

Sumari

SUMARI	1
ANNEX A: RESOLUCIÓ DE LES PRÀCTIQUES 1, 2 I 3.	3
A.1. Resolució pràctica 1. Estudi d'un flux potencial al voltant d'un esglaó.....	3
A.2. Resolució pràctica 2: Estudi d'un flux potencial/turbulent al voltant d'un perfil d'ala.....	8
A.3. Resolució pràctica 3. Estudi experimental d'un perfil d'ala.....	18
ANNEX B: GUIA DE SEGUIMENT PER AL DESENVOLUPAMENT DEL MÈTODE DE LES DIFERÈNCIES FINITES AMB EXCEL.	22
ANNEX C: GUIA DE SEGUIMENT PER AL PROGRAMA FLUENT	24
ANNEX D: ESPECIFICACIONS GEOMÈTRIQUES DEL PERFIL D'ALA	42
D.1. Coordenades geomètriques del perfil Clark Y a 0°.....	42
D.2. Coordenades geomètriques del perfil Clark Y a 15°.....	43
D.3. Coordenades geomètriques del perfil Clark Y a 30°.....	44
ANNEX E. INFLUÈNCIA DE QUALITAT DEL MALLAT EN LES SIMULACIONS.	45
E.1. Consideracions generals per al mallat d'un model.....	45
E.2. Importància de la qualitat d'una malla	46
ANNEX F. MALLATS I SIMULACIONS.	48





Annex A: Resolució de les pràctiques 1, 2 i 3.

A.1. Resolució pràctica 1. Estudi d'un flux potencial al voltant d'un esglaó.

PART A)

Diferents línies de corrent al voltant de l'esglaó

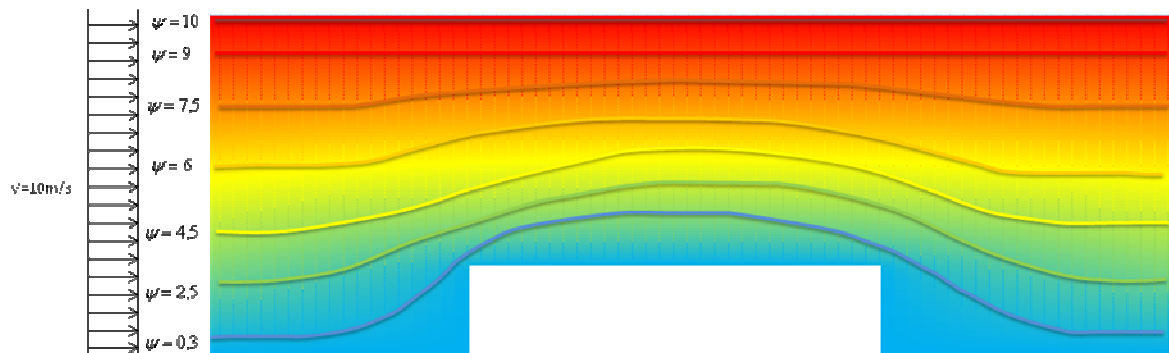


Fig. 1. Representació gràfica de les línies de corrent. A l'esquerra de l'imatge s'indica quines són les funcions de corrent representades i l'entrada d'un flux d'aire a 10 m/s.

La distribució de velocitats.

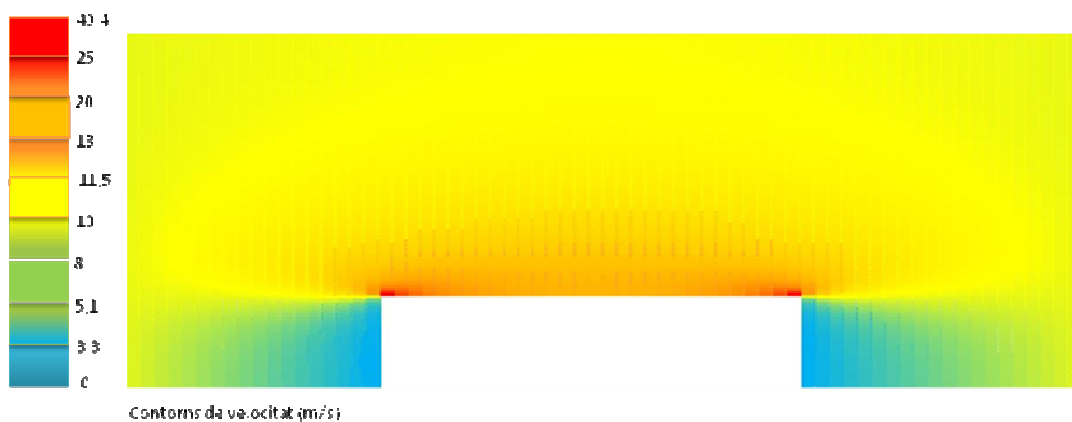


Fig. 2. Representació dels contorns de velocitat.



La distribució de pressions

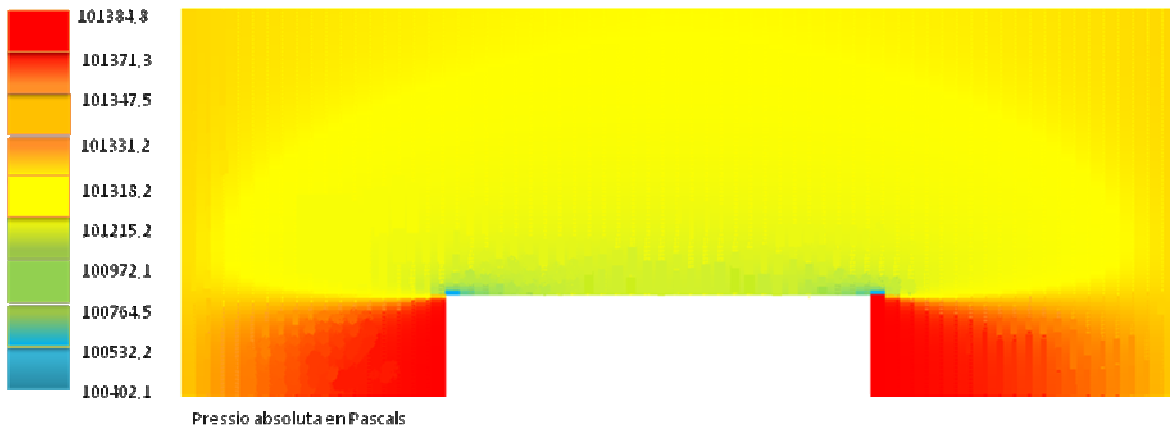


Fig. 3. Representació dels valors de pressió.

PART B)

Gràfic de les línies de corrent per a flux potencial.

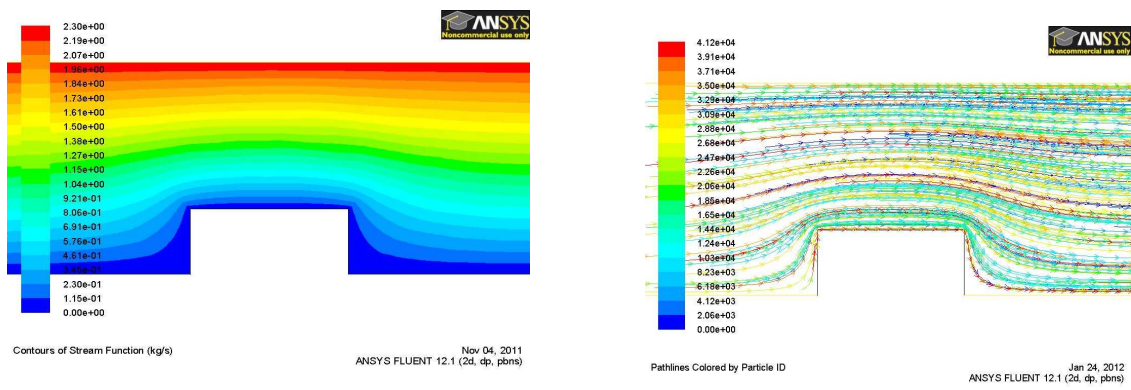


Fig. 4. Línies de corrent obtingudes amb Fluent per a flux potencial.



Gràfic de les distribució de velocitats per a flux potencial.

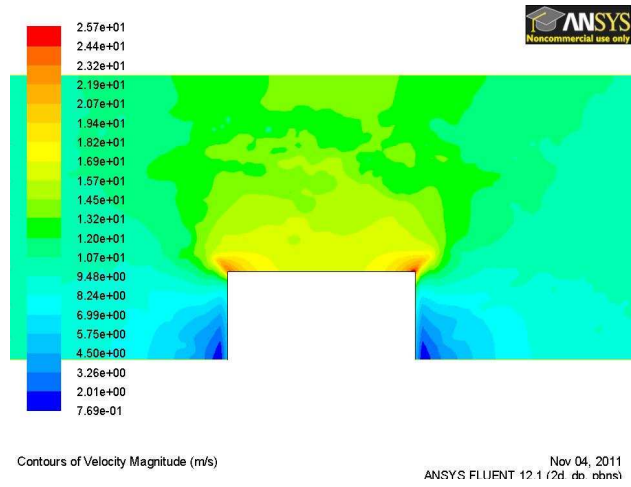


Fig. 5. Distribució de velocitats obtingut amb Fluent.

Gràfics de les línies de corrent per a flux turbulent.

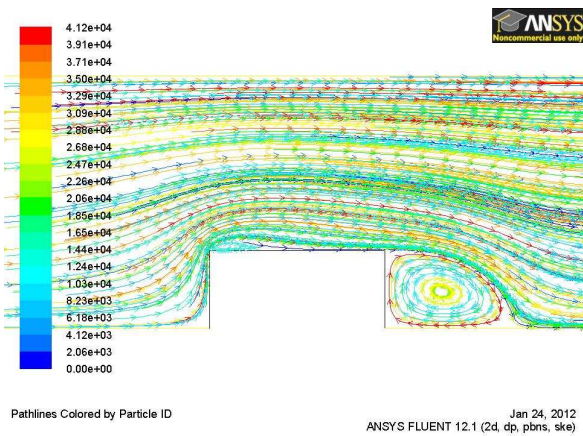


Fig. 6. Trajectòries de les partícules d'aire per a flux turbulent.

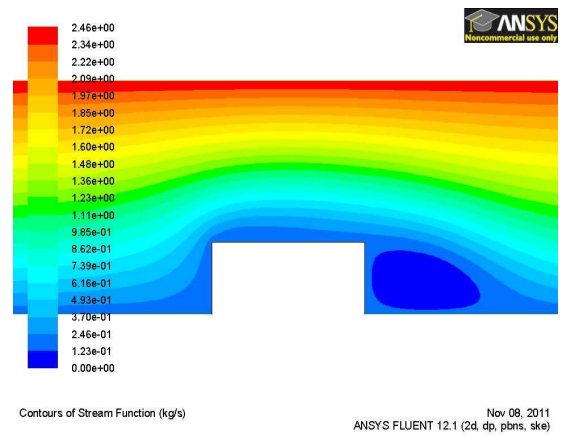


Fig. 7. Línies de corrent per a un flux turbulent.



4) Distribució de velocitats i pressions per a flux turbulent

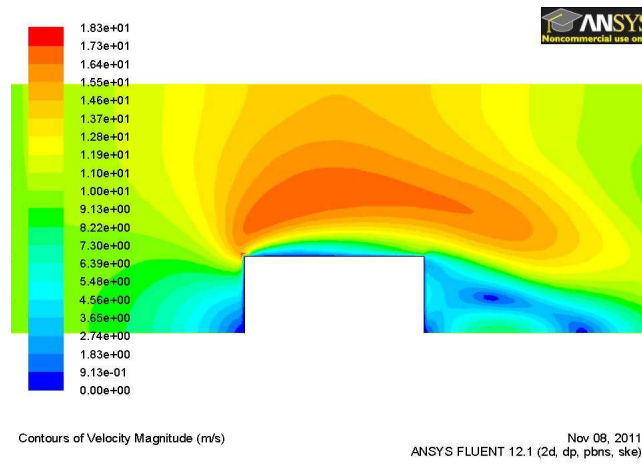


Fig. 8. Contorns de velocitat per a flux turbulent.

