

Objectius

L'objectiu del projecte és analitzar els sistemes ja existents de climatització mitjançant bigues de fred, per a conèixer les característiques d'aquests, poder-les comparar, i analitzar-ne els paràmetres principals.

El projecte es també un mitjà de formació per l'alumne.

Per a l'anàlisi s'utilitzaran eines basades en el càlcul per elements finits. Una de les plataformes utilitzades serà openFoam.

Marc específic

La finalitat d'aquest projecte és contribuir en el desenvolupament i millora d'aquest sistema.

Què són?

Les bigues fredes són un sistema innovador de condicionament, calefacció i ventilació. És un sistema que ofereix unes condicions tèrmiques ideals, és silenciós i enèrgicament eficient.

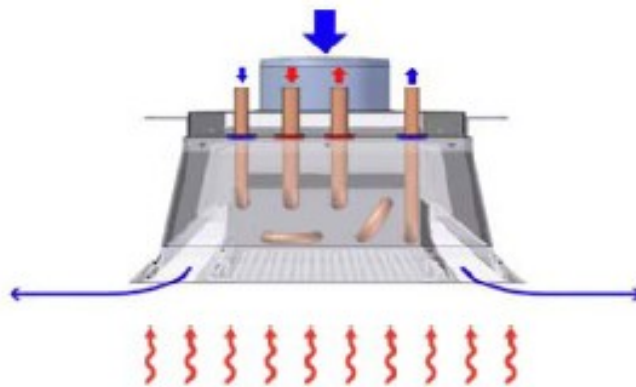
Permeten ser integrades amb les diferents geometries de falç sostre o adaptats als requeriments arquitectònics. D'altra banda el cost de manteniment del sistema es baix.

Existeixen diferents possibilitats amb bigues fredes, actives i passives, amb posició vertical o horitzontal

PARTS BÀSIQUES

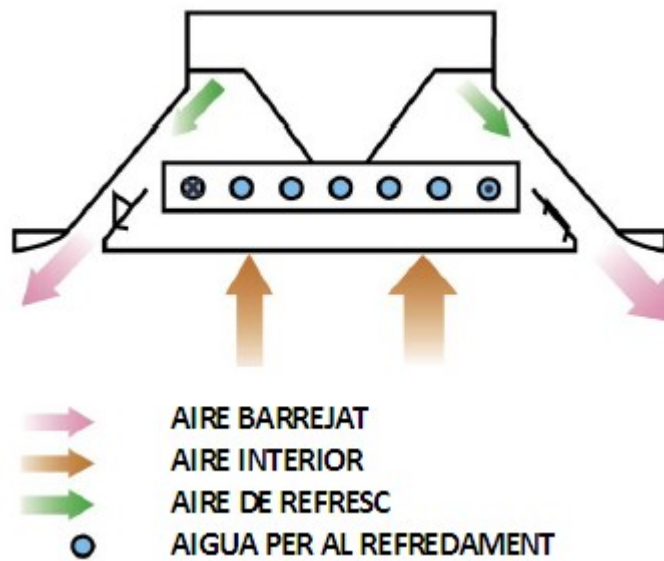
Tot i que hi ha diferents geometries i variacions en general les bigues fredes actives consten de les següents parts:

- 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.
- Reixa 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.



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 genera un arrossegament de l'aire interior, el qual es veu 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 són injectats a l'interior del recinte per efecte Venturi. El cabal d'aire interior abans de ser barrejat es entre 2 i 5 vegades l'aire primari.



Justificació

He elegit aquest projecte perquè és un tema que m'atrau i em permet seguir formant-me.

El projecte m'introdueix en un tipus d'anàlisis i eines que no he tingut la sort d'utilitzar durant la carrera i he aprofitat l'oportunitat que m'oferia el departament de Climatització de la facultat.

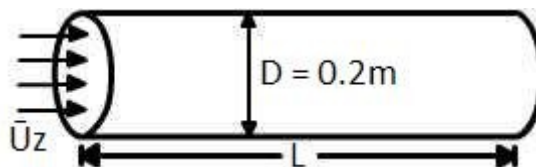
La simulació em permet aplicar coneixements adquirits durant la carrera, especialment de les assignatures termodinàmica i transferència de calor, fonaments de climatització, i les assignatures que les introdueixen.

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.

PRIMERA INTRODUCCIÓ A OPENFOAM

Canonada senzilla

Anàlisi del comportament d'un fluid en una canonada senzilla



Creem directori.

En la carpeta "tub exemple", creem les carpetes "0", "constant" i "system".

-En la carpeta "0", crearem els documents que definiran els camps en el temps "0". En el nostre cas velocitats i pressions.

-En la carpeta "constant", agregarem un document "transportProperties" on definirem la viscositat dinàmica, crearem també una altre carpeta "polyMesh", on definirem la geometria de la malla.

-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'indicaran quines equacions s'utilitzaran per resoldre el cas.

Per analitzar el comportament d'un fluid a través d'una a canonada primer definirem la malla.

La malla es troba definida en el document "blockMeshDict" que es troba en el directori "tub exemple/constant/polyMesh"

La malla que volem obtenir es un cilindre format per hexaedres.

