

Resolució amb ANSYS Fluent del flux estacionari al voltant d'una esfera

Índex

Resolució amb Ansys	2
C.1 Pre-anàlisi	2
C.2 Geometria	3
C.3 Malla	5
C.4 Configuració física	8
C.5 Condicions de contorn	10
C.6 Valors de referència per a la solució	11
C.7 Solució numèrica	11
C.8 Resultats	12
C.9 Altres consideracions	16
Bibliografia	17

Resolució amb Ansys

El flux al voltant d'una esfera és un dels problemes clàssics de la mecànica de fluids. El nostre objectiu serà la resolució numèrica d'aquest problema per a un nombre de Reynolds moderat, 73.6. Per obtenir aquest valor del nombre de Reynolds triem un diàmetre per a l'esfera $D = 1$ m, una velocitat del flux incident de $v = 1$ m/s, densitat del fluid $\rho = 1$ kg/m³ i viscositat dinàmica $\mu = 0.01359$ Pa·s (aquests paràmetres no es corresponen amb cap fluid físic).

C.1 Pre-anàlisi

Per treballar amb Fluent hem d'especificar el domini de la nostra solució i les condicions de contorn que hem d'aplicar.

Domini

En aquest cas farem servir un domini prismàtic, tipus túnel de vent. Com en el cas del flux al voltant del cilindre o del perfil aerodinàmic, es tracta d'un flux extern. La Figura 1 mostra la secció transversal en $z = 0$, on l'origen de coordenades se situa sobre el centre de l'esfera.

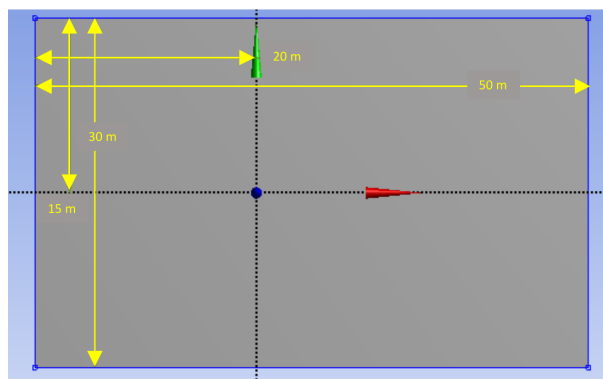


Fig. 1. Secció en el pla $z = 0$ del domini que crearem amb Fluent per a l'estudi del flux al voltant d'una esfera.

El domini és 3D i la dimensió en la direcció z l'hem d'especificar també, prendrem 20 m.

Condicions de contorn

La velocitat a l'entrada porta la direcció x i val 1 m/s. L'entrada (*inlet*) correspon al pla $x = -20$; la sortida (*outlet*) correspon al pla $x = 30$ m i imposarem la condició de pressió manomètrica nula (gauge pressure), $P = 0$ Pa. Sobre la superfície de l'esfera i la resta de les cares del prisma rectangular, aplicarem la condició de *No-slip*, amb velocitat nul·la.








C.2 Geometria




Inicia ANSYS Workbench. Quan s'obri, selecciona **Fluid Flow (Fluent)** de la columna **Toolbox**, i arrossega'l a **Project Schematic**. Canvia-li el nom, per exemple, "Esfera".

Fes clic al botó dret del ratolí sobre **Geometry** i selecciona **Properties**; a **Advanced Geometry Options** l'opció **Analysis Type** ha de ser 3D (és la que surt per defecte però convé verificar-ho). Tanca la finestra de **Properties**.

Fem clic novament al botó dret del ratolí en **Geometry** i seleccionem **Edit Geometry in DesingModeler**. S'obrirà *DesingModeler* i el primer que hem de fer és activar l'opció de **Auto Constraints** de la pestanya «Sketching». Altrament, els vèrtexs i línies del disseny no coincidiran amb els eixos de coordenades. Verifica també que en Units (barra del menú), hi ha seleccionat «Meter».

Procedim a crear la geometria amb l'esfera inclosa dins d'un prisma rectangular, que és el domini per on circularà el fluid.

- ▶ Fem clic en  XYPlane
- ▶ Per crear l'esfera anem a la barra del menú, i fem clic a **Create > Primitives > Sphere**. A la finestra **Details View**, en **FD6, Radius (>0)** posem 0.5 m. Fem  **Generate** i després  per resituar la visual. Amb això hem generat una esfera d'1 m de diàmetre, centrada a l'origen de coordenades. Per fixar-la, fem clic sobre  **Sphere1**, i a la barra de menú busquem **Tools > Freeze**.
- ▶ Ara generarem el domini prismàtic, el «Túnel de vent». Novament des de  XYPlane, fem clic en  (**New sketch**) per crear un nou esbós. Anem a «Sketching» i seleccionem  **Rectangle** per dibuixar el rectangle.