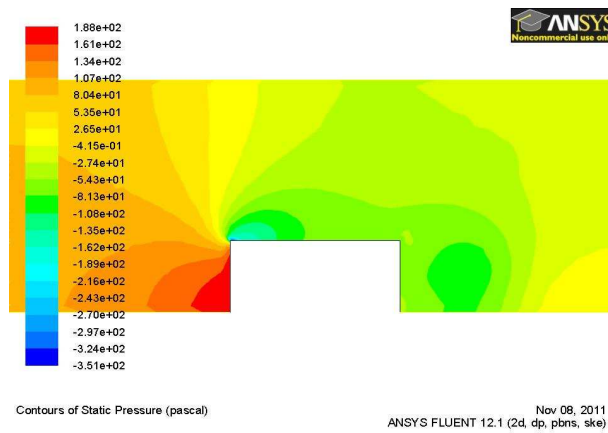


Fig. 9. Contorns de pressió per a flux turbulent.



PART C)

1)Quines particularitats trobes en l'evolució del flux potencial a través de l'esglaó?

Com es pot observar en les figures 1 i 4, les línies de corrent ressegueixen l'esglaó. La no aparició de remolins en la cantonada inferior dreta del perfil denota el compliment de la teoria de flux potencial. Aquest fet és fonamentalment per la no consideració dels efectes viscosos del fluid.

Un altre fet destacable és el lleuger ajuntament de les línies de corrent en el moment que el flux d'aire es troba amb l'esglaó. Però que seguint la teoria de flux potencial el flux d'aire torna ràpidament a resseguir el contorn de l'esglaó.

2)Quines diferències destacaries entre els resultats obtinguts seguint un model de flux potencial i un model de flux turbulent?

La diferència més important és l'aparició d'una recirculació d'aire per a flux turbulent en la part posterior del perfil (figura 6). Això és degut fonamentalment a que al tenir en compte els efectes viscosos de l'aire, apareix una component de rotacionalitat (els elements del fluid tenen una certa velocitat angular), llavors el flux no pot resseguir el contorn del perfil i per tant es produeix una separació en aquesta zona. També s'observa un lleuger despreniment del flux d'aire a l'inici de l'esglaó fet que no succeeix en el cas de flux potencial.

3)Quantes iteracions has necessitat per trobar la solució utilitzant el Fluent per cada model estudiat? A que creus que es deu aquest fet?

En el cas de flux potencial s'ha necessitat 4 iteracions, en canvi en el cas de flux turbulent s'ha necessitat 95. Això es deu principalment a la simplicitat de les equacions tractades en la teoria de flux potencial. Per contra, quan es tracta el model de flux turbulent s'imposa un model bastant més complexa que origina un augment substancial en la dificultat del problema a tractar.

4)Enumera les condicions principals que defineixen un flux potencial.

Les condicions fonamentals que descriuen un flux potencial són:

-Irrrotacionalitat (no es tenen en compte els efectes viscosos).

-Incompressibilitat (densitat constant).



A.2. Resolució pràctica 2: Estudi d'un flux potencial/turbulent al voltant d'un perfil d'ala.

PART A)

Perfil d'ala a 0°. Flux potencial

1) Línies de corrent/trajectòries

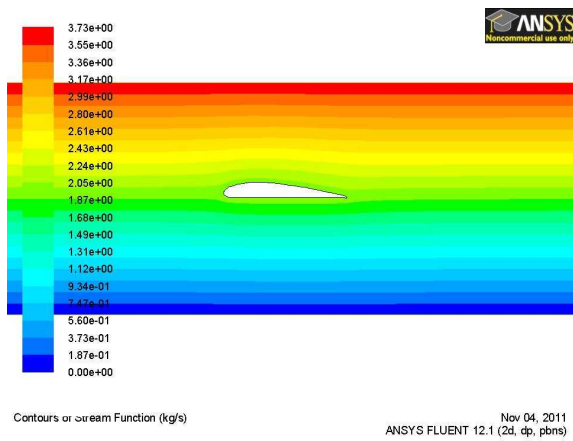


Fig. 1 Línies de corrent per a un perfil d'ala a 0° amb flux potencial.

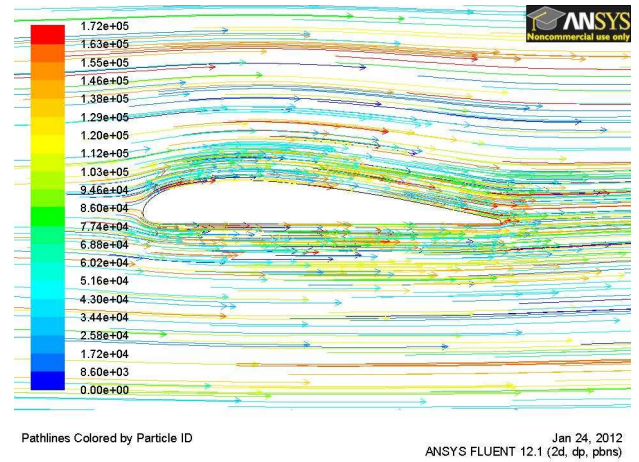


Fig. 2 Trajectòries per a un perfil d'ala a 0° amb flux potencial.

2) Vectors de velocitat

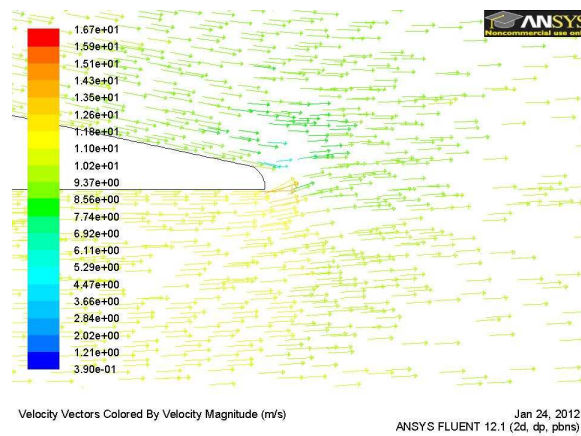


Fig. 3 Vectors de velocitat en el deixant del perfil Clark Y segons la teoria de flux potencial.



Perfil d'ala a 0°. Flux turbulent

1) Línies de corrent/trajectòries

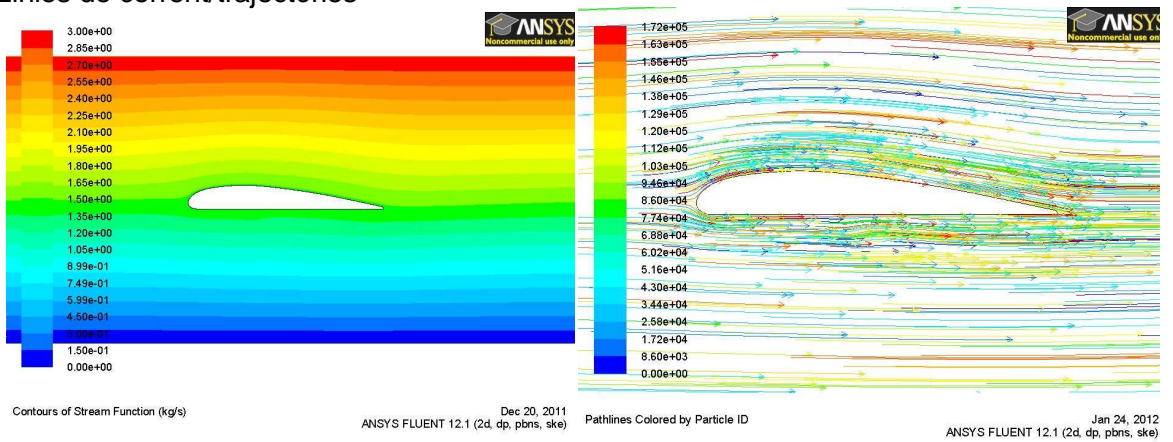


Fig. 4. Línies de corrent i trajectòries per al perfil d'ala a 0° i flux turbulent

2) Vectors de velocitat

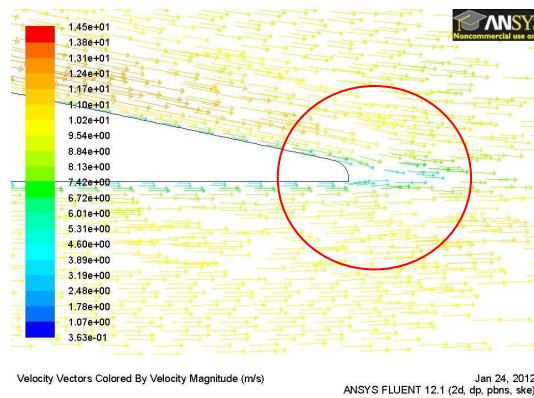


Fig. 5 Vectors de velocitat per al perfil d'ala a 0° i flux turbulent.

3) Contorns de pressió estàtica

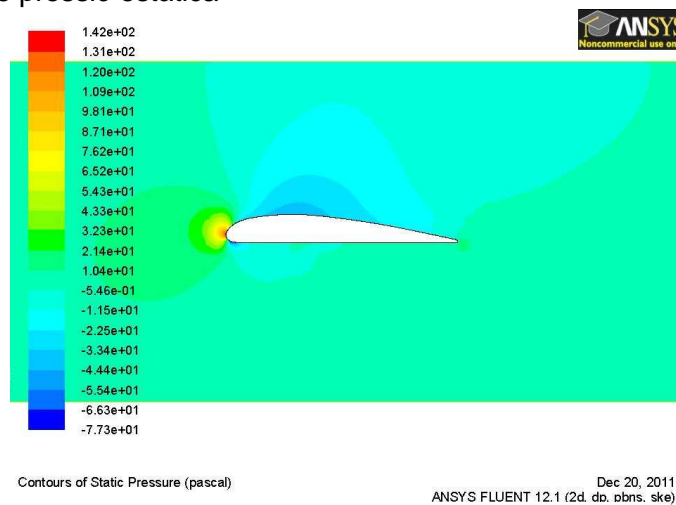


Fig. 6 Contorns de pressió estàtica per al perfil d'ala a 0° i flux turbulent.



Perfil d'ala a 15°. Flux potencial.

1) Línies de corrent/trajectòries

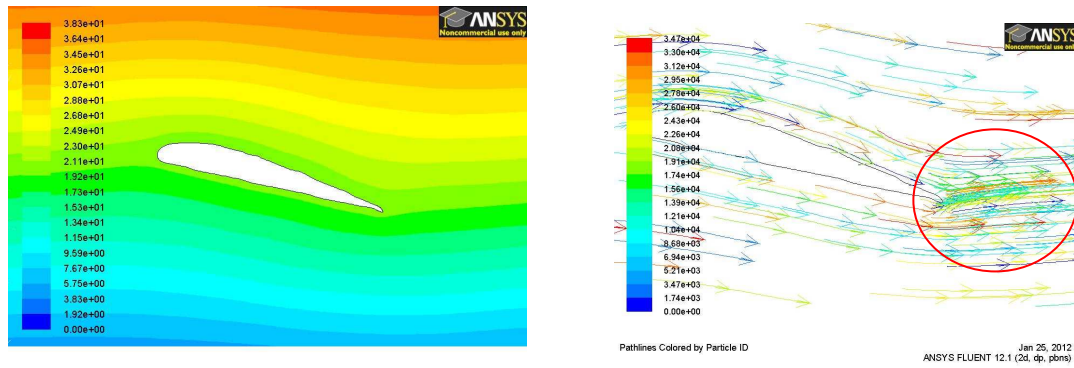


Fig. 7. Línies de corrent i trajectòries per a un perfil d'ala a 15° amb flux potencial.