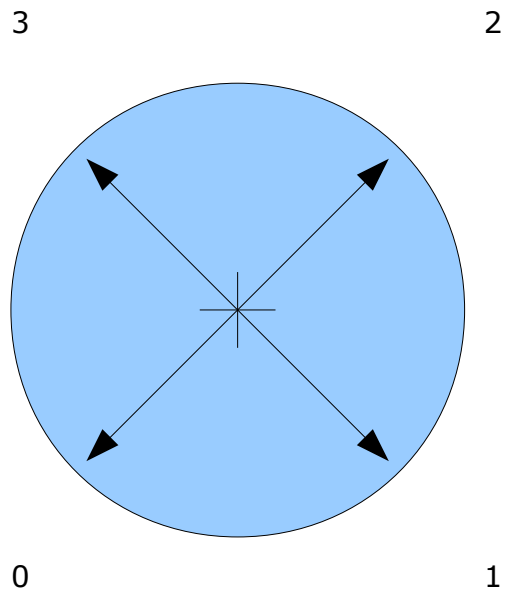
Definint la malla i anomenant cares

Definim la superfície del cilindre.

Centrant el eixos al centre de la canonada, definim els punts de la secció d'entrada:

0 (-0.707106781, -0.707106781 0)

- 1 (0.707106781, -0.707106781 0)
- 2 (0.707106781, 0.707106781 0)
- 3 (-0.707106781, 0.707106781 0)



i els seus semblants en la secció de sortida:

- 4 (-0.707106781, -0.707106781 -80)
- 5 (0.707106781, -0.707106781 -80)
- 6 (0.707106781, 0.707106781 -80)
- 7 (-0.707106781, 0.707106781 -80)

Per defecte els punts s'uneixen en línia recta, la nostra canonada té una secció circular per tant hem d'indicar que els punts s'uniran per una arc, sinó la nostra canonada seria de secció quadrada.

unirem el punts

0 i 1 per un arc que passi per (0 -1 0)

1i 2 per un arc que passi per (1 0 0)

2i 3 per un arc que passi per (0 1 0)

3i 0 per un arc que passi per (-1 0 0)

4i 5 per un arc que passi per (0 -1 -80)

5i 6 per un arc que passi per (1 0 -80)

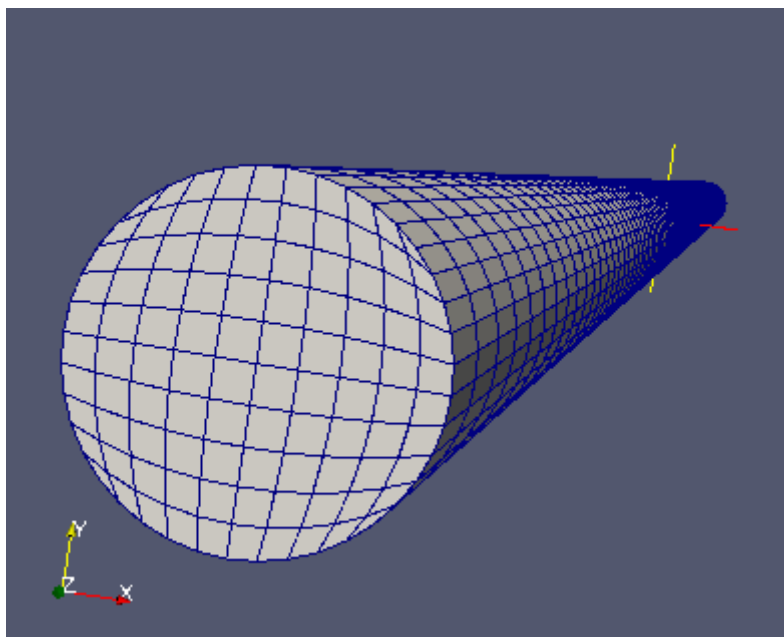
6i 7 per un arc que passi per (0 1 -80)

7i 4 per un arc que passi per (-1 0 -80)

Les unions en l'eix z es a dir 0-4 1-5 2-6 3-7, s'han d'unir en línia recta per tan no farà falta donar indicacions.

Finalment indiquem el nombre de divisions i la forma del mallat. en el nostre exemple hem seleccionat hexaedres, 10 divisions en l'eix x, 10 divisions en l'eix y, i 100 divisions en l'eix z.

Amb aquestes indicacions queda definida la següent malla, tot i que no podrem crear-la i per tant visualitzar-la, fins que no s'hagi anomenat les parets exteriors i s'hagi definit el document que controla la discretització del temps.



És necessari que en aquest mateix document s'anomeni les cares exteriors per poder definir les condicions de contorn més tard, per estalviar feina, totes les cares que tinguin les mateixes condicions de contorn les anomenarem igual, en aquest cas les 2 seccions (entrada-sortida) tindran un nom diferent, i la paret formada per 4 cares unides tangencialment compartiran nom.

La secció d'entrada (0, 1, 2, 3) l'anomenarem "entrada".

La secció de sortida (4, 5, 6, 7) l'anomenarem "sortida".

La paret exterior del tub (3 7 6 2) , (0 4 7 3) , (2 6 5 1) , (1 5 4 0)

les anomenarem "paret"

Definint el temps

Ens disposem a editar el document controlDict, que es troba en el directori "tub exemple/system".

En aquest document, indicarem les equacions que volem utilitzar per resoldre el cas. Per fer-ho hem de saber quins camps volem estudiar i quines hipòtesis considerarem per aquest primer contacte amb l'aplicació hem seleccionat un cas senzill de fluid incompressible del qual volem estudiar-ne velocitat i pressió. Per tant hem elegit el conjunt d'equacions recollides amb el nom "icoFoam".

Serà convenient per tant afegir el arxius pertanyents a "icoFoam" en el directori "tub exemple/system".

En aquest document s'ha d'indicat també en quin temps s'inicia la simulació (generalment $t=0$), en quin temps finalitza i l'increment de t .