- ▶ Ara, ves a **Dimensions** per dimensionar el domini rectangular. Selecciona  **Horizontal**. Clica la vora vertical esquerra del rectangle i l'eix vertical de coordenades. Assigna a aquesta dimensió un valor de 20 m; repeteix l'operació però seleccionant la vora vertical esquerra i la dreta del rectangle. Assigna el valor de 50 m a aquesta dimensió. Selecciona ara  **Vertical**; fes clic sobre la cara superior del rectangle i sobre l'eix horitzontal de coordenades i assigna a aquesta dimensió un valor de 15 m. Repeteix l'operació, però seleccionant la part superior i inferior del rectangle, i assigna el valor de 30 m a aquesta dimensió. T'ha de quedar un esbós amb les mateixes dimensions que a la figura 1.
- ▶ A la barra del menú, selecciona **Create> Extrude**. I a la finestra **Details View**, fes **Apply** en **Geometry**. Als paràmetres **Direction** triem **Both-Symmetric** (és la tercera opció) i en **FD1, Depth (>0)** posem 10 m. Finalment, fem clic a  **Generate**. La figura 2 mostra la geometria que hem generat fins aquí.

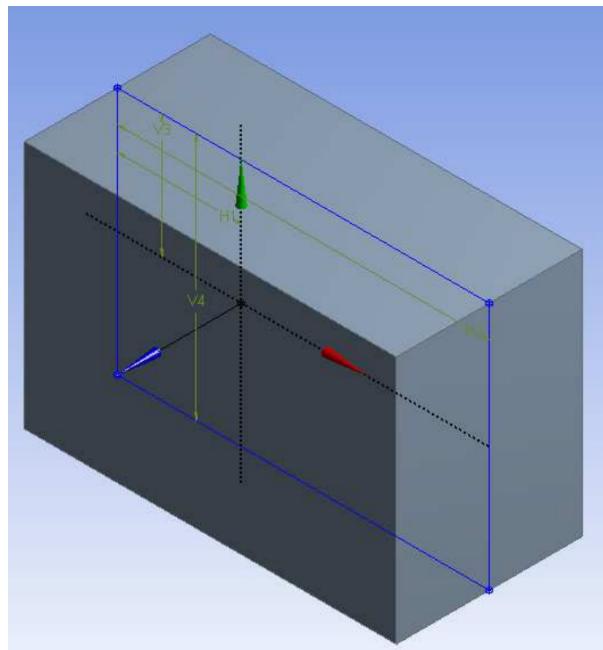








Fig. 2. Vista tridimensional del domini computacional dibuixat amb DesignModeler.

- ▶ Per completar la creació de la geometria, hem de fer una operació lògica entre els volums que hem generat: hem de restar el volum de l'esfera al volum del prisma, perquè *és en aquest volum on tenim el fluid*. Per tant, anem a **Create > Body Operations**. A la finestra **Details Vi-**

ew, selecciona **Cut Material** en **Type**. Al **Tree Outline** tens  **2 Parts, 2 Bodies**, desplega'l i fes clic sobre  **Solid**. A la finestra **Details View**, a **Bodies** selecciona **Apply** i després fes  **Generate**. Finalment, clica  **Solid**, i a la finestra **Details of Body** en Fluid/Solid tria **Fluid** (per defecte hi ha **Solid**!). En aquest pas, **guarda el projecte**.

C.3 Malla

En aquesta secció la geometria que hem elaborat servirà per crear una malla de 511711 elements: es dividirà en 100 divisions en la direcció x , 60 en la direcció y , i 40 en la direcció z .

Des de **Workbench** fem doble clic sobre Mesh, i s'obrirà el mòdul per generar la malla. Primer veurem com és la malla per defecte. Triem la vista del pla xy . Fem clic a  **Mesh** i seleccionem  del menú de dalt. La malla per defecte (Figura 3) és no estructurada i irregular. Hem de refinar la malla generada per defecte per poder controlar la grandària de les cel·les.

Recordem que el límit de la versió d'ANSYS Fluent que utilitzem és de 512000 cel·les, i que això ens limita els tipus de malla que podem generar.

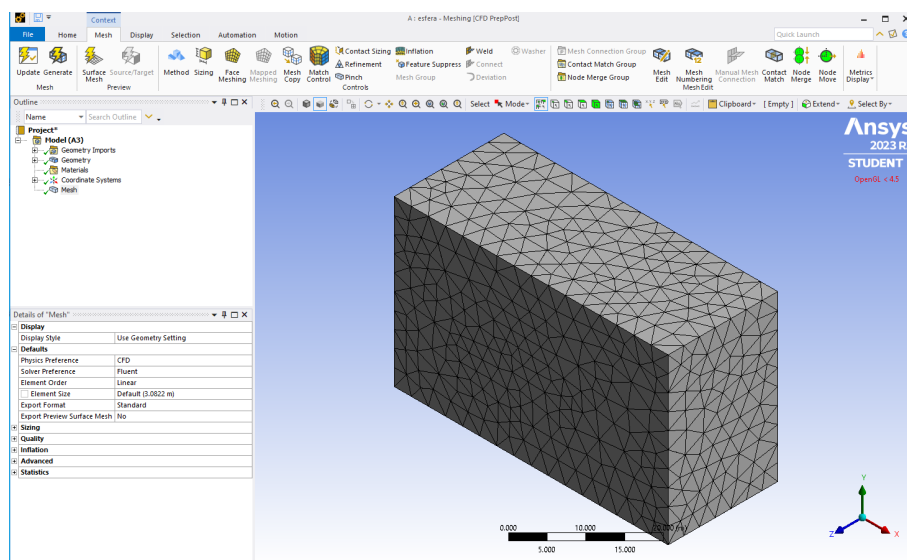















Fig. 3. Captura de pantalla de la malla que **Meshing** genera per defecte.