2) Vectors de velocitat

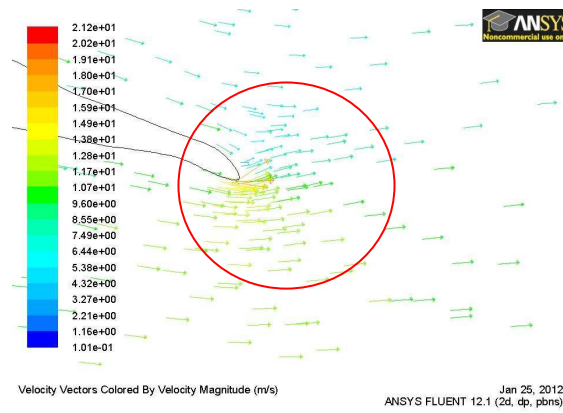


Fig. 8 Vectors de velocitat per a un perfil d'ala a 15° i flux potencial.



Perfil d'ala a 15°. Flux turbulent

1) Línies de corrent i trajectòries

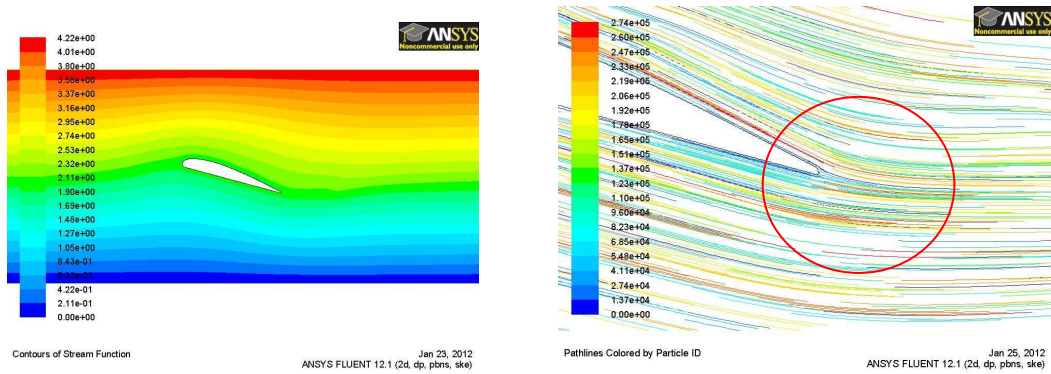


Fig. 9. Línies de corrent i trajectòries per al perfil d'ala a 15° i flux turbulent..

2) Vectors de velocitat

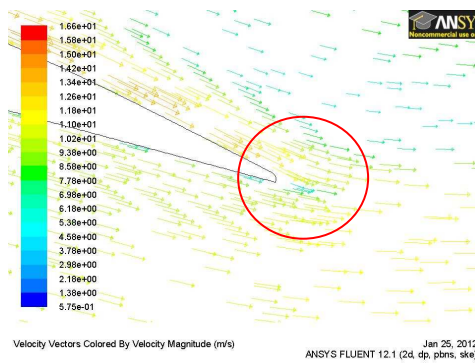


Fig. 10. Vectors de velocitat per al perfil d'ala a 15° i flux turbulent.

3) Contorns de pressió.

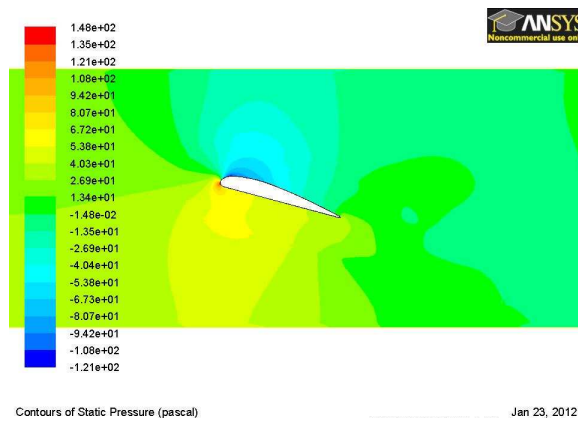


Fig. 11 Contorns de pressió estàtica per al perfil d'ala a 15° i flux turbulent.



Perfil d'ala a 30°. Flux potencial

1) Línies de corrent i trajectòries

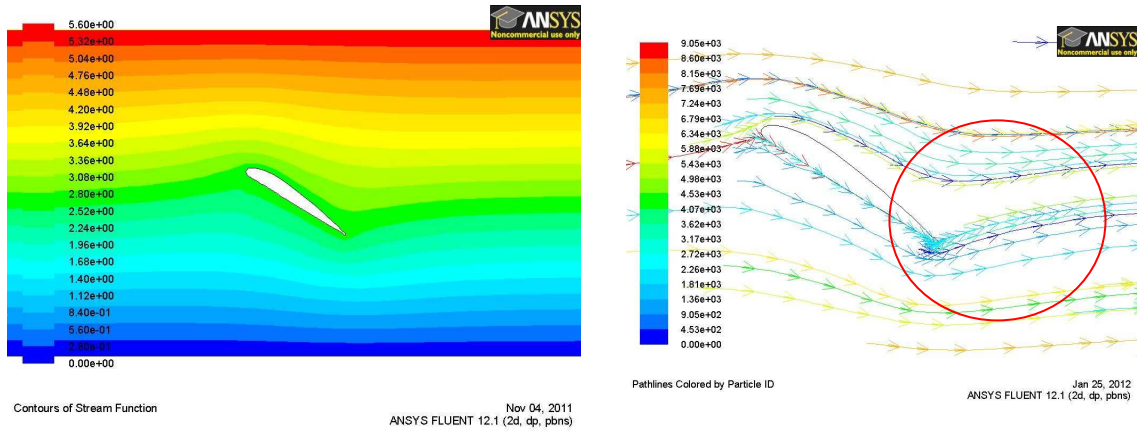


Fig. 12 Línies de corrent i trajectòries segons el model de flux potencial amb el perfil d'ala a 30°.

2) Vectors de velocitat

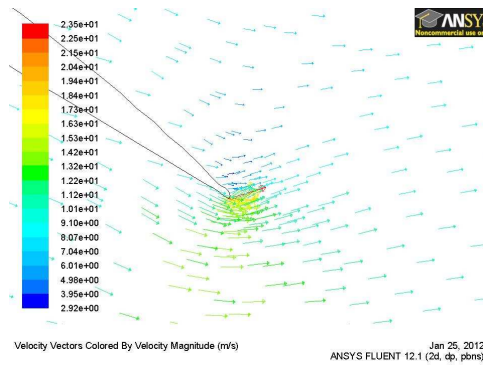


Fig. 13 Vectors de velocitat en el deixant del perfil a 30° seguint la teoria de flux potencial.



Perfil d'ala a 30°. Flux turbulent.

1) Línies de corrent i trajectòries

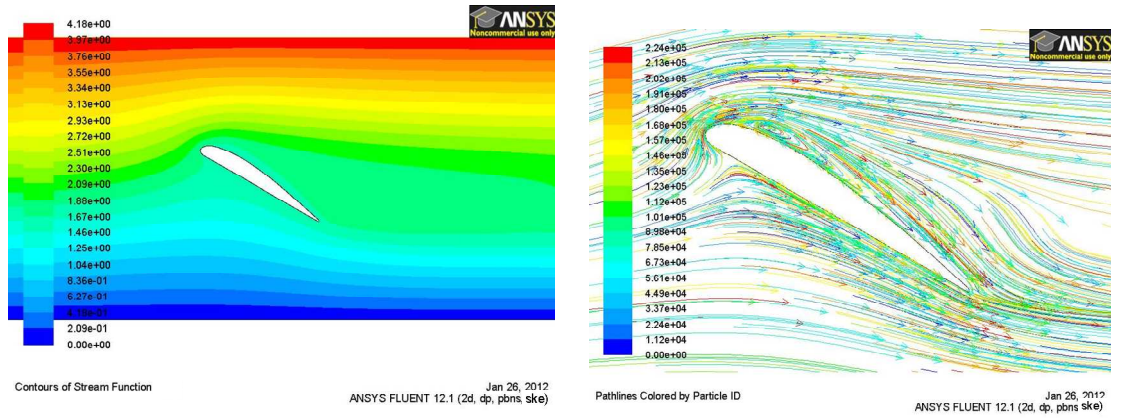


Fig. 14. Línies de corrent i trajectòries per al perfil d'ala a 30° i flux turbulent.

2) Vectors de velocitat

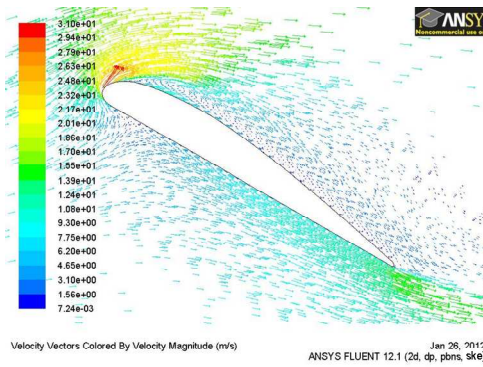


Fig. 15. Vectors de velocitat per al perfil d'ala a 30° i flux turbulent.

3) Contorns de pressió.

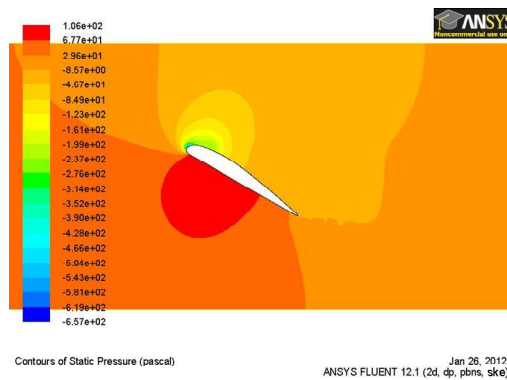


Fig. 16. Contorns de pressió per al perfil d'ala a 30° i flux turbulent.



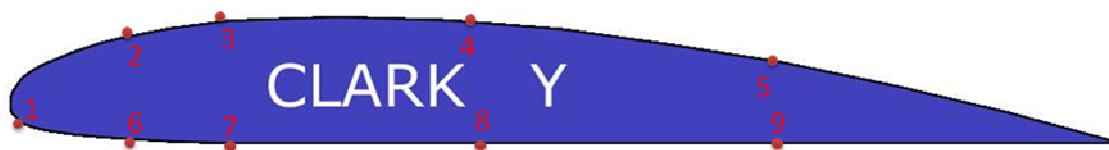


Fig. 17. Punts específics de mesura de pressió estàtica.

P en Pa	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 °	38	-19	-32	-36	-19	-8	-1	2	6
15 °	80	-90	-80	-43	-24	57	47	42	45
30 °	1	-180	-120	-57	-27	80	70	60	29

Taula 1. Valors de pressió estàtica corresponents als nou punts assenyalats de la figura 17 i que corresponen als tres angles d'inclinació.



PART B)

Representació gràfica de les línies de corrent al voltant de perfil d'ala pels tres angles d'inclinació seguint la teoria de flux potencial.

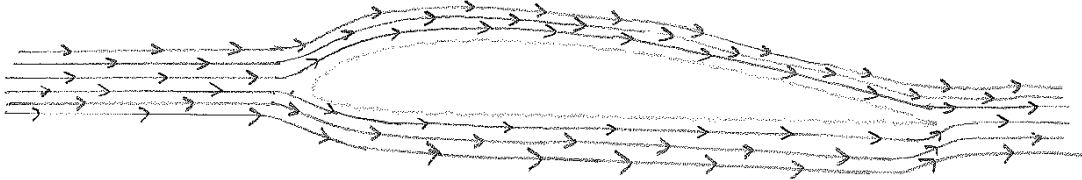


Fig. 18. Línies de corrent al voltant del perfil d'ala Clark Y amb un angle de 0° i seguint la teoria de flux potencial.

