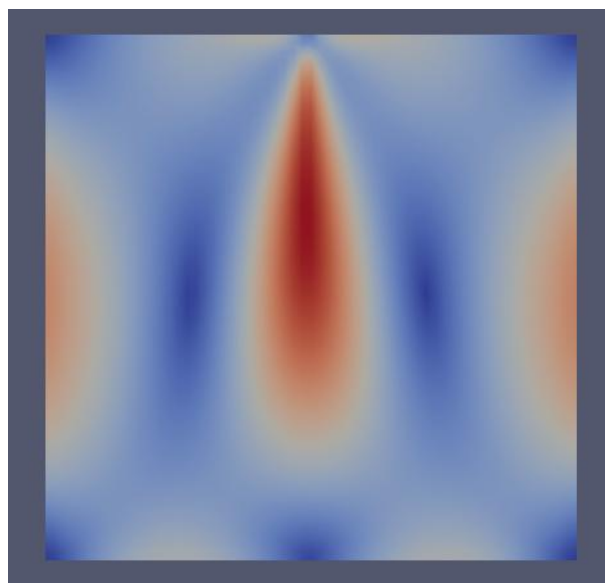


Figura 18: Distribució de velocitats

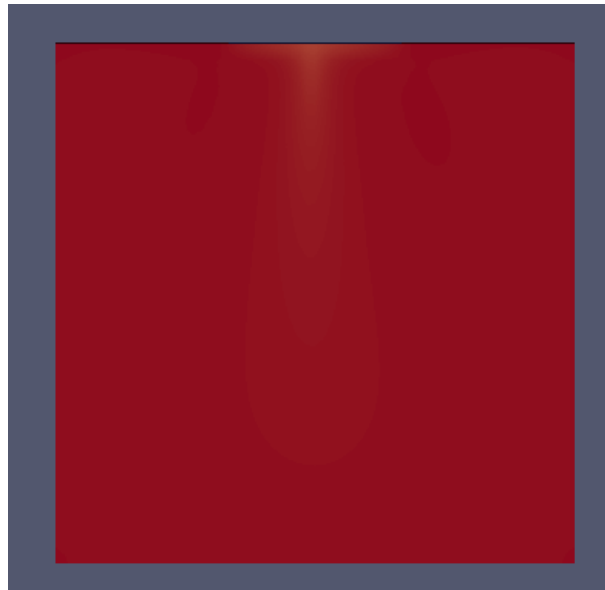


Figura 19: Distribució de temperatures

Els resultats són els esperats. Com que la temperatura és inferior en la paret central superior i la simulació s'ha fet tenint en compte la gravetat, es genera un moviment d'aire. L'aire fred baixa, creant una zona de baixa pressió i arrossegant l'aire superior lateral, i de la mateixa manera l'aire central inferior és pressionat i es veu obligat a pujar pels laterals. L'energia transformada en el moviment d'aire i la dissipada per les forces de fricció s'equilibren, creant ràpidament unes condicions estacionàries.

4.1.2 Canviant la geometria

Fent uns petits canvis en geometria podem aproximar millor la secció d'una habitació refrigerada per un aparell col·locat al sostre. Per exemple eliminant el quadrat central superior, canviant-ne la mida i tornant a definir la font de fred. Obtenim:

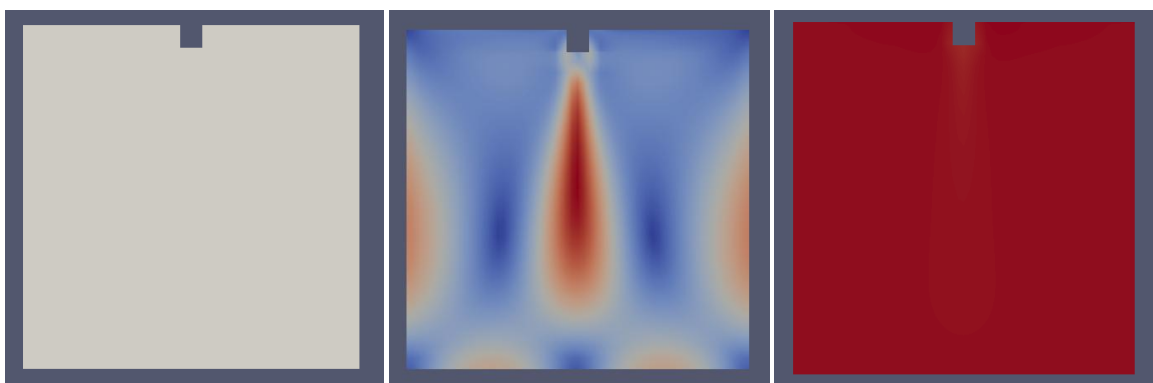


Figura 20: geometria, velocitats i temperatures

Per a fer una aproximació més acurada és possible anar modificant la malla, omplint el buit que ha deixat el rectangle superior central. Això es pot aconseguir mantenint el control total sobre la malla, afegint punts un a un indicant-ne les coordenades i adaptant els noms de les cares a la nova geometria. Amb l'objectiu d'aproximar-la a l'esquema d'una secció de biga de fred. Com podria ser la figura següent.