Primer dimensionarem les cares, començant per les superfícies més grans, paral·leles a l'eix x .

- ▶ Al menú de l'apartat **Mesh**, seleccionem la icona **Face Meshing** . Face Meshing: Enable the generation of a free or mapped mesh on selected faces. –verifica que hi ha activat **Face**  Face (Ctrl-F): Select or highlight faces on your model. Use the Ctrl button or hold the mouse button to select multiple faces. i selecciona les quatre superfícies rectangulars més grans. Utilitza **Rotate**  Rotate: Activate the Rotate feature. Free rotation is the default behavior. This option also includes a drop-down menu to specify either free rotation for rotation about the current axis. mentre tens la tecla CTRL activada per girar convenientment la figura i poder seleccionar d'una tacada les quatre superfícies. A la casella **Geometry** de la finestra «Details of Edge Sizing», clica **Apply**.
- ▶ Tot seguit definirem la dimensió de les arestes, així que seleccionem **Sizing**  del menú **Mesh** i tot seguit **Edge**  del submenú de la figura. Seleccionem els quatre eixos en la direcció x , i fem clic a **Apply**. Dins l'apartat **Geometry** ha d'aparèixer ara **4 Edges**. Per dividir les arestes seleccionades en 100 parts, la casella Type ha de mostrar **Number of Divisions**, i a sota escrivim 100. L'opció de **Capture curvature** ha de ser **No** i apareixerà la casella **Behavior**, on triem l'opció **Hard**. L'opció hard és una instrucció per a l'algoritme mallador perquè faci exactament el nombre de divisions que volem.
- ▶ Per dimensionar les arestes en la direcció y , anem novament a **Face Meshing**  i amb **Face**  Face (Ctrl-F): Select or highlight faces on your model. Use the Ctrl button or hold the mouse button to select multiple faces. seleccionem les quatre arestes paral·leles a y . Seguim els mateixos passos que abans i amb **Number of Divisions** com a opció de **Type**, posem a sota 60 divisions, amb l'opció **Hard** seleccionada per a **Behavior**.
- ▶ Fem igual amb les arestes en la direcció z , imposem 40 divisions, i l'opció **Hard**.

Només ens queda treballar les dues cares que resten, corresponents a l'entrada i la sortida del flux, perpendiculars a l'eix x .

- ▶ Operant de forma similar, cliquem la icona **Face Meshing**  amb **Face**  Face (Ctrl-F): Select or highlight faces on your model. Use the Ctrl button or hold the mouse button to select multiple faces. activat per seleccionar les dues cares més petites. A la casella **Geometry** de la finestra «Details of Edge Sizing», clica **Apply**.
- ▶ Tot seguit dimensionarem les arestes, començant per les que porten la direcció de l'eix z . Seleccionem **Sizing**  del menú **Mesh** i tot seguit **Edge**  Edge (Ctrl-E): Select or highlight edges on your model. Use the Ctrl button or hold the mouse button to select multiple edges.. Seleccionem els quatre eixos en la direcció z , i fem clic a **Apply**. Dins l'apartat **Geometry** ha d'aparèixer **4 Edges**. A **Type** seleccionem **Number of Divisions**, a sota posem 40 divisions i en **Behavior** triem l'opció **Hard**.
- ▶ Amb les arestes en la direcció y anem novament a **Sizing**  i utilit-

zem **Edge**  per seleccionar les quatre arestes que porten la direcció y . A **Type** seleccionem **Number of Divisions**, hi posem 60 divisions amb l'opció **Hard** a **Behavior**.

A l'arbre de la finestra «Outline», clica  i amb el botó dret del ratolí, selecciona  **Update** del menú desplegable. En uns segons veurem la malla generada. A la finestra «Details of Mesh», anem a **Statistics** per veure les característiques i el nombre d'elements de la malla, i veurem que a **Elements** ens surten 192947, així que tenim encara marge per refinar-la més. Dins la mateixa finestra, a la pestanya **Quality**, triem **Smoothing** > **High**. Tornem a fer  **Update**. El nombre d'elements és ara 194737. Despleguem la pestanya «Sizing» i veurem que tenim **Element Size** establert a un valor per defecte de 3.0822 m. El modificarem al valor de 0.53 m. Després de  **Update**, veurem que a **Elements** ens en surten 497035 (Fig. 4).