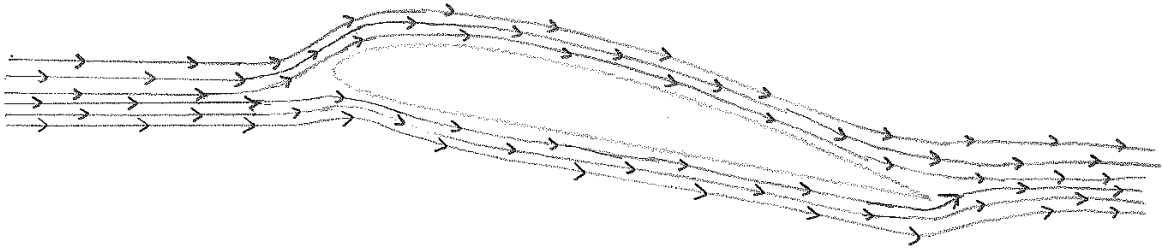


Fig. 19. Línies de corrent al voltant del perfil d'ala Clark Y amb un angle de 15° segons la teoria de flux potencial.

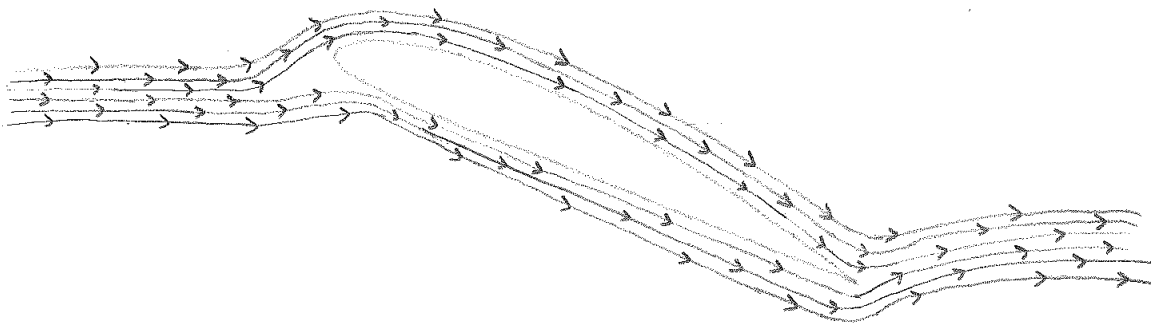


Fig. 20. Línies de corrent al voltant del perfil d'ala Clark Y amb un angle de 30° segons la teoria de flux potencial.



Representació gràfica de les línies de corrent del perfil d'ala pels tres angles d'inclinació seguint un flux turbulent.

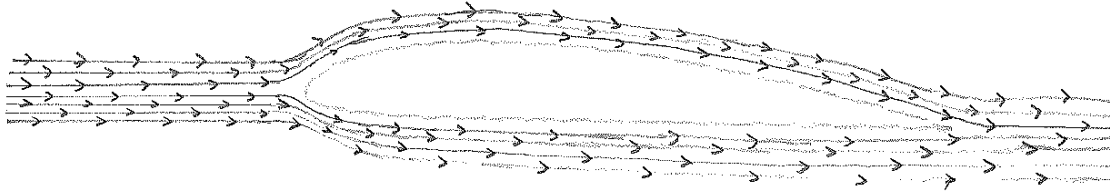


Fig. 21 Línies de corrent al voltant del perfil d'ala Clark Y amb un angle d'atac de 0° .

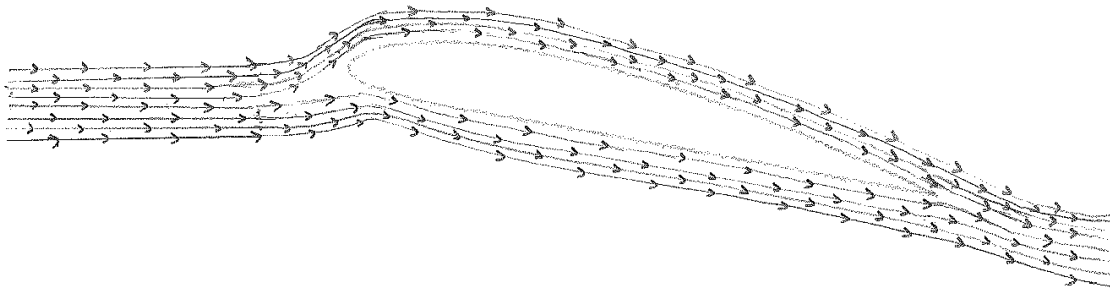


Fig. 22. Representació gràfica de les línies de corrent al voltant del perfil amb un angle de 15° .

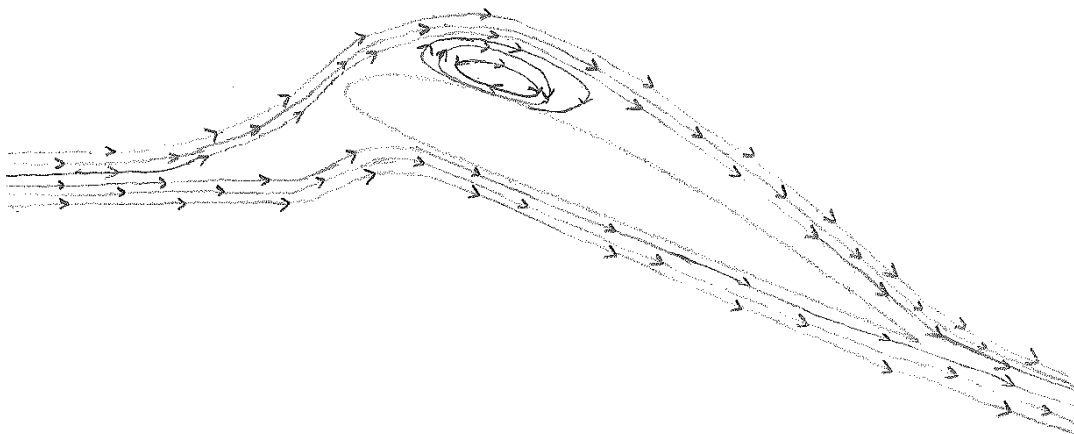


Fig. 23. Representació gràfica de les línies de corrent al voltant del perfil d'ala a 30° .



PART C)

Amb els resultats obtinguts en el apartat B contesta a les següents preguntes:

- a) Quines diferències destacables trobes en l'evolució del flux d'aire tant per a un flux potencial com per a un flux turbulent, a que creus que es deu aquest fet?

La diferència més destacable a l'hora de considerar un flux potencial i un flux turbulent al voltant del perfil d'ala de tipus Clark Y és la no generació de sustentació quan es considera el primer flux. Aquest fet es deu fonamentalment a la no existència dels efectes viscosos. El flux d'aire que incideix sobre el perfil d'ala no genera una certa component de circulació al seu voltant i per tant no pot existir una diferència de pressions que possibiliti la generació de sustentació. És en el perfil d'ala a 15° on es pot apreciar de manera més clara aquest fet. En els gràfics del perfil d'ala a 0° també succeeix aquest fet però de forma menys apreciable. Per tant, la teoria de flux potencial no faria efectiva els mecanismes de generació de sustentació.

Un altre diferència destacable entre els dos tipus de fluxos és la no aparició del despreniment de flux d'aire en el de tipus potencial fet que sí succeeix en el turbulent. Això es deu un altre cop per la no existència dels efectes viscosos en el cas del flux potencial.

- b) Segons el model de flux turbulent. On es troba el punt de pressió màxima (per a cada angle d'inclinació) i per què?

En el perfil d'ala a 0° el punt de màxima pressió es troba en la part frontal del perfil i és de 142 Pascals.

Amb un angle d'inclinació de 15° el punt de màxima pressió es troba en la part frontal inferior del perfil. Correspon a 148 Pascals.

Amb el perfil a 30° es genera una gran superfície de resistència a l'avanç i correspon a la major part de la base del perfil. El seu valor de pressió es troba al voltant dels 106 Pascals.

- c) Creus que existeix despreniment del flux d'aire en algun dels casos estudiats? Si és així justifica-ho.

Sí. Amb un angle d'inclinació de 30° i considerant un flux turbulent existeix un clar despreniment del flux d'aire incident. Observen el gràfic de les trajectòries de les partícules s'aprecia la formació d'un remolí en la part superior del perfil Clark Y. Aquest fet impossibilitaria fer efectius els mecanismes de generació de sustentació.



A.3. Resolució pràctica 3. Estudi experimental d'un perfil d'ala.

P en Pa	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°	38	-20	-30	-19	-8,5	-3	0	0	0
15°	61	-62	-53	-23	-11	13	6	2,5	0
30°	1	-140	-71	-34	-15	41	32	19	6

Taula 1. Valors de pressió estàtica corresponents als nou punts de mesura i que corresponen als tres angles d'inclinació.

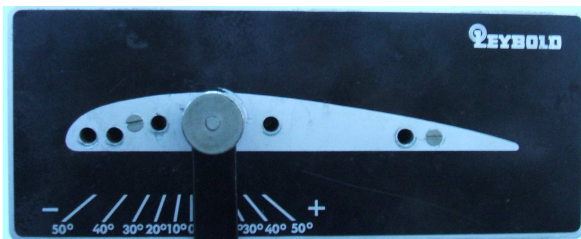


Fig. 1. Perfil Clark y amb un angle d'inclinació de 0°. Els fils situats a la superfície mostren que no existeix despreniment del flux d'aire.

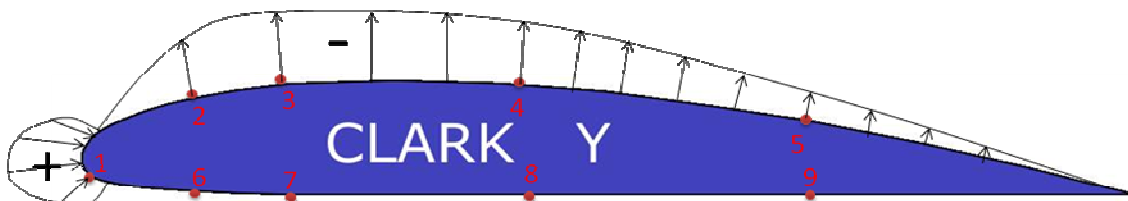


Fig. 2 Distribució esquemàtica de pressions per al perfil Clark Y amb un angle d'atac de 0°





Fig. 3. Perfil Clark Y amb un angle d'inclinació a 15° . Observant el fils existents a la superfície, el flux d'aire segueix adherit al perfil.

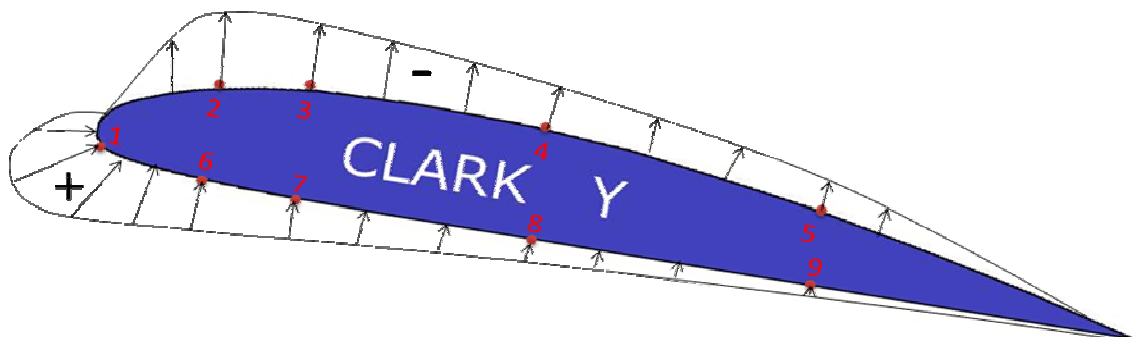


Fig. 4. Distribució esquemàtica de pressions per al perfil Clark Y amb un angle d'atac de 15°





Fig. 5. Perfil Clark Y amb un angle d'inclinació de 30° . Els fils de la superfície mostren clarament el despreniment del flux d'aire.