En una simulació, per estalviar espai, es pot decidir no guardar totes les solucions per a tots els increments de t . Aquest document també conté aquesta informació.

Aquesta simulació comença en l'instant "0", acaba en l'instant "14", l'increment de t és 1. i guarda les solucions per a $t= 2, 4, 6...$

Arribats a aquest punt ja podem demanar a openFoam que ens construeixi la malla, per fer-ho, des de la terminal, de de la carpeta "tub exemple" executem la comanda "blockMesh".

Si tot ha anat bé, la comanda haurà creat en el directori "tub exemple/constant/polyMesh" uns arxius que contenen informació de les cares i els nexes de la malla. Aquests arxius poden ser modificats, però és molt més còmode haver posat bé tota la informació en l'arxiu "blockMeshDict".

Definint les propietats de transport

En aquest exemple només caldrà indicar el valor de la viscositat dinàmica en el document "transportProperties", que serà constant i de valor 2.

Definint les condicions inicials i les condicions de contorn

Per a executar la simulació només falta definir les condicions inicials i les condicions de contorn.

Adjuntarem en la carpeta "0", els arxius "p" i "U" que contindran la informació dels camps pressió i velocitat en l'instant 0.

Les condicions que imposarem són les que descriuen una canonada en la qual entra aigua a velocitat constant i surt a pressió relativa 0 és a dir a l'atmosfera

condicions inicials de pressió:

-internalField	uniform 0;	
-entrada	zeroGradient;	
-paret	zeroGradient;	
-sortida	fixedValue;	uniform 0;

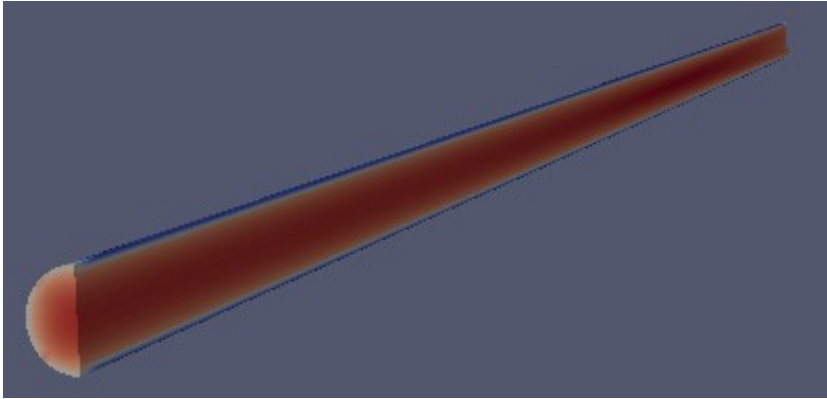
condicions inicials de velocitat:

-internalField	uniform (0 0 0);	
-entrada	fixedValue;	uniform (0 0 -10);
-paret	fixedValue	uniform (0 0 0);
-sortida	zeroGradient;	

Analitzant els resultats

Per analitzar els resultats és necessari visualitzar la secció de la canonada.

Com es pot observar en la imatge, el perfil de velocitats de la canonada és aproximadament parabòlic, en les parets de la canonada la velocitat es 0, i a mesura que ens acostem al centre va augmentant. És un perfil que s'ajusta molt a la realitat i que en la majoria de casos seria suficientment detallat.



Perfil de velocitats

Anàlisi del perfil d'una ala

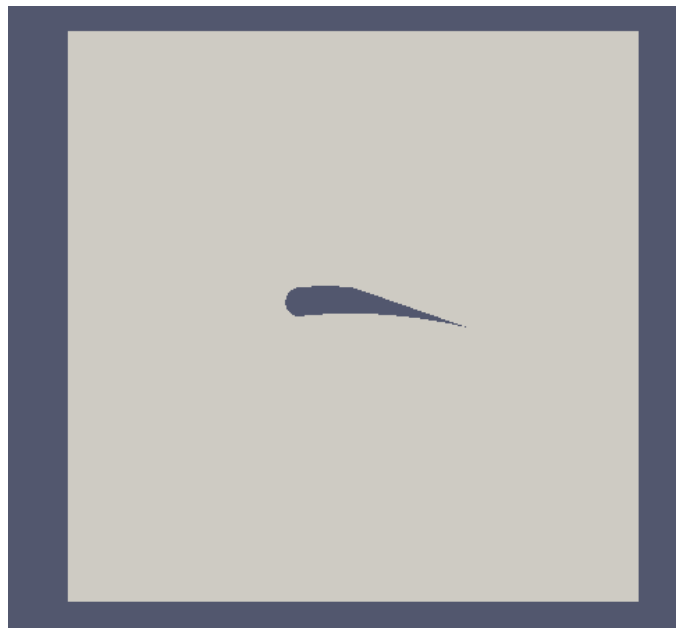
Per a l'anàlisi per agilitzar càlculs assumirem que treballem amb un gas incompressible en estat estacionari, per tant recuperarem l'algoritme "simpleFoam" i el copiarem a la carpeta "system".

Afegirem també al directori "constant" les propietats de transport i les propietats de l'aire.

El volum de control

La malla consisteix en un espai limitat exteriorment per un rectangle àmpliament separat de la paret interior amb la forma del perfil d'una ala.