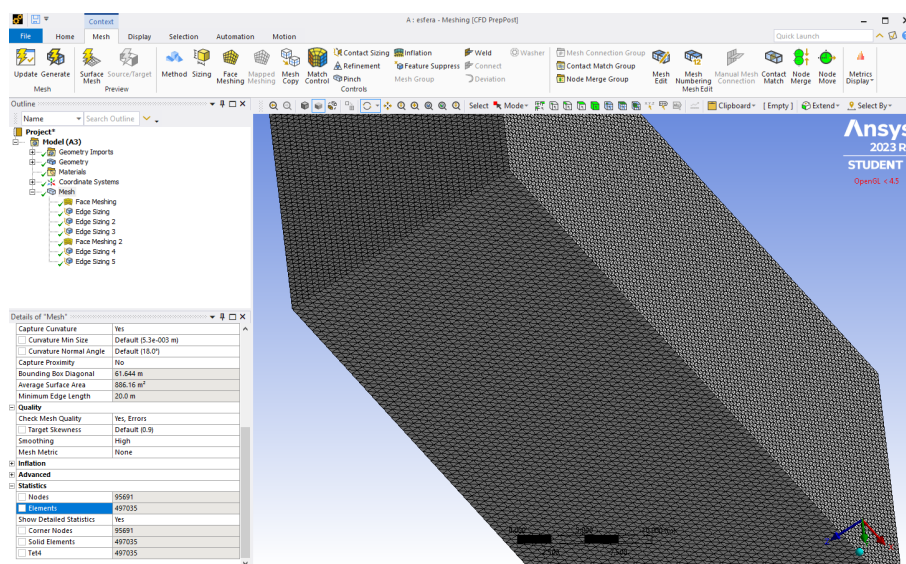

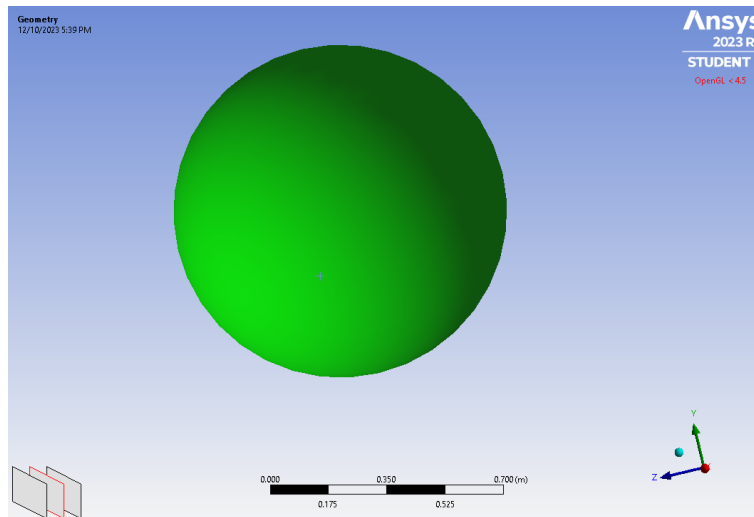






Fig. 4. Malla pràcticament al màxim del nombre d'elements que permet la versió d'estudiant.


Ara hem de donar noms a les superfícies, per poder-les tractar després i assignar les condicions de contorn. Per això anem a l'arbre, fem clic a «Geometry» i després seleccionem la icona **Face** . Amplia el focus i selecciona la superfície de l'esfera (fes clic on veus la superfície, es tornarà tot de color verd; ara busca al vèrtex inferior esquerre i clica la segona capa en comptes de la primera):



Prem el botó dret del ratolí y del menú selecciona  **Create Named Selection**. S'obrirà una finestra de diàleg on pots introduir el nom que vulguis, per exemple **wall_sphere**.

Ara selecciona les quatre cares rectangulars grans amb , mantenint CTRL per agrupar-les totes en la mateixa selecció i utilitzant  entremig per girar el volum convenientment. Hauràs de tenir seleccionades (les veuràs en color verd) quatre superfícies, i amb el botó dret del ratolí fem  **Create Named Selection**; en aquest cas el nom convé que sigui **wall**.


De manera similar, donarem nom a la superfície d'entrada, **inlet** i a la de sortida que anomenarem **outlet**.

També podem anomenar la zona del domini on tenim el fluid. Cliquem la icona **Body** , seleccionem el volum, i amb el botó dret del ratolí, triem el nom que en aquest cas serà **flow_domain**.

Guarda el projecte i tanca la finestra.

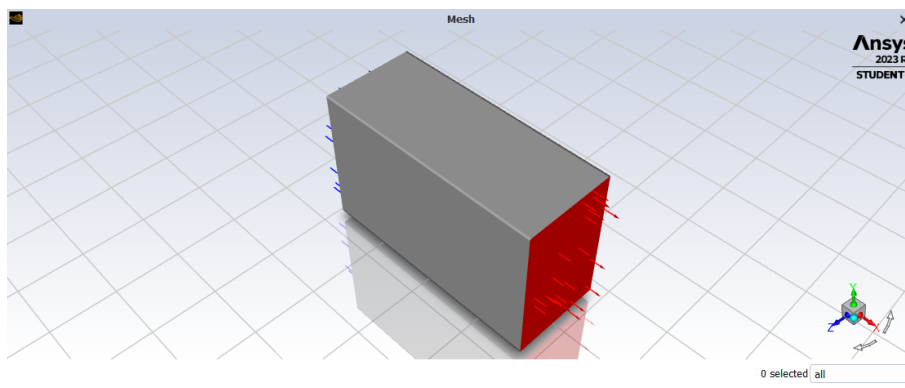
C.4 Configuració física

En aquest pas, obrirem Fluent per definir les condicions de contorn del problema.