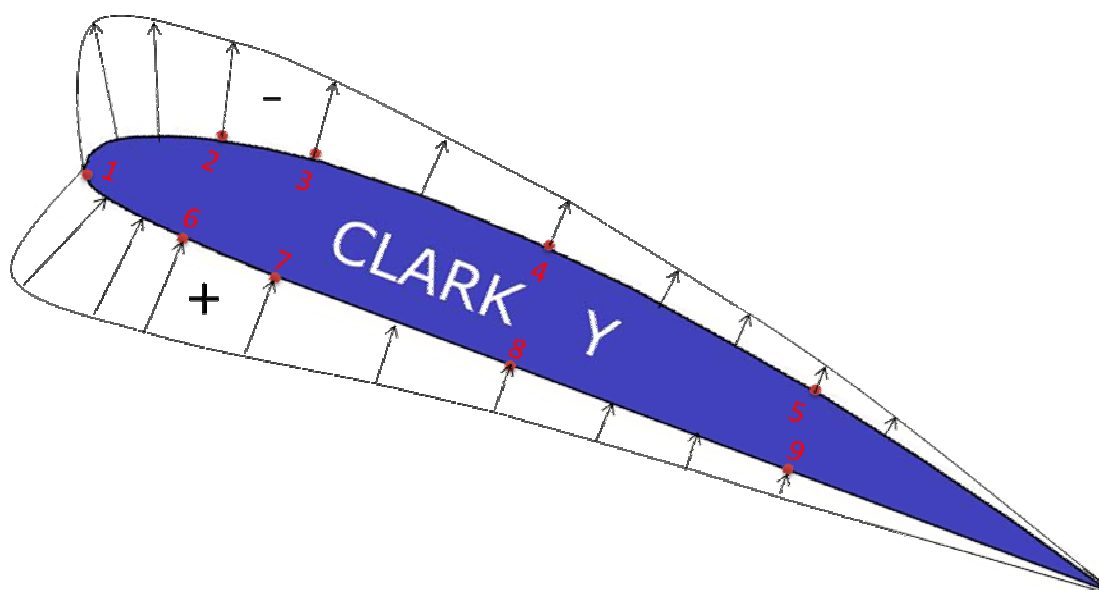


Fig. 6 Distribució esquemàtica de pressions per al perfil Clark Y amb un angle d'atac de 30°



Respon a les següents preguntes:

- a) Observes gaire diferència entres els resultats obtinguts de pressions estàtiques d'aquesta pràctica amb els obtinguts de la pràctica 2. Si consideres que existeixen raona-les adequadament.

A la vista dels resultats obtinguts es pot comprovar la similitud existent en la representació gràfica dels contorns de pressió. Numèricament hi ha zones on els valors no són del tot exactes, és el cas del perfil a 30° . Aquest fet es deu a una simple problemàtica de les simulacions. En aquest cas on apareix un despreniment de flux al voltant del perfil, el programa troba la primera solució on el remolí s'acaba de generar i per tant no coincideix del tot amb el resultat experimental.



Annex B: Guia de seguiment per al desenvolupament del mètode de les diferències finites amb Excel.

Per visualitzar l'evolució del flux potencial, utilitza un anàlisi numèric amb $\Delta x = \Delta y = 0,1$ per exemple. En la secció d'entrada (part esquerra) el conducte té una amplada de 0,5 metres i la llargada total del recinte d'estudi és de 1m. A 0,3m de la secció d'entrada apareix l'inici de l'esglaió amb 0,15m d'alçada i 0,3m de llargada. L'esglaió es situa a la base inferior del conducte. La velocitat d'entrada és uniforme i de 10m/s.

El número de cel·les està format per una malla de 101X50 cel·les. Amb i des de 1 fins a 101 i j de 0 fins a 50.

Les cel·les de l'interior verifiquen l'equació (1):

$$\psi_{i,j} \approx \frac{1}{4}(\psi_{i-1,j} + \psi_{i+1,j} + \psi_{i,j-1} + \psi_{i,j+1}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Per simplificar el procés de càlcul cal utilitzar l'eina *arrossegat* del programa Microsoft Excel a totes les cel·les interiors les quals arribi el problema i exclouin les cel·les de l'esglaió i del contorn del problema.

Per a que les velocitats siguin uniformes en les seccions d'entrada i de sortida, la funció de corrent ha de variar linealment amb y :

Entrada: $\psi(1, J) = 0,1 \cdot J$ des de $J = 0$ fins a 50

Sortida: $\psi(101, J) = 0,1 \cdot J$ des de $J = 0$ fins a 50

Amb aquestes condicions de contorn establertes caldrà afegir la funció de corrent $\psi = 0$ en tota la base del conducte i a tota la superfície de l'esglaió. I a la part superior caldrà establir la funció de corrent $\psi = 5$. També s'establirà algun valor arbitrari en les cel·les internes per a la seva posterior iteració.



S'estableix un format condicional de 3 nivells de colors per tal de poder veure l'evolució de les línies de corrent. Indicant com a valor més baix el color blau, com a valor intermig el color groc i com a valor més alt el color vermell.

Una vegada s'han aplicat les geometries i condicions de contorn explicades amb anterioritat, cal trobar la solució final amb 100 iteracions per exemple.

Nota: Cal activar l'eina "*Habilitar càlculos iterativos*" dins el menú d'opcions d'Excel i de fórmules. En aquest mateix apartat s'introdueix el valor de 100 corresponent al número d'iteracions i un valor de canvi de 0,001.

Una vegada es coneixen les funcions de corrent, es poden trobar altres visualitzacions interessants com l'evolució de la velocitat i de la pressió.

Per calcular les velocitats en qualsevol punt, s'han d'utilitzar les fórmules en diferències finites, en aquest cas, les equacions 2 i 3. i així avaluar les derivades de la funció de corrent. També s'ha establir un format condicional com l'utilitza't anteriorment.

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \approx \frac{1}{\Delta x} (\psi_{i+1,j} - \psi_{i,j}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} \approx \frac{1}{\Delta y} (\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Per trobar les pressions cal aplicar l'equació de Bernouilli.



Annex C: Guia de seguiment per al programa FLUENT

Pas 1: Posada en marxa del programa

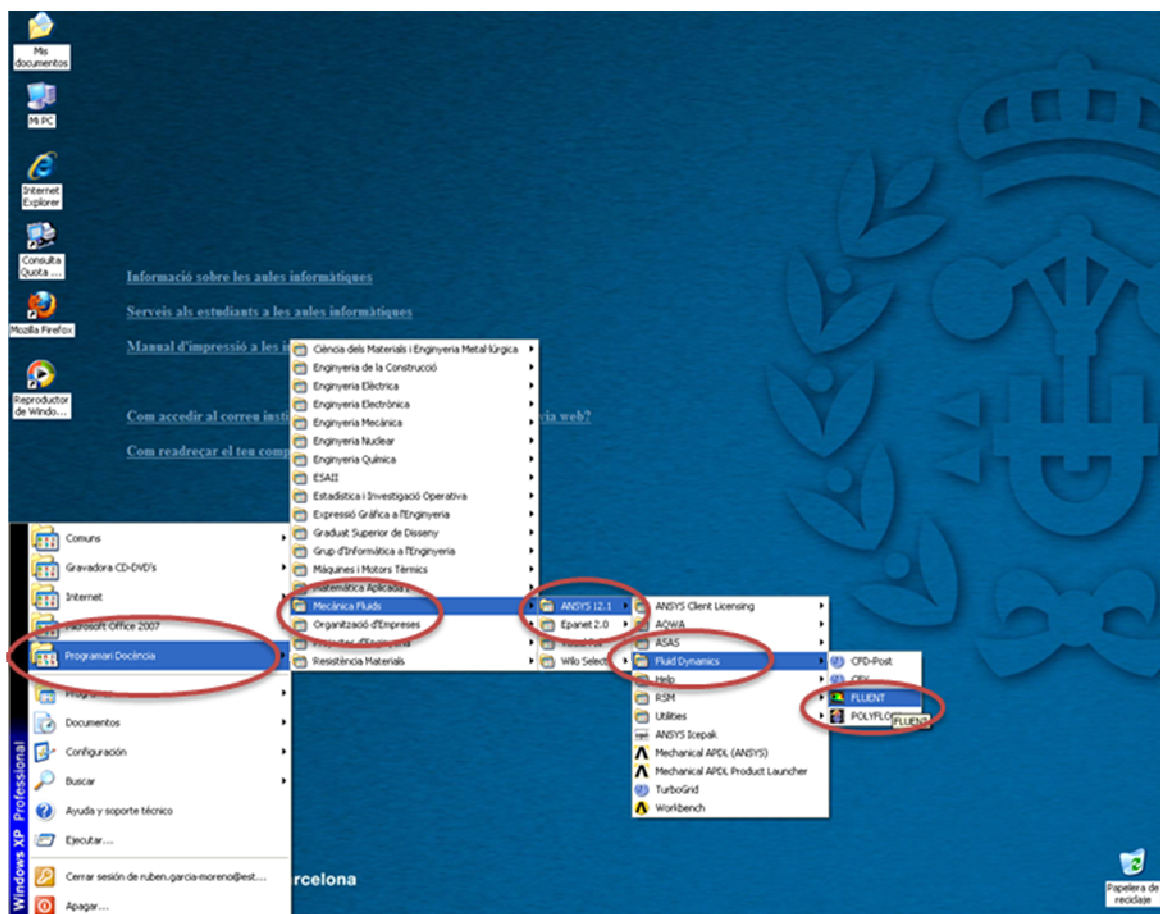
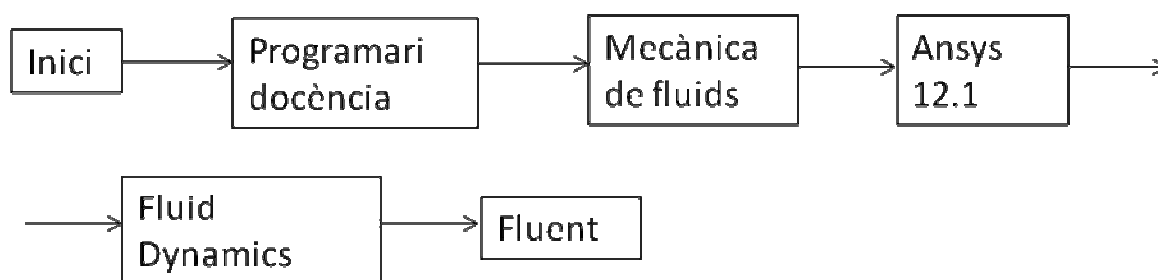


Fig. 1. Ruta d'accés al programa Fluent.



Pas 2: Condicions inicials del programa

Seleccionar:

-2D

-Doble precision



Fig. 2. Paràmetres inicials del programa.