D'aquesta manera podrem simular el moviment relatiu de l'ala i l'aire llençant aire des de la paret d'entrada. Perquè la paret no afecti al càlcul és important que l'espai entre l'ala i la paret sigui gran, seria també interessant tenir una malla mes acurada al voltant de l'ala que a prop de la paret, ja que el nostre objectiu calcular l'estat de l'aire al voltant de la paret.



perfil a analitzar

La malla consisteix en 8 hexaedres. el costat interior de quatre hexaedres ha estat arrodonit per aconseguir la forma de l'ala.

Hem definit les cares les següents cares:

Entrada: la forma la paret esquerra del rectangle exterior

Sortida: la forma la paret dreta del rectangle exteriorment

Paret: la forma la paret interior i la la superior i inferior del rectangle exterior

Estat inicial i propietats al contorn

El coeficient de pressió la paret "entrada" i "sortida" serà 0, és a dir, la pressió serà la mateixa que el flux lliure. ho indicarem amb la comanda: "freestreamPressure".

En la paret "Paret", la pressió estarà determinada per la condició gradient zero, introduint la comanda: "zeroGradient".

La velocitat en la paret "entrada" i "sortida" serà en direcció horitzontal i d'igual valor, usarem la comanda "freestreamValue". Per altra banda en la paret "paret", la velocitat serà constant i de valor 0 durant tota la simulació utilitzarem la comanda "fixedValue".

Inicialitzarem també la propietat de la viscositat de turbulència que serà igual en tot el volum utilitzarem la comanda "freestreamValue, a excepció del voltant de l'ala que serà constant i de valor 0.

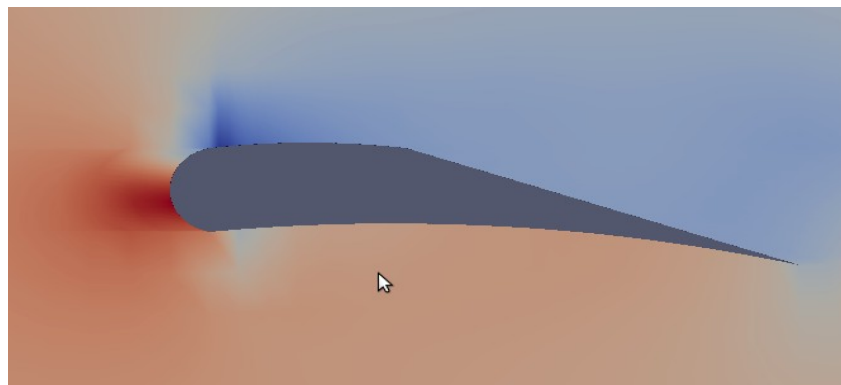
Temps de control

En la carpeta "controlDict", definirem el temps, la simulació constarà de 500 passos d'un segon cada 1, per no omplir l'ordinador de dades poc rellevants guardarem les resultats cada 50 segons.

Resultats

Primer de tot s'ha de tenir en compte que és possible que executant la comanda "SimpleFoam" l'algoritme no convergeixi, per sort no ha estat el nostre cas. La solució més senzilla en aquest cas seria executar primer l'algoritme "PotentialFoam", per a tenir una aproximació i seguidament executar "SimpleFoam".

En aquest cas s'ha procedit en pels dos camins i els resultats son indistingibles de manera que he adjuntat només les imatges del primer cas.



Distribució de pressions

El perfil utilitzat és un perfil molt simple que utilitza corbes de curvatura uniforme, i fins i tot una recta, és un perfil molt pobre, però que serveix perfectament per entreveure la funcionalitat d'aquesta objecte.

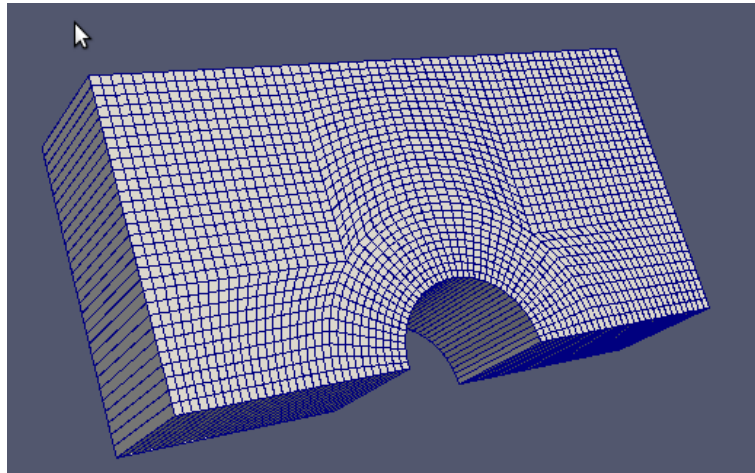
Com es pot observar en la imatge, la distribució de pressions és la esperada, la pressió és major a la part inferior de l'ala i això permet la suspensió.

D'altra banda es pot observar també una gran oposició a la part davantera del perfil, que s'oposaria al moviment, que tot i que es podria minimitzar no es pot fer desaparèixer.