A la finestra del projecte, dins del menú **Tools** fes clic en  **Update Project**. Això carregarà la malla en Fluent. Fes doble clic en **Setup**, i la finestra de Fluent

Launcher s'obrirà. Marca la casella **Double Precision**. Per tal que el *solver* s'executi més ràpidament, a **Processing Options** podem seleccionar **Parallel** i canviar el nombre de **Solver Processes** a 4; a **Parallel Settings**, seleccionem 1 **Solver GPGPUs per Machine**. Això permetrà als usuaris amb un processador de diversos nuclis utilitzar-ne 4.

Fes OK per iniciar Fluent. A la consola veuràs la sortida de la importació de la malla i els diagnòstics preparatoris. Tot hauria de sortir correcte i hauries de veure quelcom similar a la figura següent:



El primer que farem és definir el *solver* que utilitzarem. Selecciona **Problem Setup > General**. A **Solver**, selecciona **Pressure-Based** (el que hi ha seleccionat per defecte).

A **Models**, el model que utilitzarem serà el **Viscous**. Fes doble clic i dintre de les opcions que apareixeran a la finestra «Viscous Model», selecciona **Laminar**, ja que per a un $Re=73.6$ el flux és laminar (i estacionari).

Especificarem també les propietats dels materials; per això, anem a **Setup > Materials > Fluid**. Amb el botó dret, seleccionem **New**, i s'obrirà la finestra «Create/Edit Materials». Establim el valor de **Density** a 1 kg/m^3 , i **Viscosity** a $0.01359 \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$. Defineix el nou fluid com a **fluid-1**, fes clic a **Change/Create** i després **Close**. A la llista de materials apareixerà el nou fluid, **fluid-1**.

Un cop definit fluid-1, hem d'especificar que les cel·les de l'interior del domini tindran aquest fluid: despleguem **Setup > Cell Zone Conditions** i fem doble clic sobre **flow-domain**. Verifiquem que a la finestra «Fluid» el que hi ha a **Material Name** és **fluid-1** i fem **Apply / Close**.

C.5 Condicions de contorn

Obre el menú de condicions de contorn fent doble clic sobre la branca **Boundary Conditions** de l'arbre **Setup**.

Entrada

Primer, establim les condicions de frontera per a l'entrada. Selecciona **inlet** i a sota n'apareixeran els detalls. Quan anomenem una paret com *inlet*, el tipus de condició de contorn predeterminada per Fluent es **Velocity Inlet**. Si no ho està, selecciona aquesta opció. Fent doble clic sobre **Inlet** o directament **Edit**, especifica la magnitud i direcció de la velocitat a l'entrada. Selecciona **Velocity Specification Method > Components**. Especifica el valor de **X-Velocity** = 1 m/s. Per acabar fes **Apply / Close**.

Sortida

A **Boundary Conditions**, selecciona **outlet** per veure'n els detalls. El tipus de condició de contorn hauria de ser **pressure-outlet** de forma predeterminada, si no, selecciona aquesta opció. Fes clic a **Edit**, i assegura't que **Gauge Pressure** (pressió manomètrica) sigui 0. Després pots tancar la finestra.

Esfera

A la finestra de **Boundary Conditions**, selecciona **wall_sphere**. De forma predeterminada, hauria de ser de tipus **wall**. Fes clic a **Edit**. Veuràs que de manera predeterminada també, la superfície de l'esfera serà una frontera de tipus paret estacionària amb *no-slip*.

Parets externes

A la finestra de **Boundary Conditions**, selecciona **wall**. Igual que l'esfera, hauria de veure's l'opció **Wall** preseleccionada.

C.6 Valors de referència per a la solució

Abans de passar a la solució hem d'establir els valors de referència. Fes doble clic sobre **Reference Values** i a la finestra selecciona **Compute From > Inlet**. Verifica els valors de referència que apareixen per assegurar-te que són els que hem establert (densitat, viscositat, pressió, velocitat). A **Reference Zone**, selecciona **flow_domain**.

Guarda el projecte.

C.7 Solució numèrica

Methods

A **Solution > Solution Methods** tot hauria de sortir com ho volem, però ens hem d'assegurar que sigui així.

A **Pressure-Velocity Coupling, Scheme**, selecciona **COUPLED**. A **Spatial Discretization**, la selecció per a **Momentum** és **Second Order Upwind**.

Report Definitions

Fes clic amb el botó dret i del menú desplegable selecciona **New > Force Report > Drag** i s'obrirà la finestra «Drag Report Definition». Selecciona les opcions mostrades a la Fig. 5.

Monitors

Per establir els criteris de convergència, anem a **Solution > Monitors > Residuals** i hi fem doble clic; s'obrirà una finestra on haurem d'especificar els valors de la tolerància. Estableix **Absolute Criteria** per a continuity, x-velocity, y-velocity i z-velocity, de 5e-5 en tots els camps. Verifica que a **Options** hi hagi activades **Print to Console** i **Plot**, i fes clic a OK.