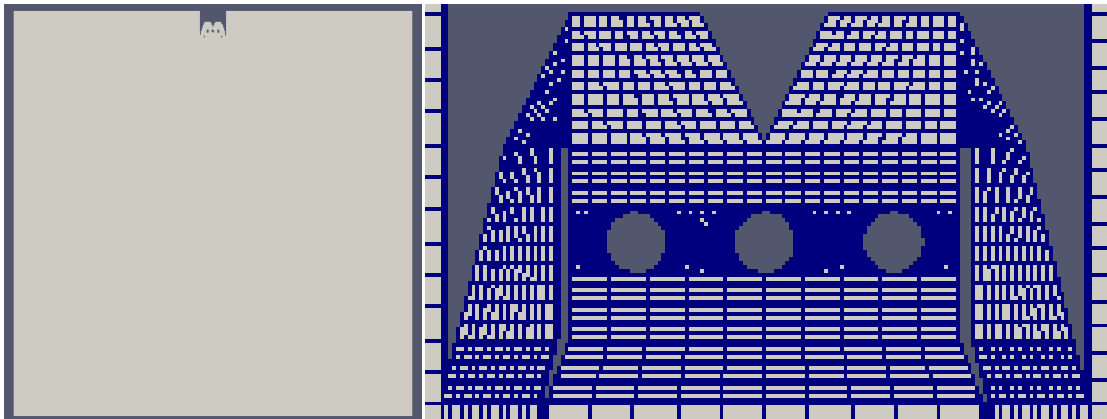


Figura 21: nova geometria

Aquest mètode però a més d'afegir complexitat al mallat, per cada punt afegit, requereix en moltes ocasions modificar la malla existent, per a aconseguir que encaixi amb la modificació realitzada. Es un mètode que aconsegueix bons resultats però tot i posar-lo en pràctica de manera ordenada i metòdica, es torna lent i difícil. La malla mostrada en la imatge tot i estar conformada amb una geometria senzilla, consta de gairebé 150 punts generadors i més de 50 cares principals externes, moltes de les quals seran anomenades iguals per a simplificar el cas com pot ser el cas de la parets laterals.

Per a seguir aproximant la geometria utilitzarem l'eina "snappyHexMesh". Aquesta eina permet utilitzar una geometria en format .stl per a construir la geometria per a la simulació. A l'annex trobareu un exemple.

4.2. Dades de simulació

4.2.1 general

Ens disposem a estudiar les condicions de l'aire en una habitació, concretament ens interessen els paràmetres temperatura i velocitat, ja que són en gran part els responsables confort. L'anàlisi el farem presentant temperatura i velocitats

en els anomenats mapes de temperatura. L'esquema de velocitats representada amb vectors, el podreu trobar al segonapartat de l'annex.

Realitzarem la primera simulació en una secció d'una habitació de 3 x 2,5 i l'aigua dels tubs serà de 287 kelvins (14 ° C).Una vegada obtinguts els resultats, variarem aquests paràmetres i analitzarem el que succeeix.

4.2.2 geometria

Per a al disseny de la biga de fred hem consultat plànols i esquemes proporcionats per les cases fabricants. D'aquesta manera s'ha pogut crear la geometria d'una secció realista.

En aquestes simulacions ja no obtindrem resultats ràpids. Ja que necessitem un mallat precís que ens permeti obtenir resultats fiables. Per tant és recomanable optimitzar el procés per a reduir el temps d'espera. Crearem malles més precises en la zona dels tubs i simularem només la meitat del domini, creant una simetria.

Per a l'estudi hem creat dos geometries que serviran de base per a fer les comparacions.

Geometries utilitzades (sense aplicar simetria):

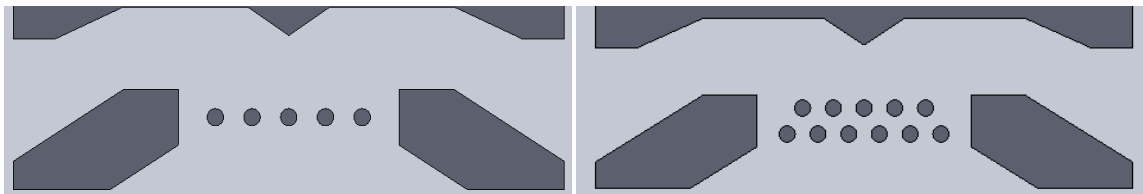


Figura 22: geometria1 i geometria2 respectivament

4.2.3 Condicions de treball

Hem esbrinat les condicions de treball de la biga, consultant documentació, la temperatura de treball ronda els 14°C.

S'ha decidit definir la temperatura a la paret a 25°C, constant en el temps, ja que és el valor que correspon a l'interior d'una habitació climatitzada durant l'estiu.

Pel que fa a la temperatura interna de l'aire l'hem definida uns punts per sota dels 25°C,intentant que sigui propera a la temperatura estacionaria.Un altra avantatja és que d'aquesta manera aconseguim que des del primer interval, l'aire al voltant de la paret es mogui. Si l'inicialitzéssim la temperatura de l'aire a la paret, a 25°C, la simulació trigaria més a convergir. Això passaria perque la

temperatura mitjana estacionària és més baixa, i l'aire al voltant de les parets hauria d'esperar a ser desplaçat per a tenir un comportament més semblant al comportament estacionari.

La velocitat l'hem Inicialitzat a 0, a tot el domini. Una opció correcte hauria estat inicialitzar-la amb un valor estimat en funció de la regió.

Per el model de turbulència els paràmetres han estat ajustats consultant casos semblants al cas estudiat.

4.2.4 Algoritme utilitzat

El sistema ha estat tractat amb l'algoritme bouyantSimpleFoam, integrat a openFoam. BuoyantSimpleFoam és un model de transferència de calor per a fluids compressibles en estat estacionari, creat per aquest tipus de casos. El model de turbulències serà un model k- ϵ .

4.3. Anàlisi de resultats

4.3.1 Anàlisi de pressions

Primer de tot, comentarem la distribució de pressions, juntament per a tots els casos.

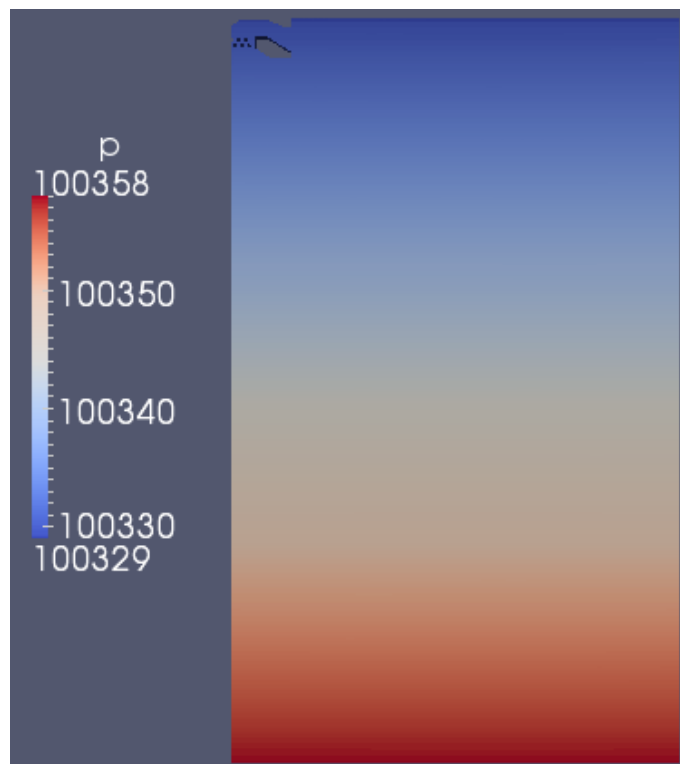


Figura 23: Distribució de pressions

Aquesta figura és un exemple de la distribució de pressions, totes les simulacions fetes presenten una distribució semblant. Té les característiques d'un fluid estàtic, l'interior de fluid respon a la fórmula següent:

$$P = \rho gh$$

Totes les simulacions les hem fet amb un alçada d'habitació de 2,5m, aquesta no es una excepció. Fem un càlcul ràpid: $1,2 \cdot 10 \cdot 2,5$, veurem que la diferència de pressions entre la part superior i la inferior hauria de ser, seguint el model estàtic, d'aproximadament 30 Pa. Podem comprovar que és així mateix mirant l'escala. Per tant, no podem dir que la geometria de l'habitació, o el regim de treball afecti significativament la distribució de pressions, ja que el model estàtic predomina, i fa despreciable la resta de factors.

4.3.2 Cas 1 Secció 3x2,5T=14° geometria 1

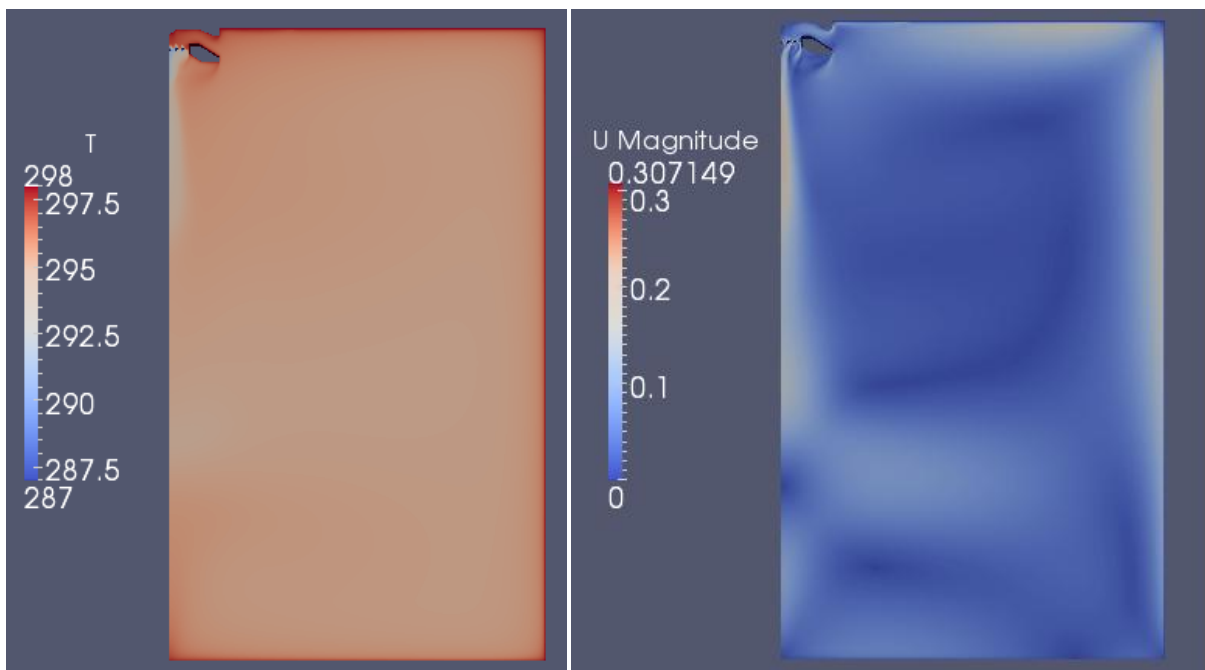


Figura 24: velocitats i temperatures cas 1

Tal com es pot veure en la figura 24, el comportament de l'aire és semblant a les simulacions prèvies. L'aire refredat pels tubs baixa arrossegant aire dels laterals superiors i pressionant l'aire del centre de l'habitació. El terra de l'habitació escalfa l'aire fent-lo menys dens, l'aire té tendència a enlairar-se, però no és fins que l'aire s'acosta a la paret quan la gran majoria d'aire puja. hi ajuda el fet de tenir la font d'escalfor més aprop durant tot el recorregut. Finalment xoca amb el

sostre i es dirigeix cap a la biga de fred. Cal destacar que no tot l'aire passa per l'interior de la biga de fred. Quan l'aire arriba a l'entrada de la biga de fred, n'entra només una part i l'altre fa el mateix camí passant pel lateral.

En aquesta simulació, a diferència de les que veurem més endavant apareix un circuit d'aire secundari a la part inferior, en la imatge adjuntada a l'annex, es veu fàcilment. El circuit secundari té el sentit invers que el circuit principal, de manera que el costat superior del circuit secundari comparteix direcció i sentit amb el costat inferior del circuit principal. Si refem la simetria, els circuits secundaris ocupen entre els dos els 0,7 metres inferiors. Les velocitats del circuit secundari, sense contar el costat compartit, són molt baixes. L'aparició del circuit fa que l'aire que abans travessava la habitació seguint el terra, ara travessi l'habitació a uns 0,7 m d'altura aproximadament, arribant a mantenir velocitats força altes fins a 1 m d'alçada. Tenint en compte que és suficient per a persones assegudes mantenir la velocitat per sota 0,25 m/s, en aquest cas concret, l'aparició del circuit no és un problema.

Les velocitats d'aquesta simulació són baixes, no superen en tot el domini els 0,31 m/s i els màxims es troben en l'interior de la biga freda. És important assegurar-se que les velocitats a mitja, altura, entre 0,75 i 2 metres, es mantinguin baixes, ja que l'objectiu de la climatització és el confort. El valor de les velocitats a la paret, per definició és 0 m/s. Les velocitats més altes les trobem a punts separats uns centímetres de la paret, i malauradament sota la biga de fred, en aquest punt s'apropen als màxims recomanats, però no el sobrepassen. Entremig de la zona central i els voltants de la paret apareixen velocitats molt baixes, tanmateix l'aire no arriba a estancar-se.