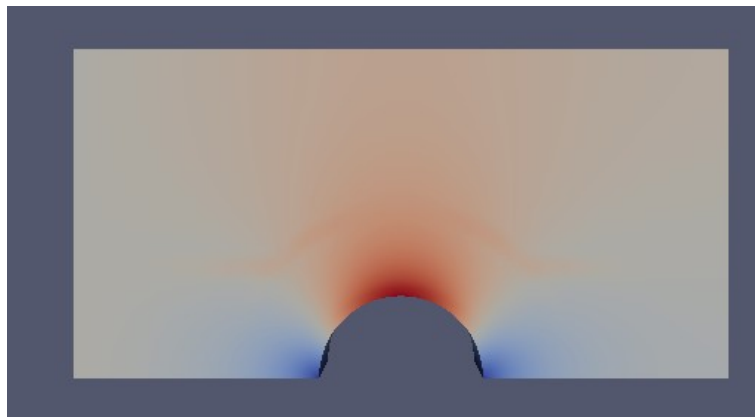
DIFERENTS EXEMPLE

CAS 1

Simulació del moviment d'un fluid incompressible entre cilindres transversals



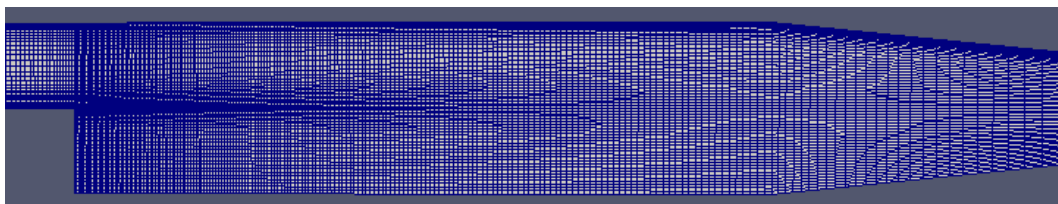
Mallat



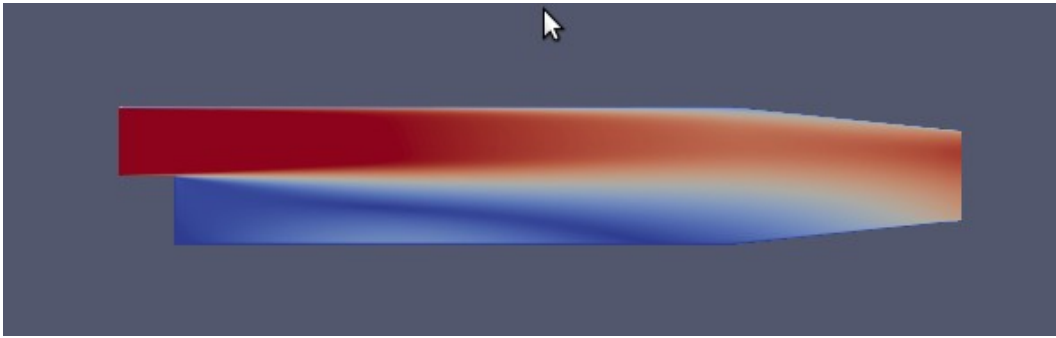
Velocitat del fluid

CAS 2

Simulació d'una canonada amb canvi de secció. En aquesta simulació s'ha decidit fer un mallat més acurat en els punts on es preveia més activitat.



mallat focalitzat



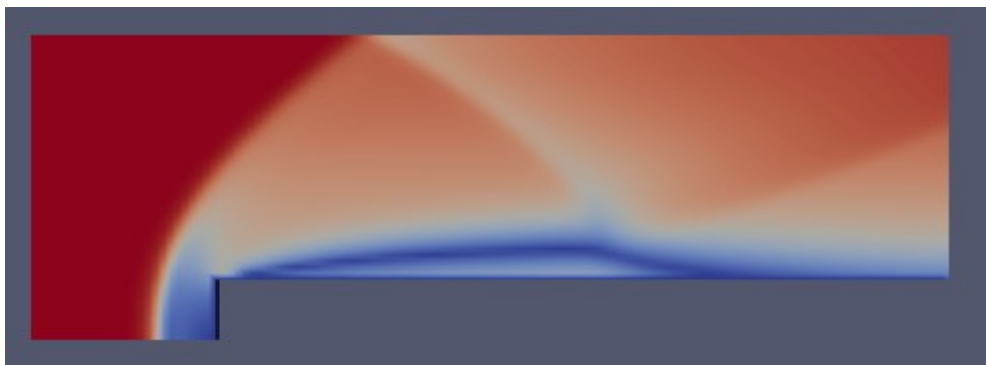
Distribució de velocitats

CAS 3

Simulació d'un fluid supersònic, que passa per un esglaió del 20%. En aquest cas es poden apreciar els xocs del frontals de les ones generades



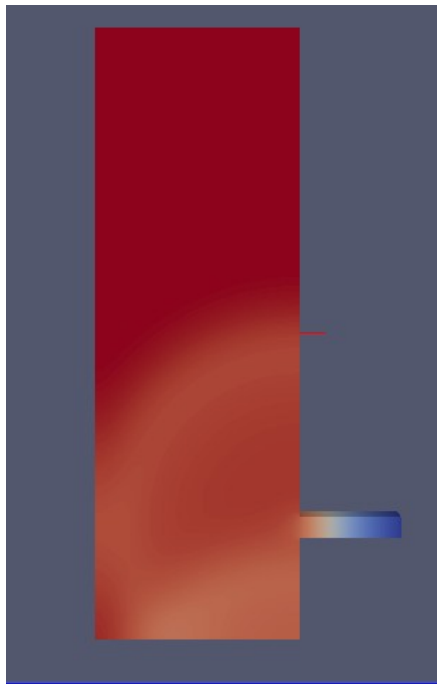
Distribució de pressions



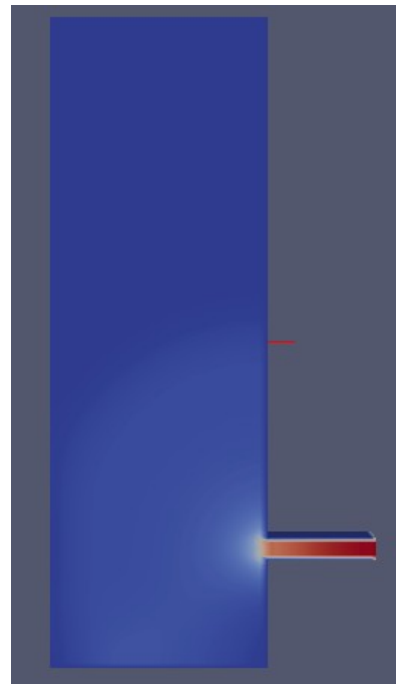
Distribució de velocitats

CAS 4

Simulació de l'obertura sobtada d'una vàlvula d'un tanc que conté un fluid a pressió alta. En aquest cas es poden observar les ones de propagació.