Pas 3: Obrir fitxer

Seguir la ruta:

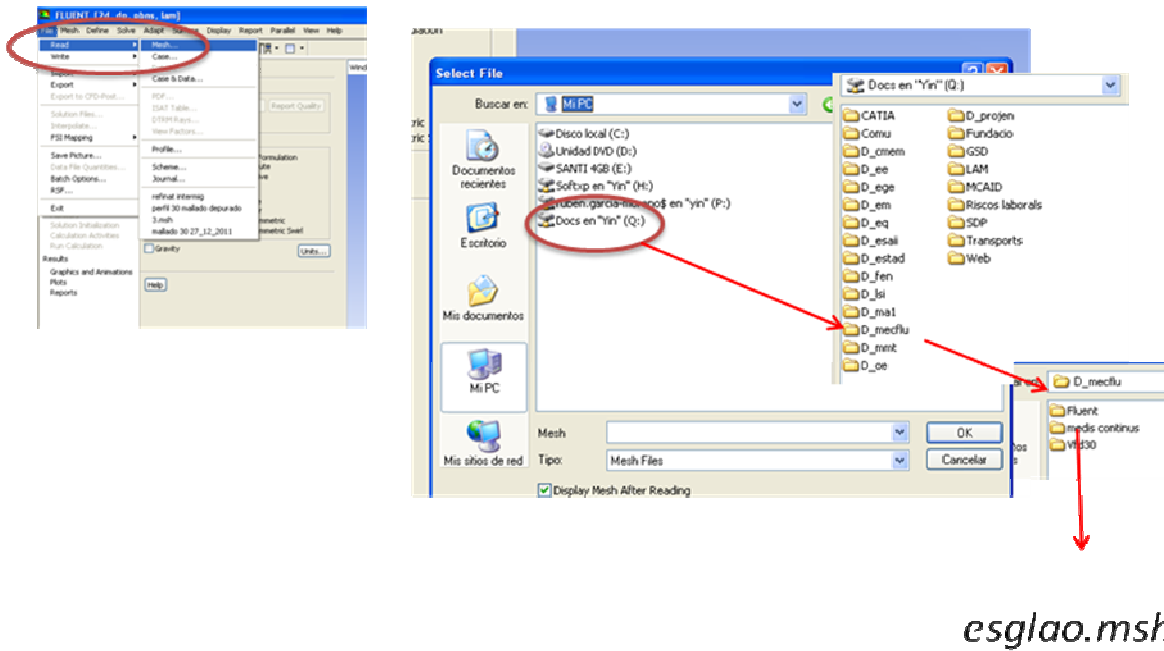


Fig. 3. Ruta d'accés als arxius .msh

I obrir l'arxiu *esglao.msh*



Pas 4: Visualització de les eines bàsiques del programa.

A la barra superior del programa apareixen una sèrie d'icones que són importants per saber moure's per al programa

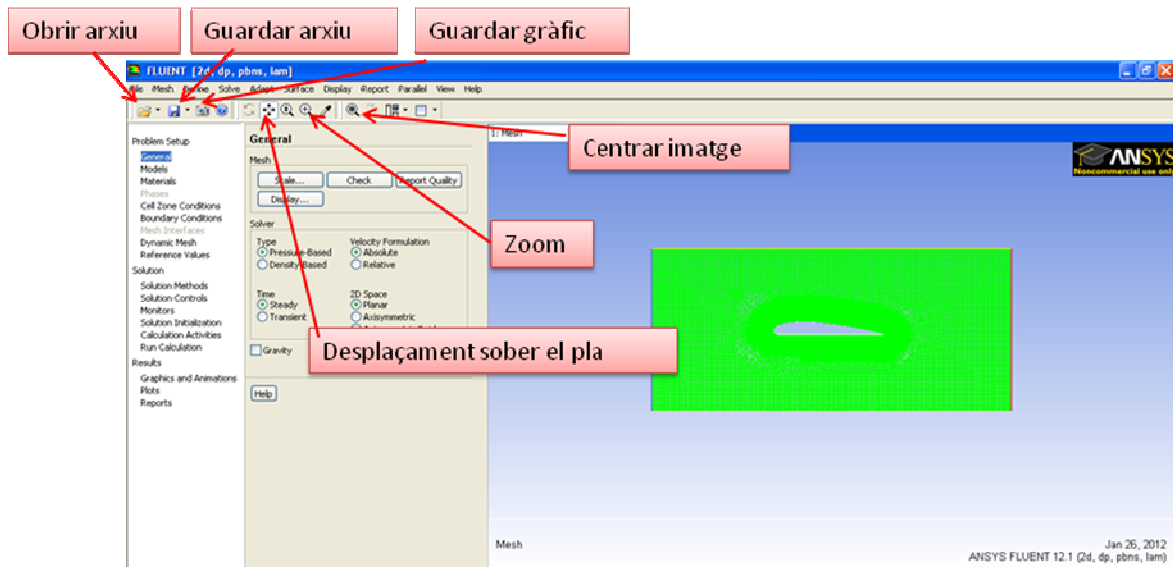


Fig. 4. Eines bàsiques del fluent.



Pas 5A: Estudi d'un flux potencial

Es tracta de simular un flux potencial per tant no es tindran en compte els efectes viscosos i la densitat del medi serà constant.

a) Configuració general

Es considerarà un flux en estat estacionari, i el pla de l'esglaió.

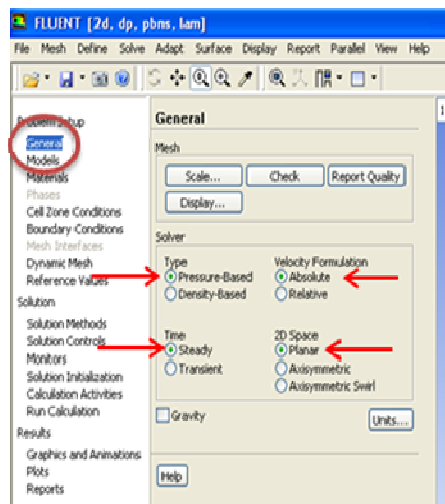


Fig. 5. Paràmetres inicials per al SOLVER.



b) Selecció del model

Es tracta de seleccionar el model de viscositat adequat. En aquest cas s'ha de seleccionar el model no viscos (inviscid).

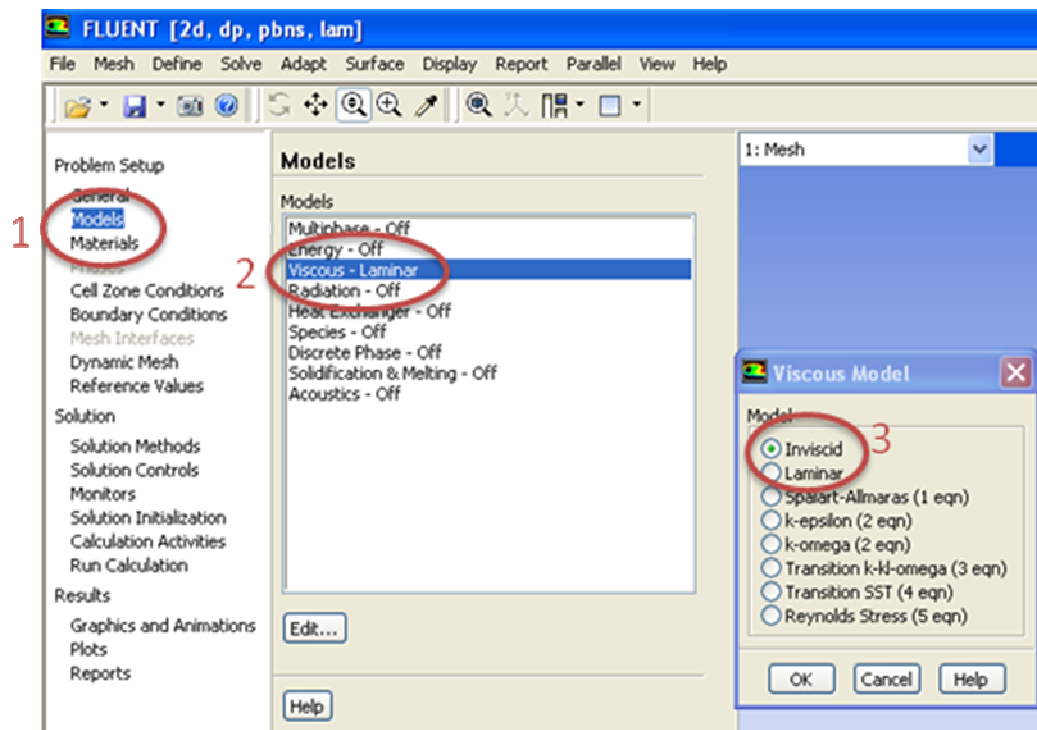
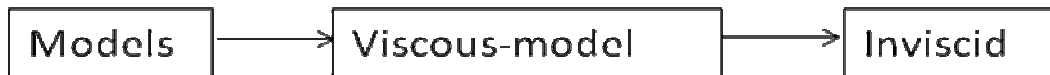


Fig. 6. Selecció del model de viscositat



c) Selecció del material

Es deixaran els material que venen predefinits. Que són l'aire per al medi fluid i l'alumini per al sòlid.

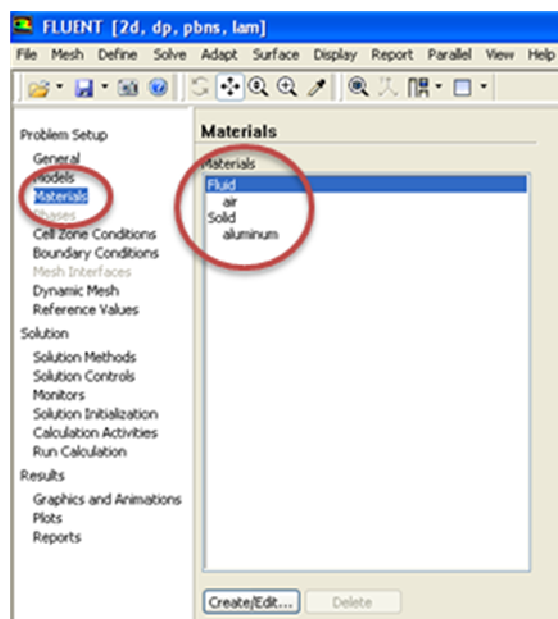


Fig. 7. Selecció del materials involucrats.



d) Condicions de les cel·les

Cal canviar les condicions de les cel·les de la superfície del perfil. Es passa de sòlid a fluid (aire).

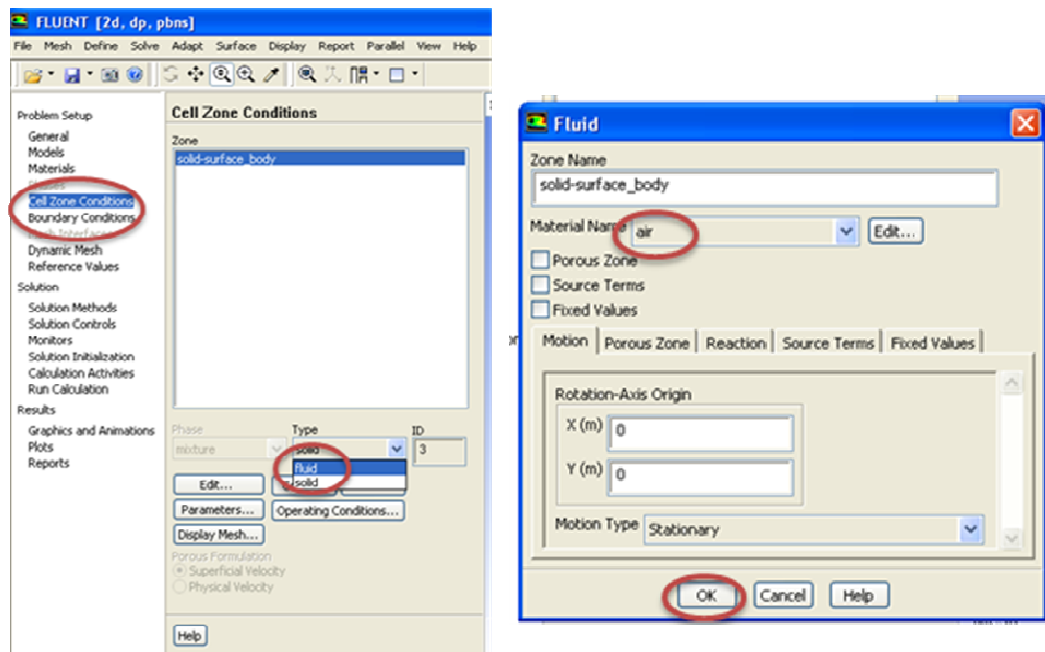
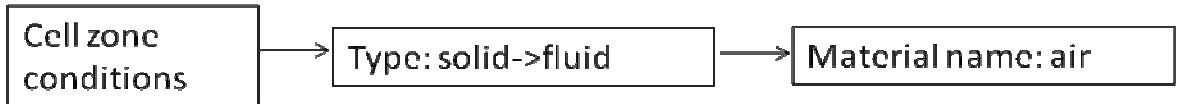


Fig. 8. Canvi en les condicions de les cel·les del perfil.



e)Condicions de contorn

En aquest apartat cal introduir la velocitat d'entrada del fluid ($V=10$ m/s).