La temperatura és bastant uniforme, repartida d'una forma interessant. Al centre de l'habitació es d'uns 22-23°C, mentre que al voltant del sostre i la paret lateral ronda els 24°C. És una distribució de temperatures una mica baixa però molt bona, ja que la temperatura central de l'habitació és la part que sol estar ocupada per a persones, mentre que la temperatura als laterals i per sobre els 2 metres pràcticament no és ocupada per persones. Aconseguim aquesta distribució perquè en aquesta simulació la font d'escalfor és la paret, i en gran part, a l'estiu l'energia entra de l'exterior: parets, finestres, infiltracions etc., però en aquest cas no hem tingut en compte la calor generada per efectes interiors: Persones, il·luminació, electrodomèstics etc.

4.3.3 Cas 2 Secció 3x2,5 T=14° geometria 2

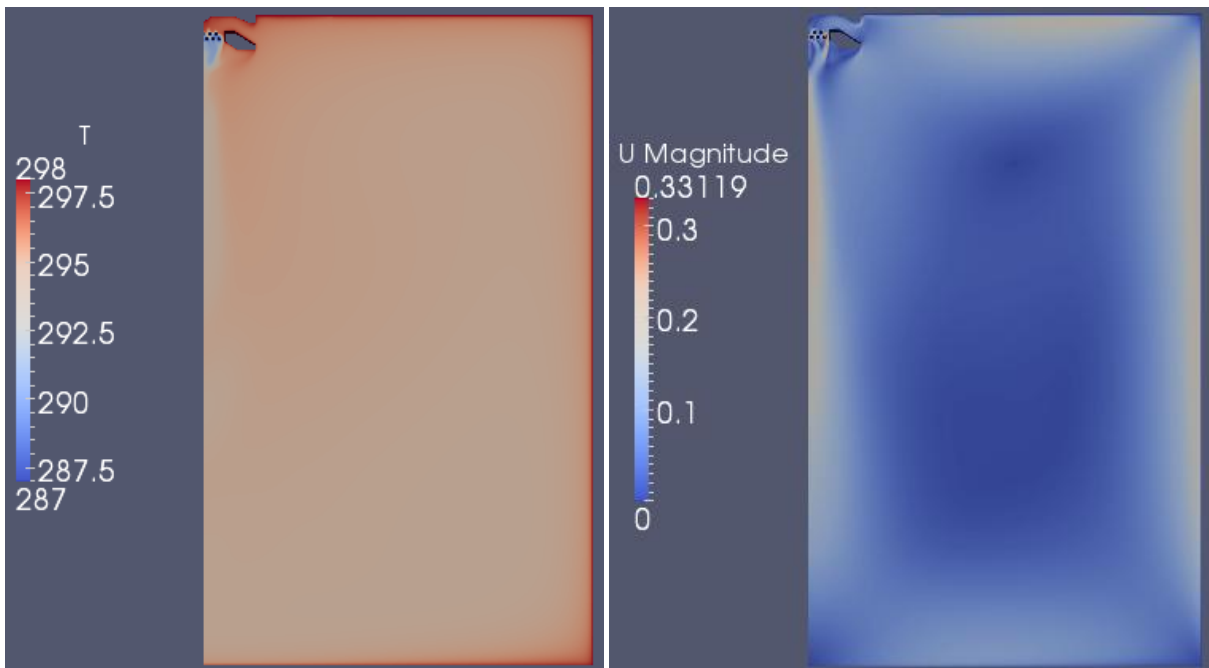


Figura 25: velocitats i temperatures 2

La simulació amb dos rengleres de tubs obté uns resultats generals similars, el circuit d'aire és el mateix, excepte que no apareix el circuit secundari.

La biga equipada amb una renglera de tubs addicional, aconseguirà baixar més la temperatura de l'aire just després de passar pels tubs. Aquest model requeriria una potència més alta per a mantenir la mateixa temperatura de tub. Les velocitats a través dels tubs, són una mica superiors, ja que es refreda una mica, a més a més en la segona renglera de tubs, els tubs estan més junts. A l'interior de la biga de fred les velocitats arriben als 0,33m/s. Les velocitats a la resta del domini són lleument superiors al cas anterior, però es mantenen per sota els 0,30m/s. A més a més l'aire no espera a estar tan a prop de la biga de fred per començar a baixar.

Anem a comprovar que s'esdevé quan canviem la secció.

4.3.4 Cas 3 Secció 5x2,5 T=14° geometria 1

Sense analitzar el resultat obtingut, la primera comparació que podem fer, és el temps que triga el càlcul de cada iteració. La precisió del mallat utilitzat en els dos casos és la mateixa, 1x1cm de base i refinats a zones actives, però com que aquesta segona secció és més gran té més punts. El cas 1 constava de 159.681 punts mentre que aquest cas, el 3, està format per 192.201 punts per tant cada iteració requereix més temps de càlcul.