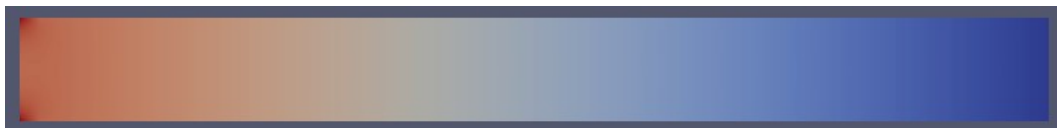


Distribució de pressions

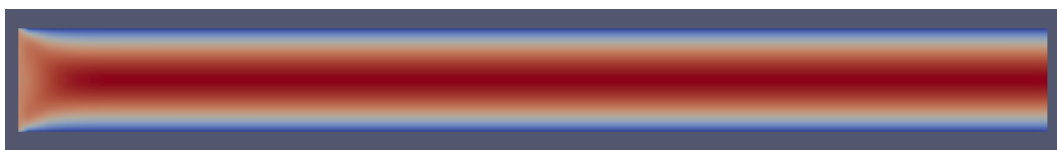


Distribució de velocitats

Simulació d'un fluid conductor a través d'un camp magnètic.

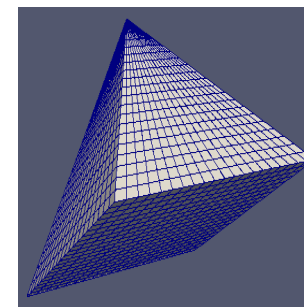
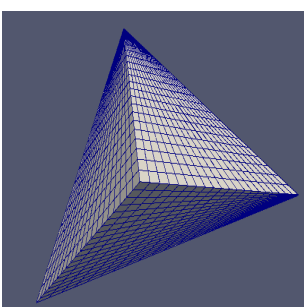
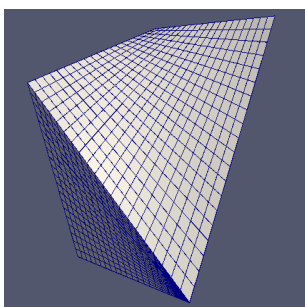
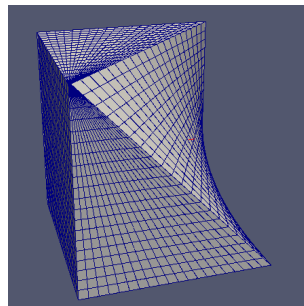
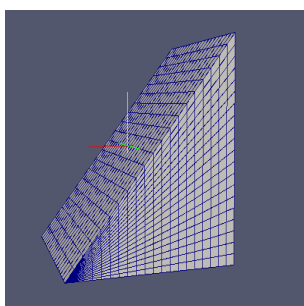
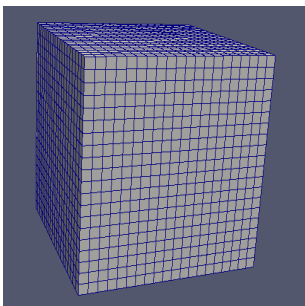
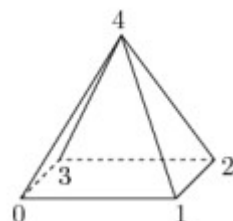
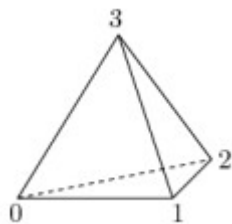
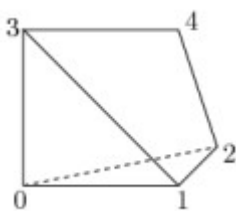
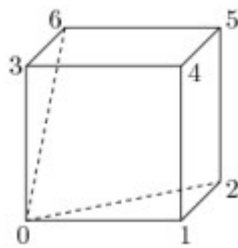
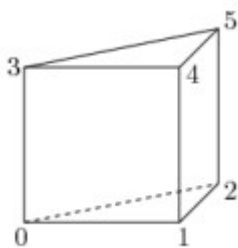
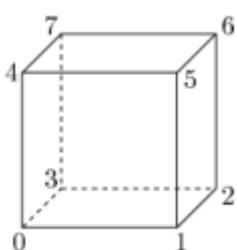


Distribució de pressions



Distribució de velocitats

Exemples de geometria de malla



Aproximant el model

Per a la primera aproximació simularem una secció d'una habitació amb una font constant de fred a la part superior central.

Creem la carpeta principal "H9Blocs" i dins d'aquesta l'esquelet, la carpeta "0" amb les condicions inicials, la carpeta "system" on indicarem l'algoritme a utilitzar i controlarem el paràmetres relacionats amb el temps, la carpeta "constant" on adjuntarem el model de transport utilitzat la gravetat i la carpeta "polyMesh" que contindrà la informació referida a la malla.