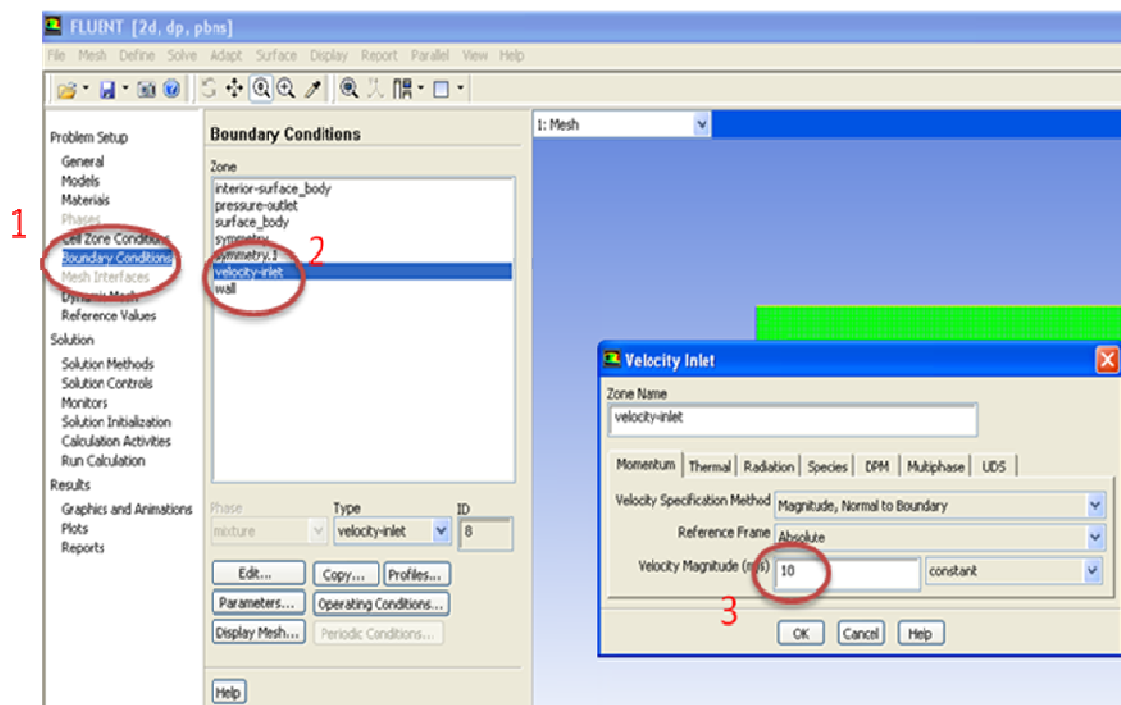


Fig. 9. Selecció de les condicions de contorn.



f) Control de la solució

Per simular un flux potencial cal anular els factor de sub-relaxació (*under-relaxation factors*). Es posa 0 a *pressure, density, body forces i momentum*.

Nota: El programa no accepta 0 al camp de *momentum*, per tant caldrà inserir un número pròxim a zero. Ex: 0.0000001

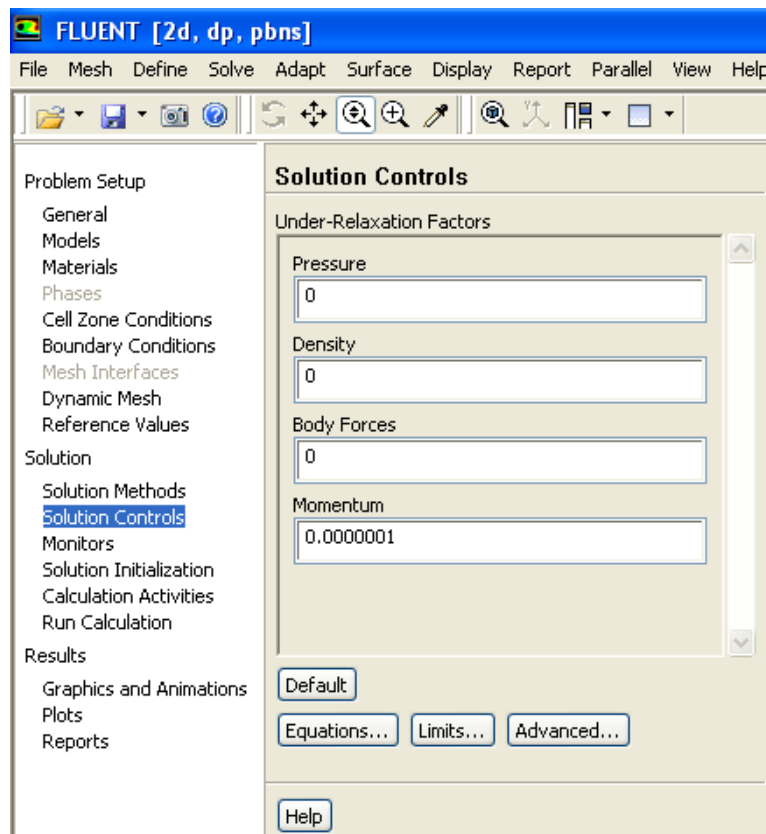


Fig. 10. Anulació dels factors de sub-relaxació.



g) Inici de la solució

Per solucionar el problema cal abans inicialitzar-lo.

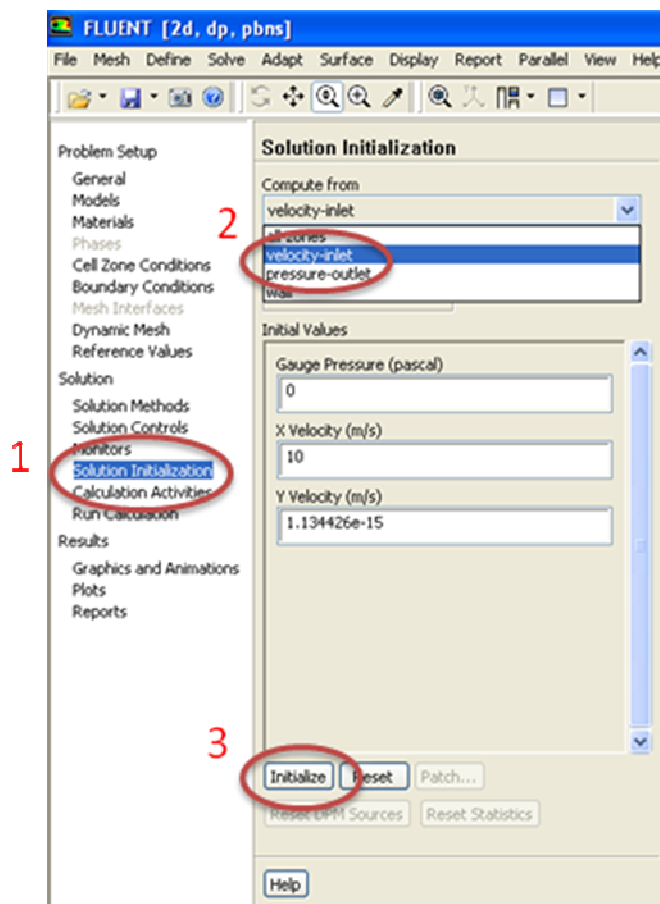


Fig. 11. Inici de la solució.



h) Càlcul de la solució

Per trobar la solució cal establir un número suficientment alt d'iteracions (Ex: 500)

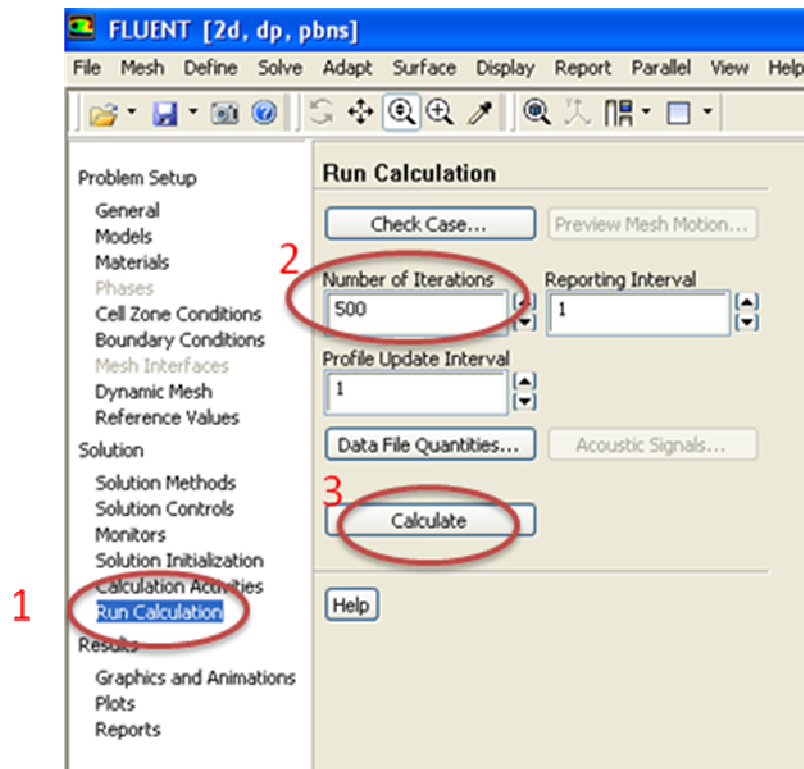
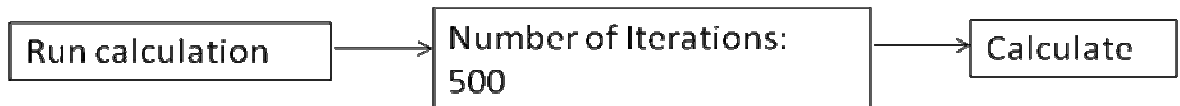


Fig. 12. Càlcul de la solució.



i)Convergència de la solució.

Quan en pantalla aparegui el missatge “*solution is converged*” voldrà dir que el programa ha arribat a la solució final amb el número d’iteracions corresponent. Aquesta solució ve determinada quan els residus de les components x, y i de l’equació de continuïtat tenen un error inferior de 0.001.