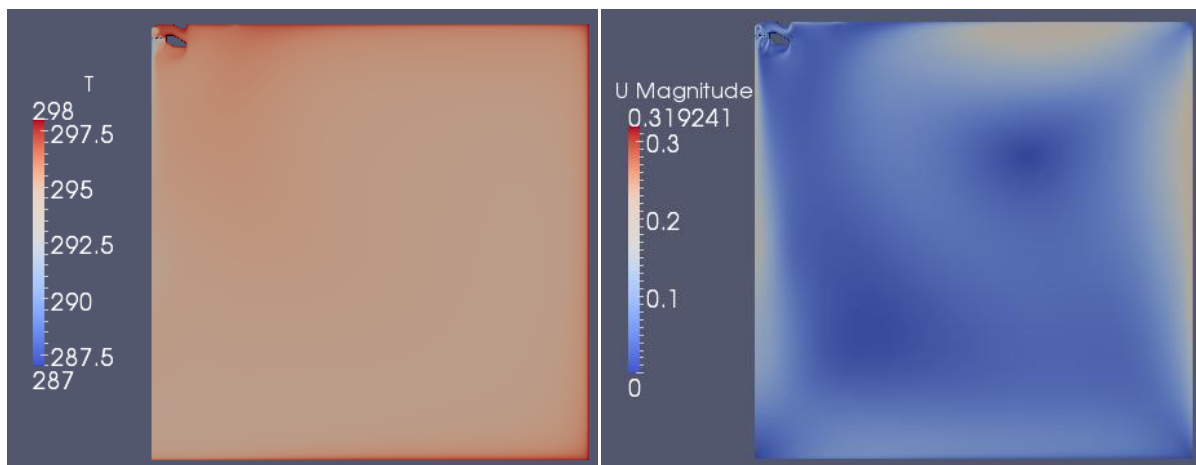


Figura 26: velocitats i temperatures 3

El comportament general és semblant als casos anteriors, són bàsicament les mateixes distribucions més estirades, analitzarem però les diferències. En aquesta geometria l'aire arriba més calent a la biga de fred, degut a que la superfície de transferència de calor és més gran. A l'entrada de la biga, l'espai ocupat per l'aire que comença a baixar i no passarà per la biga de fred, és molt gran. Aquest aire no acabarà de completar tota la volta, baixa, canviant de sentit progressivament i es va a ajuntar a mitja altura a la paret lateral. Veiem com en aquest cas la part amb velocitats molt baixes s'ha desplaçat, col·locant-se en unes zones verticals estretes als costats de la biga de fred.

Les temperatures es mantenen iguals que en primer cas. Les temperatures més altes les trobem separades uns centímetres de les parets, i a l'entrada de la biga, la temperatura a la part central de l'habitació és d'uns 22-23°C. Comparant els histogrames, adjuntats a l'annex, ens adonem que al augmentar les dimensions de la secció, el que hem fet, sobretot, és augmentar el nombre de punts interiors, els que es troben entre 22 i 23 °C. Es cert que la temperatura mitjana del mallat a disminuït, però ho ha fet molt lleument, i no ho ha fet a causa d'una disminució real, ho ha fet perquè hem augmentat els punts interiors, i ara aquests tenen més pes, al fer la mitjana.

4.3.4 Cas 4 Secció 5x2,5 T=14° geometria 2

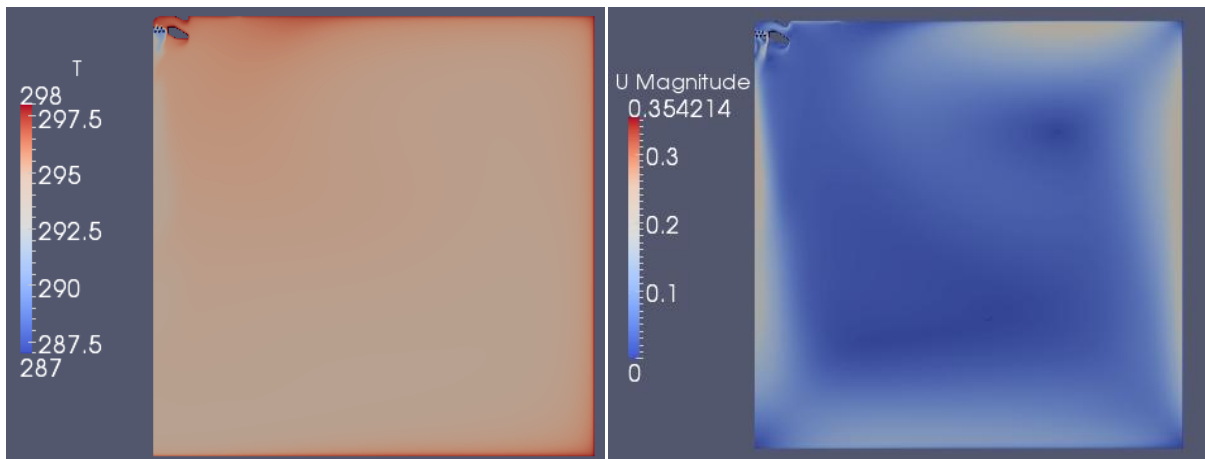


Figura 27: velocitats i temperatures 4

En aquesta simulació les distribucions són el resultat d'utilitzar la geometria 2 i engrandir la secció. Tal com ja passava amb la geometria 1, el comportament general és el mateix. El canvi de tamany, a provocat que l'aire arribi més calent a l'entrada de la secció, l'aire té tendència a baixar molt abans de passar per la biga de fred, més encara que en la simulació feta amb la geometria 1. L'espai ocupat per velocitats baixes al costat de la biga s'ha fet més gran que en el cas 3, mig ajuntant-se amb la part inferior central. La temperatura mitjana a baixat respecte el cas 3, però no tant com del cas 1 al 2. Ja que ara estem refredant una habitació més gran.

Recuperem les dimensions inicials i canviem la temperatura dels tubs.