Creant el mallat

Creem un document de text nou a la carpeta "polyMesh", l'anomenarem "blockMeshDict".

Per a poder-ho modificar més endavant crearem l'habitació com a suma de 9 rectangles.

Primer indiquem els vèrtex dels 9 rectangles, com que volem obtenir la simulació d'una secció, doblem els punts a una profunditat de per exemple 0.1, perquè openFoam pugui procedir.

```
(0 0 0)    (10 0 0)    (20 0 0)    (30 0 0)
(0 10 0)   (10 10 0)   (20 10 0)   (30 10 0)
(0 20 0)   (10 20 0)   (20 20 0)   (30 20 0)
(0 30 0)   (10 30 0)   (20 30 0)   (30 30 0)
```

i doblem,

```
(0 0 0.1)  (10 0 0.1).....
```

De moment tenim creats els punts:

```
12 13 14 15
```

```
8  9  10 11
```

4 5 6 7

0 1 2 3

col·locats d'aquesta manera a més tenim els mateixos punts amb profunditat. Si em seguit el mateix ordre, els punts de la part posterior els calcularem sumant 16 al punt original.

Una vegada creats els vèrtex els unim formant hexaedres:

Ho farem indicant els punts que s'han d'unir en sentit horari. Una vegada indicats els punts de la cara original indicarem els mateixos punts però amb coordenada z no nul·la, si hem seguit totes les instruccions nomès caldrà copiar el vector que tenim i sumar 16.

hex (0 1 5 4 16 17 21 20) (20 20 1) simpleGrading (1 1 1)

hex (1 2 6 5 17 18 22 21) (20 20 1) simpleGrading (1 1 1) ...

El nombre de divisions el deixarem per exemple en 20 verticals i 20 horitzontals, que estaran separades equidistantment. No farem cap divisió en l'eix z ja que estem simulant un cas 2D.

Finalment en aquest document, afegirem el nom que volem donar a les cares exteriors per definir posteriorment les condicions de contorn.

Començarem definint la cara frontal i la posterior, per a simular casos 2D openFoam permet definir les cares com a "empty" que és el que farem, l'anomenarem "backAndFront"

definirem també les parets exteriors exceptuant el costat superior del rectangle 7 (central superior).

I finalment anomenarem el central superior per separat:

wall paret

(0 1 17 16) (1 2 18 17) (2 3 19 18) (12 13 29 28)

(14 15 31 30) (0 4 20 16) (4 8 24 20) (8 12 28 24)

(3 7 23 19) (7 11 27 23) (11 15 31 27)

wall fontFred

(13 14 30 29)

empty frontAndBack

```
(0 1 5 4 )(16 17 21 20)      (1 2 6 5 )(17 18 22 21)
(2 3 7 6 )(18 19 23 22)      (4 5 9 8 )(20 21 25 24)
(5 6 10 9 )(21 22 26 25)      (6 7 11 10)(22 23 27 26)
(8 9 13 12 )(24 25 29 28)     (9 10 14 13 )(25 26 30 29)
(10 11 15 14) 26 27 31 30)
```

adjuntarem també al final del document: "mergePatchPairs". Aconseguirem d'aquesta manera que openFoam uneixi les cares internes.

Condicions inicials i de contorn

Per a especificar les condicions inicials i de contorn, a la carpeta "0", hem de crear per a cada paràmetre utilitzat en el model, les condicions inicials i per a cada cara, les condicions de contorn. En el nostre cas haurem de crear els documents de text:

"epsilon", "alphan", "k", "nut", "p", "p_rgh", "T" i "U".

El document "T" ha de tenir aquesta forma:

```
dimensions    [0 0 0 1 0 0 0];
internalField  uniform 300;
fontFred
{
    type        fixedValue;
    value       uniform 250;
```

```

}
paret
{
    type        fixedValue;
    value       uniform 300;
}
frontAndBack
{
    type        empty;
}

```

d'aquesta manera indiquem que la temperatura inicial és igual en tot el domini i que a les parets exteriors tenim una temperatura constant, la "cara" frontFred també tindrà una temperatura constant però més baixa.

Per altra banda la cara "frontAndBack", la definirem com a "empty".

Algoritme

El paquet de solucions que utilitzarem serà el bouyantSimpleFoam. Aquest paquet s'utilitza per a casos estacionaris, on el fluid es considera compressible i permet turbulències. Per tant afegirem els documents corresponents a la carpeta "system", també haurem d'especificar l'algoritme utilitzat en el document "controlDict" que crearem seguidament.

Control del temps

Creem en la carpeta "system" el document de text "controlDict". En aquest document hi indiquem bàsicament els següent:

Algoritme utilitzat: "bouyantSimpleFoam"

Temps de simulació: 0 a 3000s

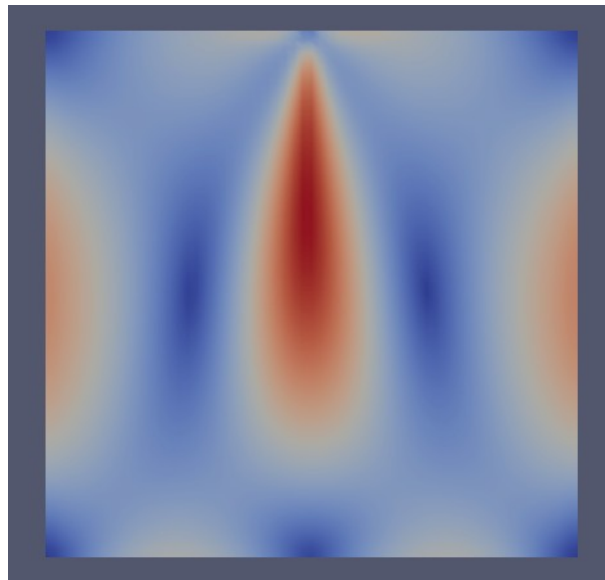
Increment de temps: 1s

És recomanable indicar altres paràmetres com per exemple en quins temps es vol guardar la informació dels camps (per no perdre informació rellevant i no ocupar massa memòria), el format en que s'han d'escriure la solució o si permet ser modificat dinàmicament durant la simulació.