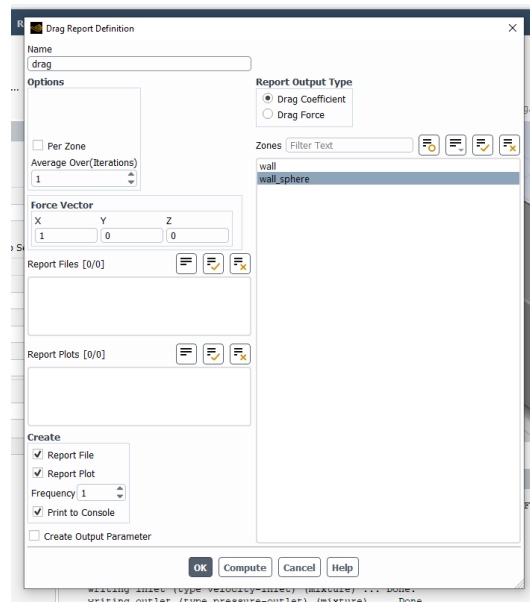


Fig. 5. Opcions per a l'informe del coeficient de drag.

Inicialització

Fes doble clic a **Solution > Solution Initialization** i a la finestra de «Task Page» selecciona **Standard Initialization**. A **Compute from** tria **inlet** i verifica que els valors de partida a **Initial Values** siguin tots zero excepte la velocitat a l'eix x , que serà la mateixa de l'entrada, 1 m/s. Després, prem **Initialize**.

Per definir la quantitat d'iteracions fem doble clic a **Solution > Run Calculation**. La finestra «Task Page» serà Run Calculation, on escriurem 400 a **Number of Iterations**. Prem **Calculate**. La solució hauria de convergir després d'unes 100 iteracions (a la consola es mostrarà el missatge "!98 solution is converged").

Guarda el projecte.

C.8 Resultats

Analitzarem els resultats numèrics directament a Fluent. Primer volem veure la malla refinada al voltant de l'esfera, cosa que no hem fet abans. Fem doble clic a **Results > Graphics > Mesh**, i s'obrirà la finestra «Mesh Display». Fem clic a **New Surface**, i s'obrirà un menú d'on triem **Plane**. A la

finestra «Plane Surface» triem **Method > XY Plane** amb $Z = 0$. A **New Surface Name** posem per exemple **plane_xy**.

Novament a la finestra «Mesh Display» i seleccionant únicament **plane_xy** (deseleccionem les altres superfícies), fem clic a **Save/Display**, i després **Close**. El resultat serà similar al de la Fig. 6, que mostra un tall de la malla que hem generat, al pla $z = 0$. Veiem que efectivament es tracta d'una malla irregular, amb un major refinament a les parets del prisma rectangular i al voltant de la superfície de l'esfera.

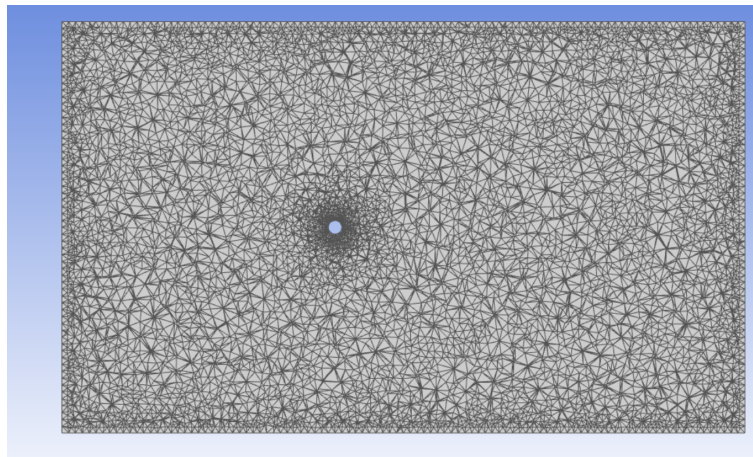


Fig. 6. Malla refinada al voltant de l'esfera, al pla $z = 0$.

Contorns de pressió

Anem a **Results > Graphics > Contours** fent doble clic, i s'obrirà la finestra «Contours». A **Contours of** selecciona **Pressure...** amb l'opció **Static Pressure** i **plane_xy** a **Surfaces**. Fent clic a **Save/Display** veuràs la figura 7. Si als eixos que hi ha a baix a la dreta de la finestra gràfica fas clic sobre l'eix z , la visual queda davant del pla xy i s'aprecien millor els resultats.

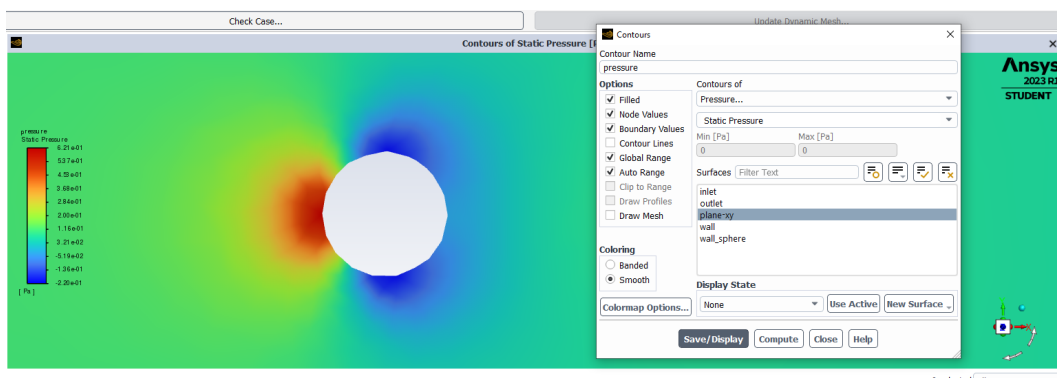


Fig. 7. Contorns de pressió al voltant de l'esfera, al pla $z = 0$.