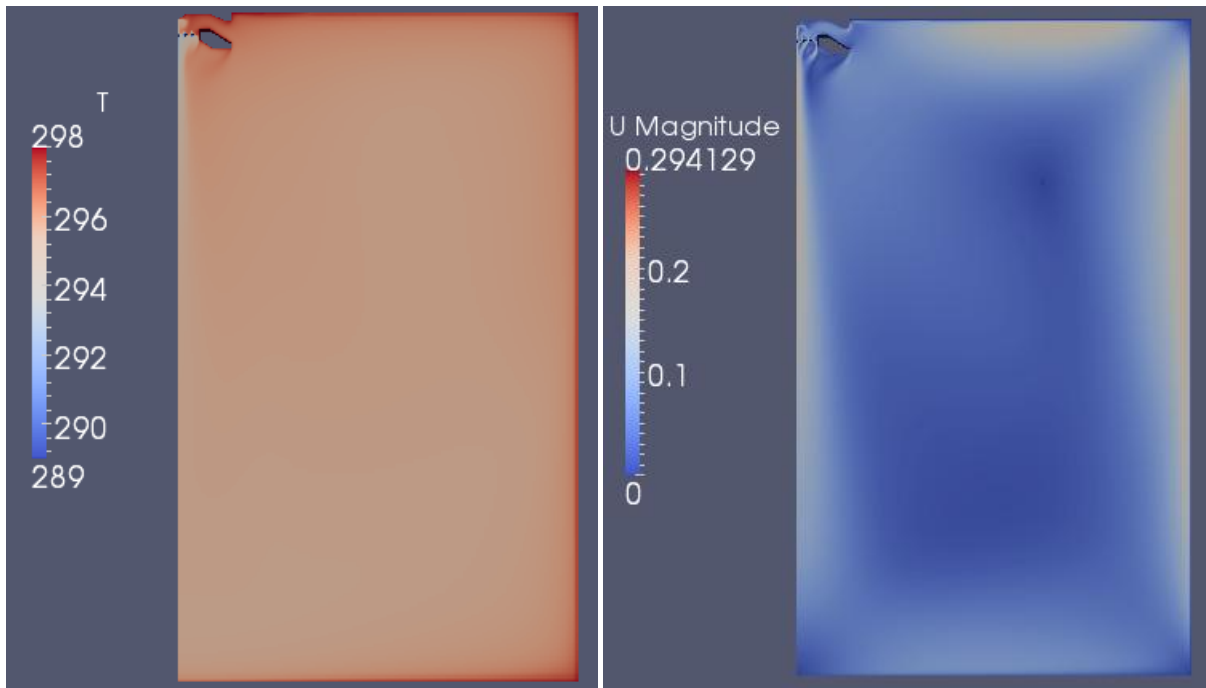
4.3.6 Cas 5 Secció 3x2,5 $T = 16^\circ$ geometria 1

Figura 28: velocitats i temperatures 5

Observem el resultat i el comparem amb el cas 1. Les temperatures mitjanes en l'estat estacionari han pujat, la potència subministrada també ha baixat, juntament amb les pèrdues de calor, ja que la font de calor té una temperatura més semblant a la temperatura ambient. La distribució de velocitats té màxims molt baixos, que no superen els 0,3 m/s. Baixar la temperatura de tub a causat una distribució menys caòtica, en aquest cas es pot veure clarament el circuit de l'aire, les velocitats són ràpides a l'exterior, i baixes al centre. Hem recuperat la zona central amb velocitats baixes, respecte en el cas de la secció ample, la zona vertical al costat de la biga freda.

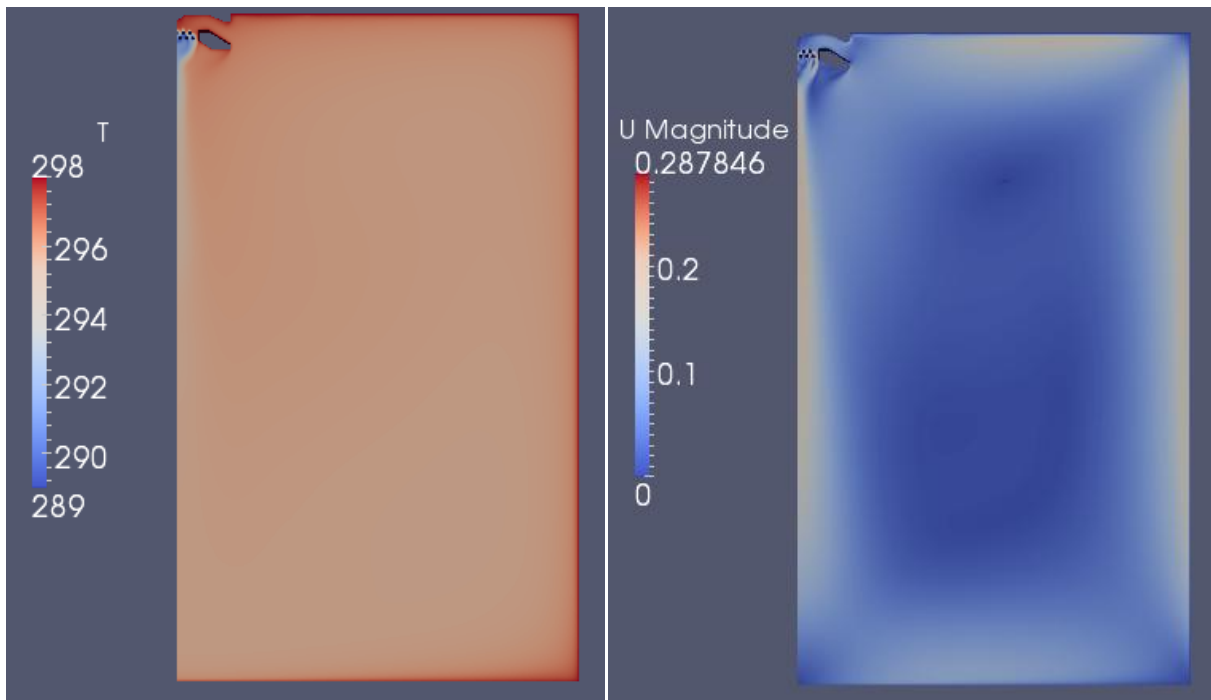
4.3.7 Cas 6 Secció 3x2,5 $T= 16^{\circ}$ geometria 2

Figura 29: velocitats i temperatures 6

En el cas de fer el mateix experiment però amb la geometria 2, veiem també una distribució de velocitats amb el circuit molt marcat. Respecte la distribució del cas 5 pràcticament no ha canviat. Com ha passat sempre, la temperatura a la sortida dels tubs a baixat, respecte la geometria 1, no obstant, és més calenta que quan els tubs es mantenen a 14°C .

4.3.8 Cas 7 Secció Habitació llarga 3,5x2,5 $T= 14^{\circ}$ geometria 1

Ens disposem a analitzar l'estat de l'aire en una habitació molt llarga, refrigerada per bigues fredes. Per fer-ho s'ha dissenyat una geometria, que consta d'una simetria i mitja biga de fred a cada banda. Ja que considerem que hi ha altres bigues de fred, a dreta i esquerra.