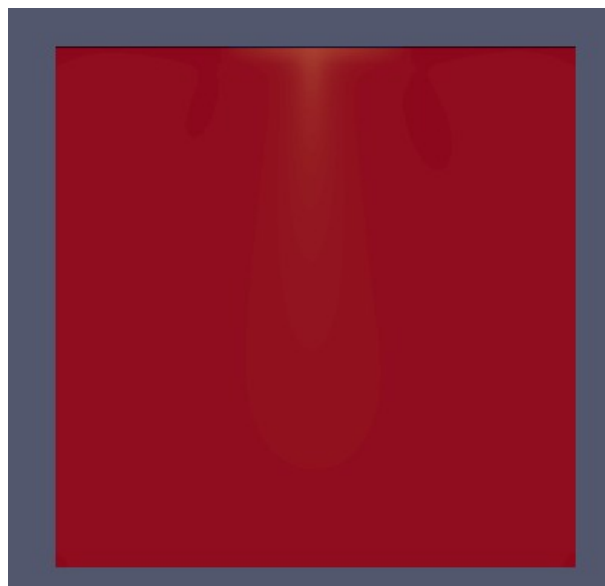
Anàlisi de resultats

Per a visualitzar els resultats ho farem amb la comanda "paraFoam".

ParaView mostrarà ordenada la informació guardada.



Velocitat



Temperatura

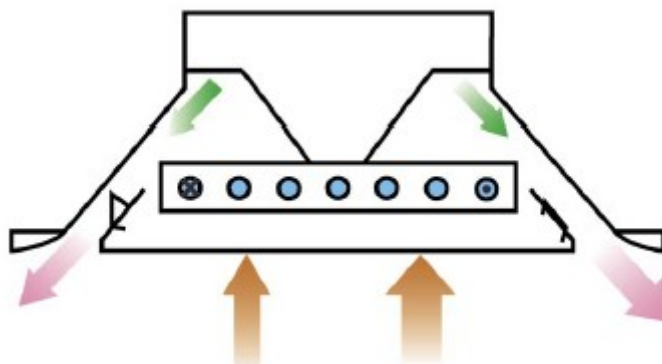
Els resultats són els esperats. Com que la temperatura és inferior en la paret central superior i la simulació s'ha fet tenint en compte la gravetat, es genera un moviment d'aire. L'aire fred baixa, creant una zona de baixa pressió i arrossegant l'aire superior lateral, i de la mateixa manera l'aire 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.

Canviant la geometria

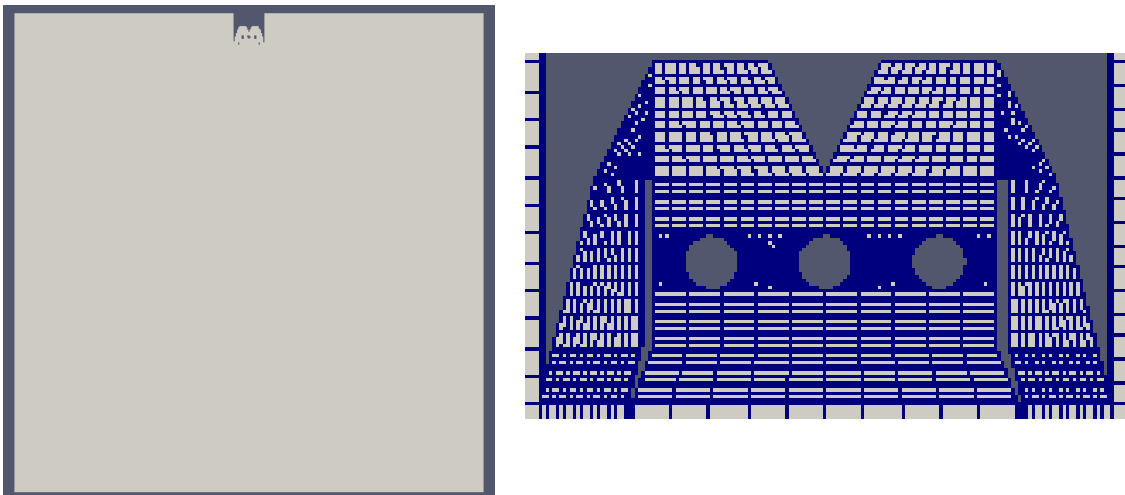
Fent uns petits canvis en geometria podem aproximar millor la secció d'una habitació refrigerada per un aparell col·locat al sostre. Per exemple eliminant el quadrat central superior, canviant-ne la mida i tornant a definir la font de fred. Obtenim:



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. Primer amb l'objectiu d'aproximar-la a l'esquema d'una secció de biga de fred, i posteriorment optimitzar-la.



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. És 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 està 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 tant per a seguir millorant la geometria buscarem altres mètodes o eines que ens permetin avançar d'una manera més eficaç.