Observem que la distribució de pressió és simètrica respecte de l'eix x , el que significa que la força deguda a la pressió a la part superior de l'esfera cancel·la amb la corresponent a la part inferior de l'esfera. Això resulta en una força neta nul·la en la direcció y . En l'eix y no tenim simetria: hi ha més pressió a la part davantera que a la part posterior. Això significa, com hem vist als apunts del Tema 7, que si integrem la pressió sobre la superfície de l'esfera, obtindrem una força neta de pressió en la direcció x , la qual empeny l'esfera cap enrere. Aquesta és la contribució de la pressió al *drag*, o força d'arrossegament sobre l'esfera.

Contorns de velocitat

En comptes de la pressió, podem representar el mòdul de la velocitat amb **Contours**, triant **Velocity...** i a sota **Velocity Magnitude**. El resultat obtingut es pot veure a la figura 8.

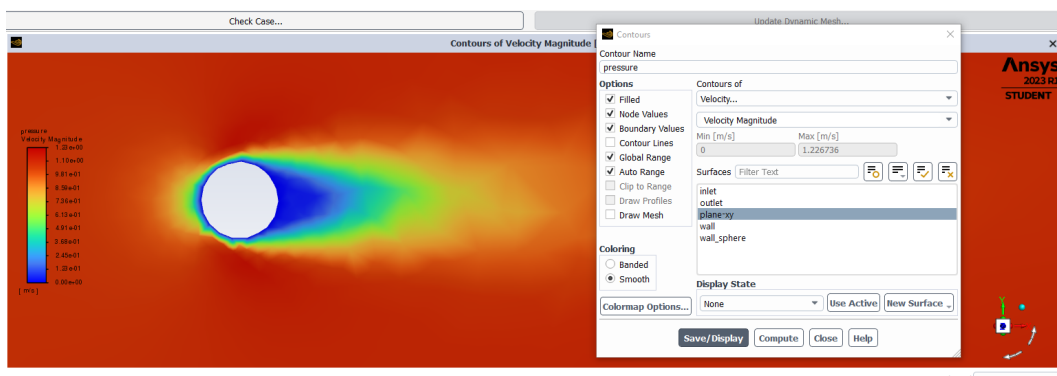


Fig. 8. Contorns del mòdul de la velocitat al voltant de l'esfera, al pla $z = 0$.

Observa que és molt evident la falta de resolució prop de l'esfera: els gradients són importants i l'estructura de la malla s'endevina als contorns, tot i el suavitzat de Contour. Alhora, el nombre de cel·les al voltant de l'esfera sembla insuficient perquè la poliedre que representa la superfície esfèrica té relativament poques cares. Caldria refinar molt més acuradament prop de l'esfera per obtenir una millor representació dels camps al seu voltant.

Línies de corrent

Fent doble clic a **Results > Pathlines** s'obrirà la finestra «Pathlines», i amb les seleccions que mostra la figura 9, obtindrem les línies de corrent al vol-

tant de l'esfera. Pots comparar-les amb les de l'article de (Taneda, 1956), reproduïdes al pdf del Tema 7 i observar la concordança, com a mínim qualitativa.

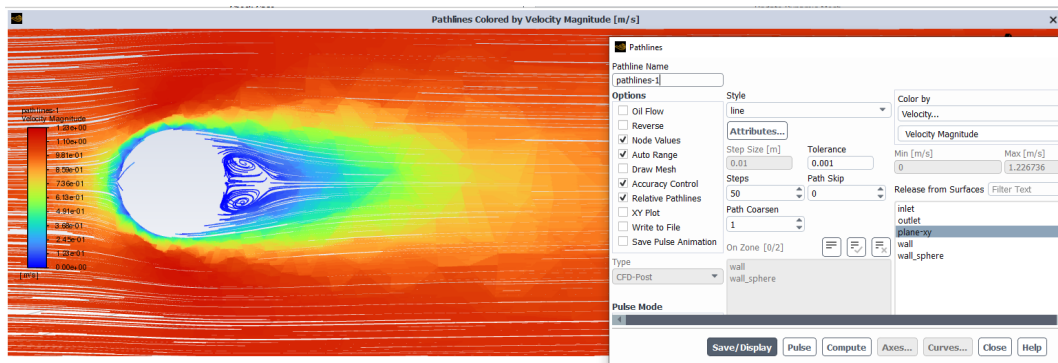


Fig. 9. Línies de corrent al voltant de l'esfera, al pla $z = 0$.

Coeficient de pressió

El coeficient de pressió C_p és un paràmetre adimensional (essencialment és un nombre d'Euler) que es calcula en cada punt i es defineix per

$$C_p = \frac{p - p_{ref}}{\frac{1}{2} \rho_{ref} v_{ref}^2}$$

on $p - p_{ref}$ és la pressió manomètrica, i el denominador és la pressió cinètica *de referència*. És a dir, mesura l'energia de pressió respecte de l'energia cinètica *de referència*.