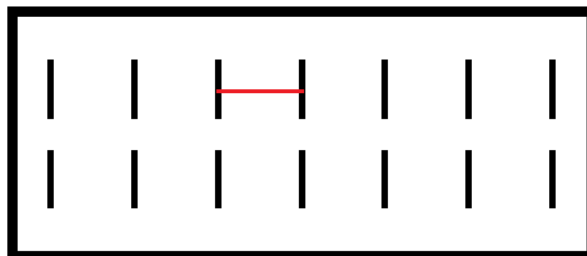


Figura 30: esquema de la secció estudiada

De fet una alternativa a aquest disseny hauria estat, crear una geometria la meitat d'ample amb només una biga de fred, per exemple a l'esquerra, i definir el costat dret com una simetria. La distància entre bigues serà 3,5m.



Figura 31: Distribució de temperatures cas 7

La temperatura queda distribuïda bastant uniformement, al voltant d'uns 23,3°C, al centre inferior la temperatura és un mica més alta. La temperatura és més baixa que en el cas1, és cert també, que la distància que ha de cobrir cada biga és més gran, i que això hauria de significar un augment de temperatures. Però també hem fet desaparèixer gran part de la superfície calenta, transformant els laterals en simetries.

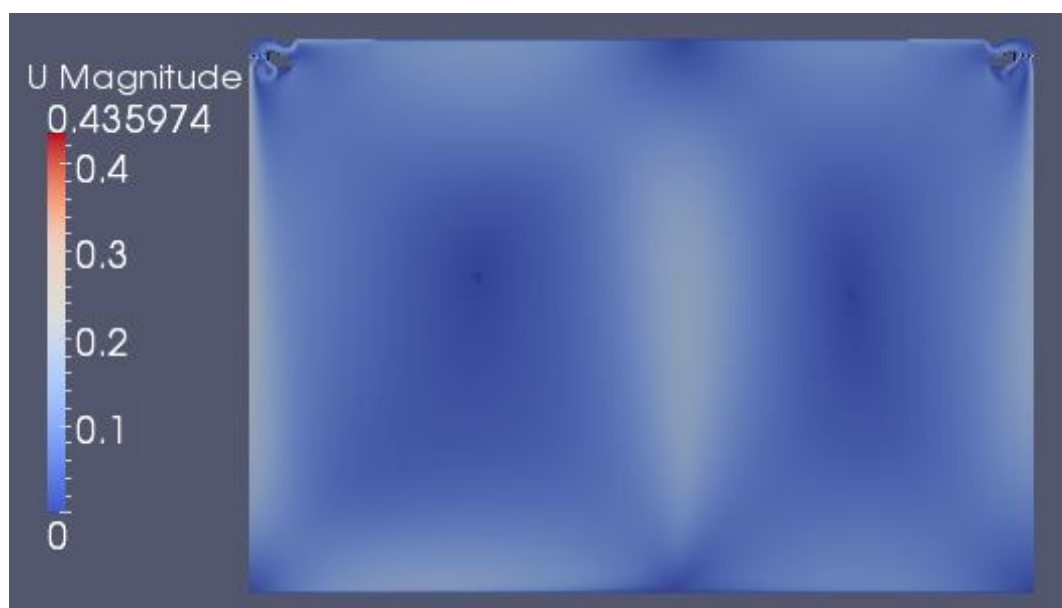


Figura 32: Distribució de velocitats cas 7

Observant les velocitats, Podem veure 2 circuits simètrics, entre biga i biga. L'aire baixa verticalment per les bigues, es divideix en dos direccions i es mou per la part inferior, puja pel centre de la secció, i es dirigeix altre cop cap a la biga de fred. Les velocitats altes, sota les bigues i al centre, es troben al voltant del 0,3m/s, cosa que pot ser molesta per la gent que si trobi asseguda.

4.3.9 Cas 8 $3 \times 2,5$ T= 14° entrada per dalt

Aquesta geometria, s'ha creat per simular una secció d'habitació amb una biga de fred penjada per cables, amb entrada superior. L'escanviador de calor és un conjunt de tubs amb aletes. La simulació s'ha fet sense simetries perquè la geometria de la biga no és del tot simètrica. Les aletes dels tubs queden a la vista, i es posen totes en la mateixa direcció. Com veurem, la direcció en que apunten les aletes, no crea grans diferències en la temperatura i velocitat entre dreta i esquerra.

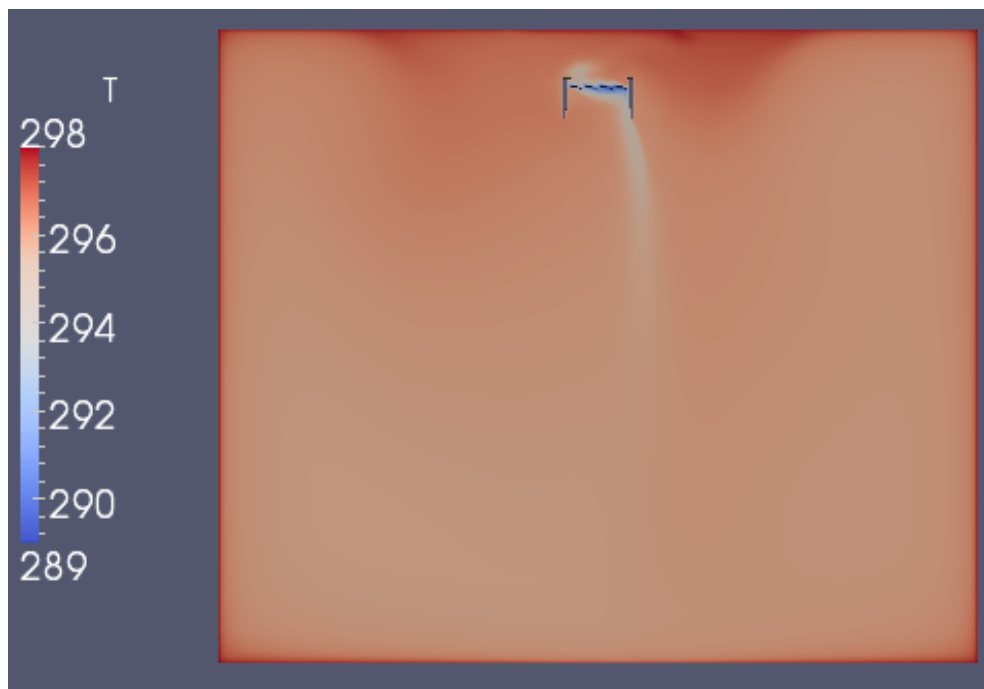


Figura 33: Distribució de Temperatures cas 8

La temperatura interior ronda els 22,5°C. Les temperatures estan distribuïdes pràcticament de manera simètrica, excepte en la sortida de la biga. En la sortida, l'aire surt fred per la zona de la dreta, on estan encarades les aletes. Comparant amb la distribució de velocitats, podem veure que la temperatura es reparteix ràpidament, i que a 2 metres d'altura la temperatura ja s'ha difós. La part superior central de l'habitació conté aire calent.