Fluent doncs, calcularà el coeficient de pressió amb els valors de referència de p_{ref} i ρ_{ref}, v_{ref} que hem introduït a **Setup > Reference Values** abans de córrer la simulació. Ens interessa veure la variació de C_p en funció de la direcció x (que és el de la velocitat incident), recorrent la superfície de l'esfera. Fent doble clic a **Results > Plots**, s'obrirà una finestra anomenada «Solution XY Plot». Per defecte hi ha predefinits molts camps, cal especificar: que volem representar **Pressure**, i a sota **Pressure Coefficient**. A la casella **Surface**, tria **wall_sphere**. La direcció que apareix de forma predeterminada a **Plot Direction** ja apunta en el sentit positiu de l'eix de les x , que és el que volem. Fes clic a **Save/Plot**. Per millorar la sortida, prem el botó **Curves**. S'obrirà una finestra per personalitzar el gràfic: convé mostrar els resultats amb un símbol sense línia contínua, per amagar l'escombrat en y

i z que fa Fluent per representar els resultats. Fent clic a **Apply** veuràs la figura 10.

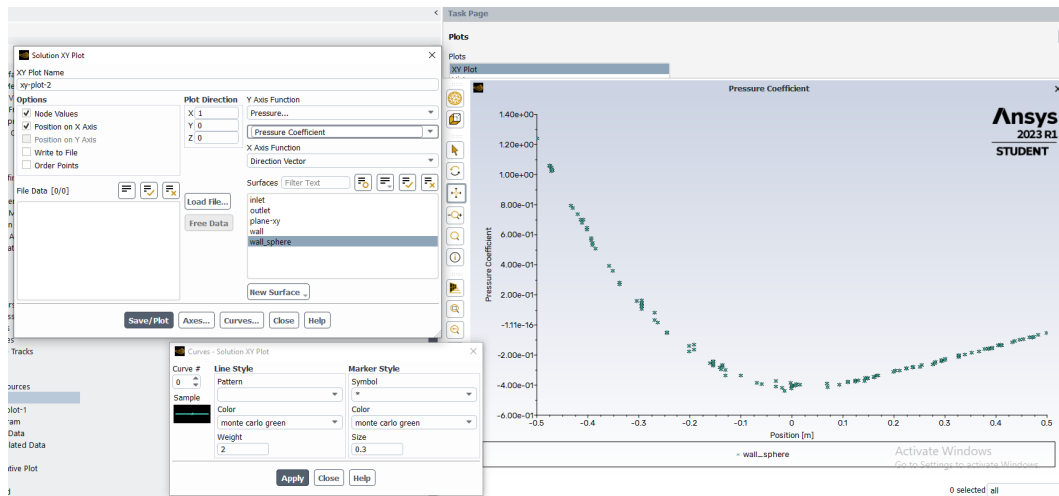


Fig. 10. Coeficient de pressió en funció de x mesurat sobre l'esfera.

Observa com baixa la pressió des del punt d'incidència del flux en $x = -0.5$ m, fins al punt on la secció de l'esfera contra el flux és màxima ($x = 0$), i després torna a créixer a mesura que recorrem la part posterior de l'esfera, fins a $x = 0.5$ m. Observa també que no hi ha simetria.

C.9 Altres consideracions

Degut a les limitacions de la versió d'estudiant, no ens podem plantejar un refinament de la malla. Això fa que es generin problemes de convergència dels residus per a $Re > 80$. De fet, el pas de malla i les toleràncies estan molt estretament relacionades: si tenim poques cel·les (baixa densitat), les toleràncies han de ser prou grans o la solució no arribarà a convergir. I a l'inrevés, si la densitat de cel·les és gran, les toleràncies han de baixar, si no, els algoritmes tampoc calcularan acuradament els resultats.

Potser hauràs pensat que llencem per la borda els recursos de càlcul quan triem un domini tan gran per a una esfera tan petita. La resposta és que no. Idealment, les parets del domini haurien de ser a l'infinit, per no alterar els resultats. La raó entre les dimensions de l'objecte i les del domini (en un túnel de vent, seria el diàmetre de la secció de mesura) no pot excedir un percentatge que sol ser petit, de l'ordre d'un 5% com a màxim. Aquest

percentatge s'anomena *blockage ratio*. Les parets alteren els camps hidrodinàmics i això es tradueix en variacions en els coeficients de *drag* o de *lift* respecte dels que es mesurarien en un domini infinit.

Si bé no serà possible augmentar el nombre de Reynolds amb aquesta resolució, sí que es pot abaixar. Un exercici interessant és doncs, realitzar les simulacions per als valors de Re de {9.15, 17.9, 25.5, 26.8, 37.7} per comparar qualitativament amb els resultats obtinguts per (Taneda, 1956).

Per poder augmentar el nombre de Reynolds, hauràs de refinar convenientment la malla i en conseqüència augmentarà el nombre d'elements. Per córrer la simulació, però, hauràs d'accedir a la versió completa de Fluent (que no té restricció del nombre d'elements de malla) a través de **Virtlabs**. Assegura't de carregar la darrera versió de Fluent.

Bibliografia

Taneda, S. (1956). Experimental investigation of the wake behind a sphere at low reynolds numbers. *Journal of the Physical Society of Japan*, 11(10), 1104-1108. Retrieved from https://campusvirtual.urv.cat/pluginfile.php/5182142/mod_resource/content/1/Article_Taneda.pdf