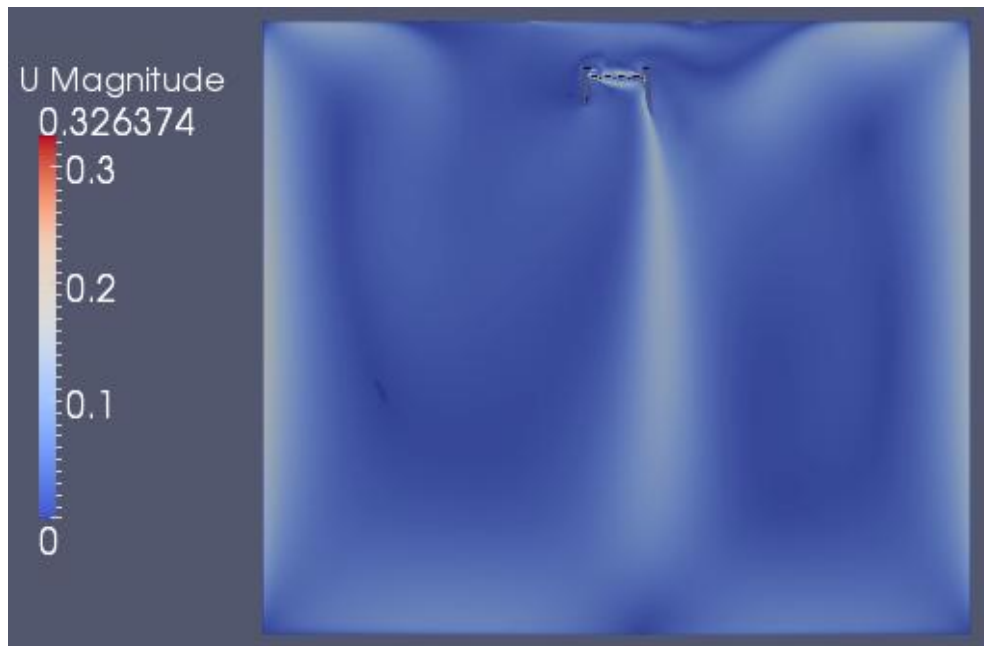


Figura 34: Distribució de velocitats cas 8

Analitzem la distribució de velocitats. S'han creat dos circuits, semblants. L'aire travessa la biga de fred, ho fa més ràpidament per la dreta que per l'esquerra, baixa verticalment. L'aire es divideix en dos al acostar-se al terra, puja per les parets i es torna a dividir en dos. Una part d'aire es dirigeix al centre superior de l'habitació i acabarà passant per la biga freda, mentre que l'altre es dirigeix al centre de l'habitació, estirat per la depressió que provoca l'aire fred baixant.

Els circuit de l'esquerra ocupa més espai que el de la dreta, degut a la asimetria de la biga. L'aire al centre superior de la secció manté velocitats baixes, excepte l'espai que està just sobre de la biga freda.

Conclusions

Les bigues de fred passives es basen en la convecció natural.

Una renglera extra de tubs, i per tant un augment en la superfície del bescanviador, disminueix la temperatura de sortida de l'aire en la sortida de les bigues de fred, augmentant-ne la velocitat, i provoca un arrossegament de l'aire lateral superior més fort.

Si augmentem el tamany de l'habitació refrigerada, augmentem la superfície que introdueix energia al sistema i l'aire arriba més calent a la biga de fred. L'aire quan arriba a la biga freda, troba una zona de velocitats baixes, i més part de l'aire es separa i fa un circuit curt, baixant canviant de direcció i ajuntant-se a mitja altura amb el lateral

Si augmentem la temperatura de treball dels tubs, la temperatura mitja de l'habitació puja, les velocitats a la sortida de la biga disminueixen. Les velocitats presenten una distribució més ordenada.

En una habitació amb varies bigues fredes, les velocitats més grans es troben a voltant de la paret, sota la biga freda i al punt mig entre dues bigues fredes. Per una refrigeració uniforme la distància entre bigues ha de ser major que la distància entre una biga i la paret, sempre i quan la major part d'escalfor entri per les parets.

Els difusors, en cap de les simulacions fetes, han repartit les velocitats com s'esperava, limitant, per excés en la velocitat de l'aire, una possible disminució en la temperatura de treball.

S'ha d'anar en compte a l'hora d'extreure resultats mitjançant la CFD, ja que poden ser enganyosos, un exemple ben clar és la mitjana de temperatures, per a un mallat desigual, que no es una dada fiable.

Bibliografia

Gerhart, Philip M. and Gross, Richard J. and Hochstein, John I. "Fundamentos de Mecánica de Fluidos", segunda edición, Addison-Wesley Iberoamericana, 1995, Wilmington, Delaware, EUA.

Çengel, Yunus A. And Cimbala, John M. "Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones". McGrawHill, 2006, C.P. 01376, México, D.F.

<http://openfoam.com>, <http://www.openfoam.org/docs/user> (acceso Diciembre 2011).

http://www.price-hvac.com/Catalog/Section_H/html/DG_ChilledBeamChar.htm (acceso Diciembre 2011)

PRESSUPOST

| Servei sol·licitat | Preu/hora | Temps invertit | Total |
|---------------------------|------------------|-----------------------|--------------|
| Analista sènior | 14€ | 200 h | 2800€ |
| Analista junior | 11€ | 130 h | 1430€ |
| Secretari | 9€ | 10 h | 90€ |
| Llicències | | | 0 |

SubTotal: 4320€

Iva : 777,6€

TOTAL: 5077,60€

El devaluament, i el del material utilitzat, s'inclou per igual en les hores invertides.