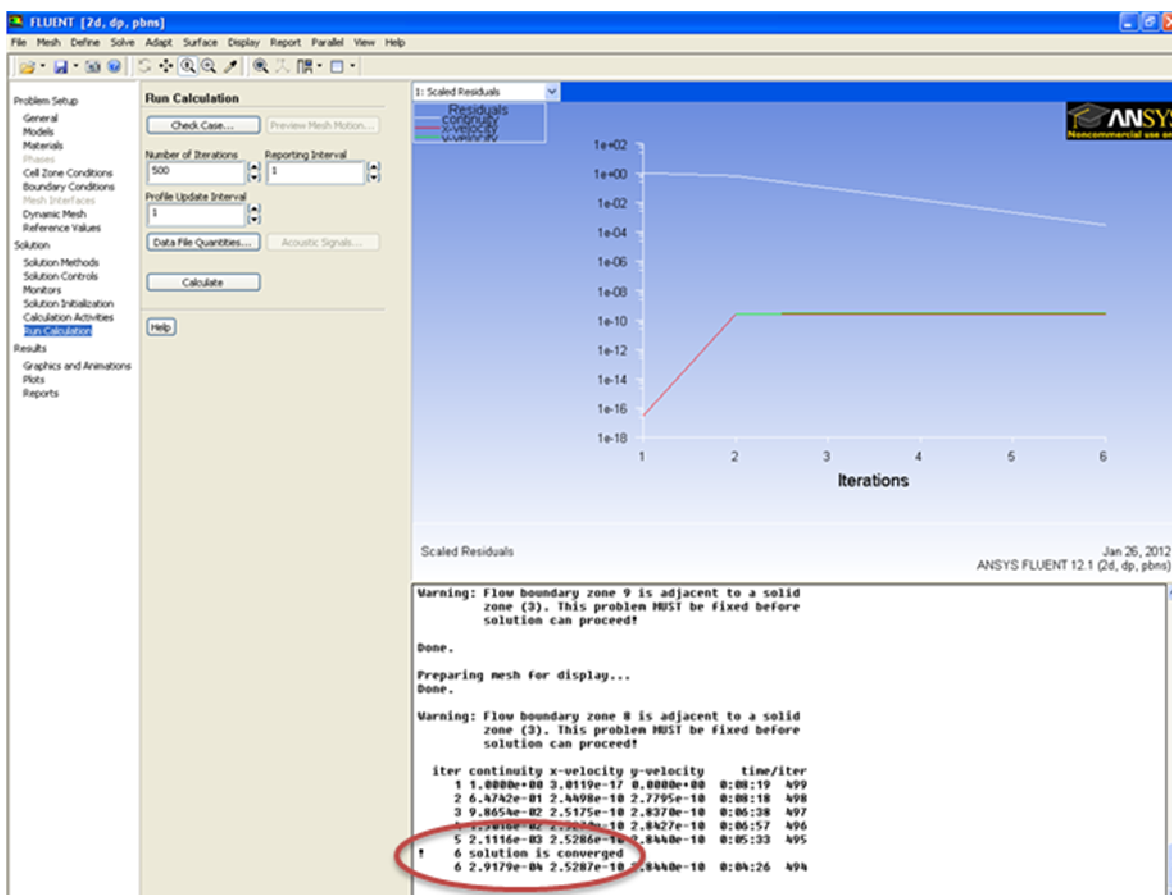


Fig. 13. Convergència de la solució.



j) Visualització dels resultats

-Línies de corrent

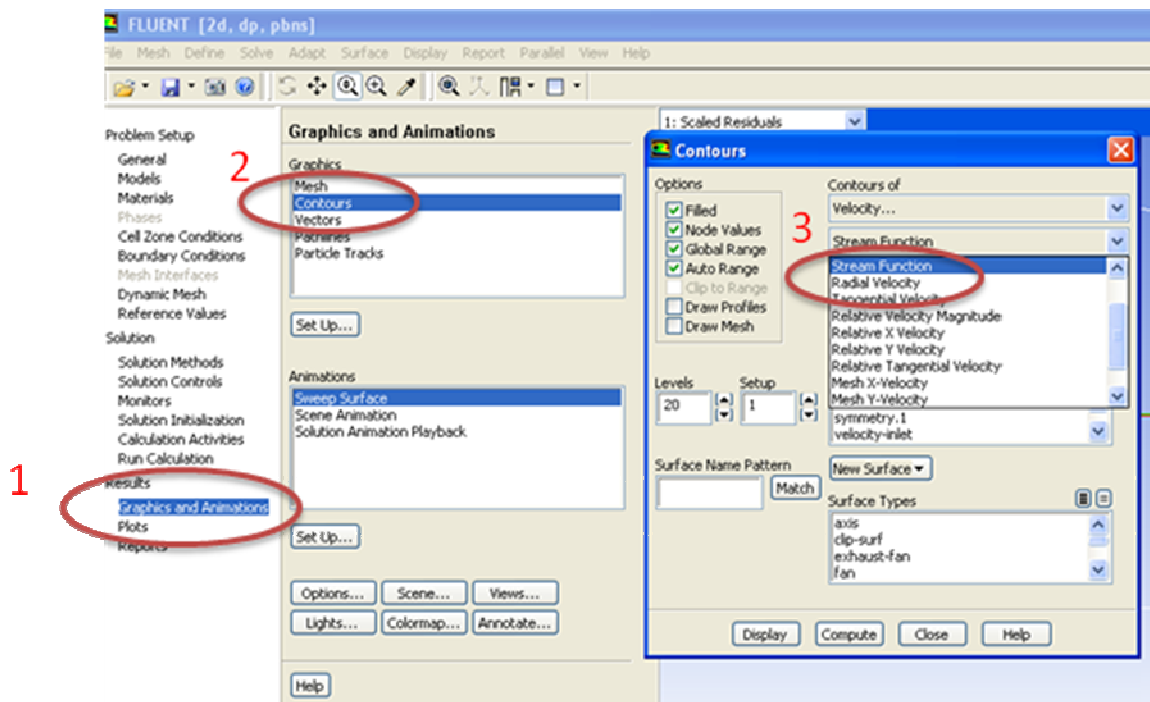


Fig. 14. Ruta d'accés al gràfic de les línies de corrent



-Contorns i vectors de velocitat:

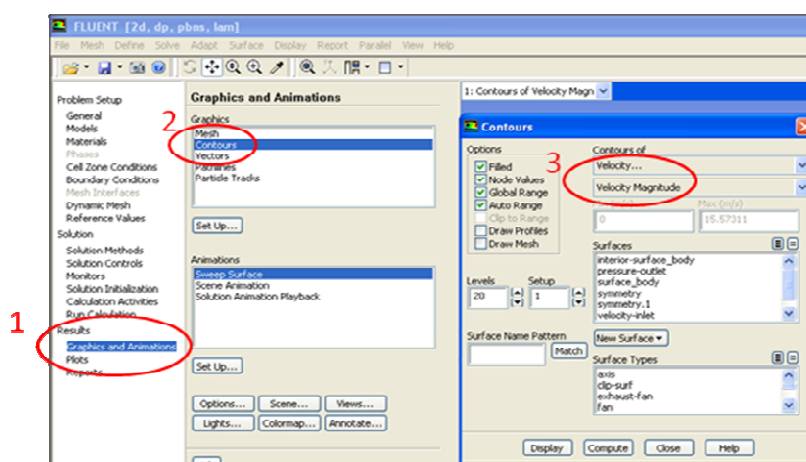
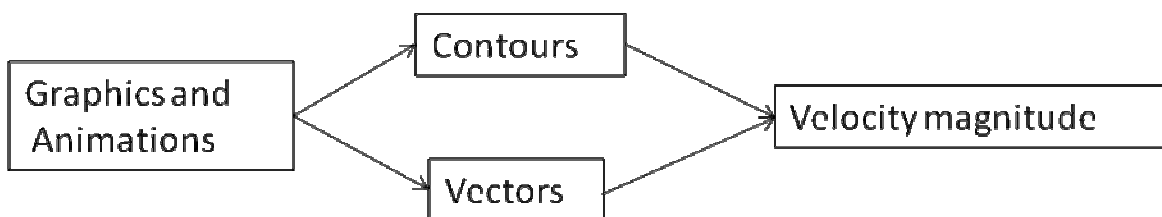


Fig. 15. Ruta d'accés al gràfic dels contorns de velocitat.

Nota: Cal marcar la opció "Filled"

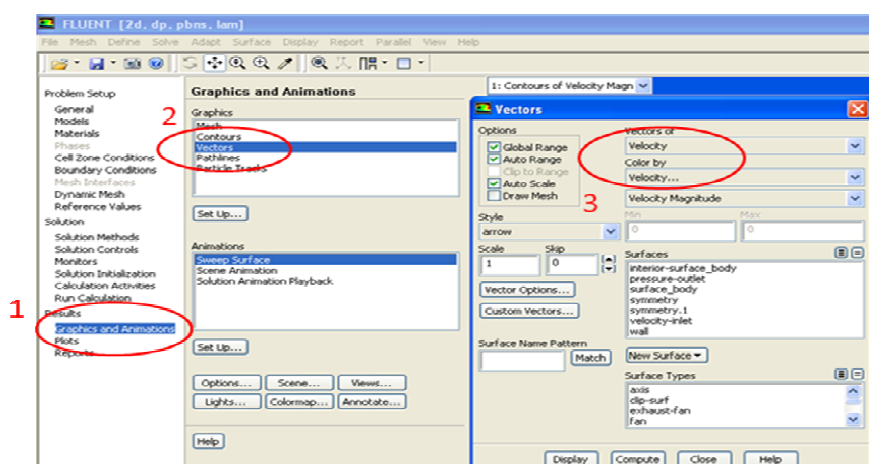
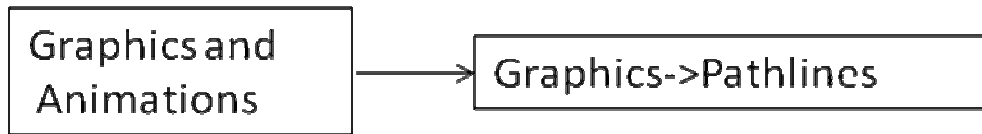


Fig. 16. Ruta d'accés al gràfic dels vectors de velocitat.



-Trajectòries



Per aquest gràfic caldrà ajustar una sèrie de paràmetres:

A. Pulse Mode : Continous

B Release from surfaces: interior-surface body

C.Steps: 100 Path skip: 200

D. Style: Line and arrows

Atributtes: Spacing Factor 10

Scale:0.1

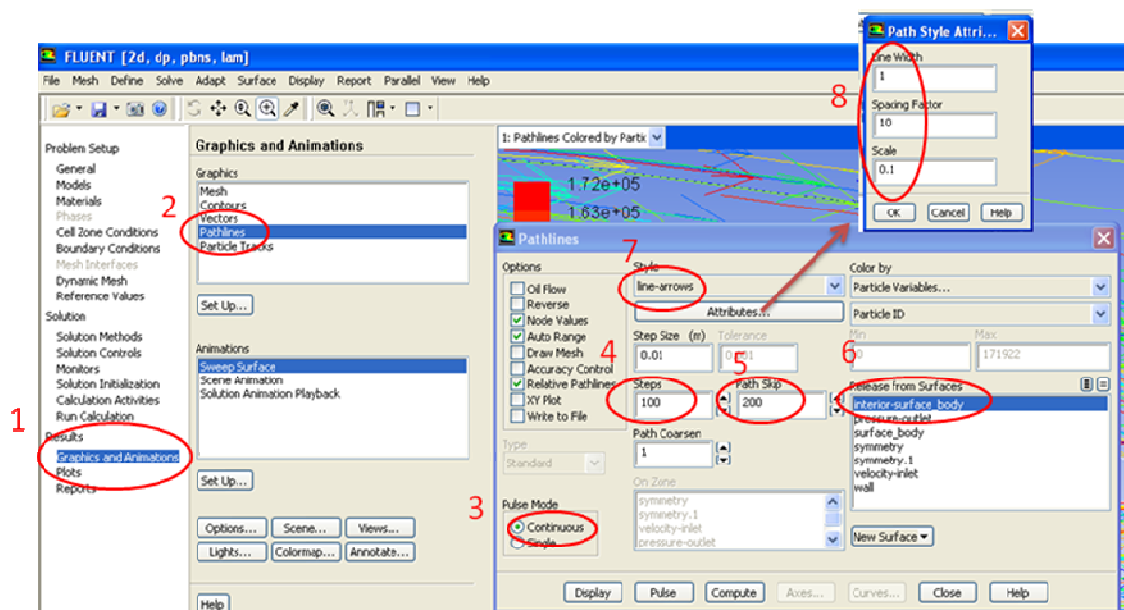


Fig. 17. Ruta d'accés al gràfic de les trajectòries.



PAS 5B: Estudi d'un flux real.

Es tracta de simular un flux de tipus real. En aquest cas es tindran en compte els efectes viscosos de fluid. El FLUENT permet seleccionar diferents models de flux real que s'ajusten a les necessitats del problema. En el nostre cas el model seleccionat serà el de les *k-epsilon*. Es repetiran els mateixos passos que en l'estudi d'un flux potencial però sense tenir en compte l'apartat f i tenint en compte el gràfic de pressions estàtiques.

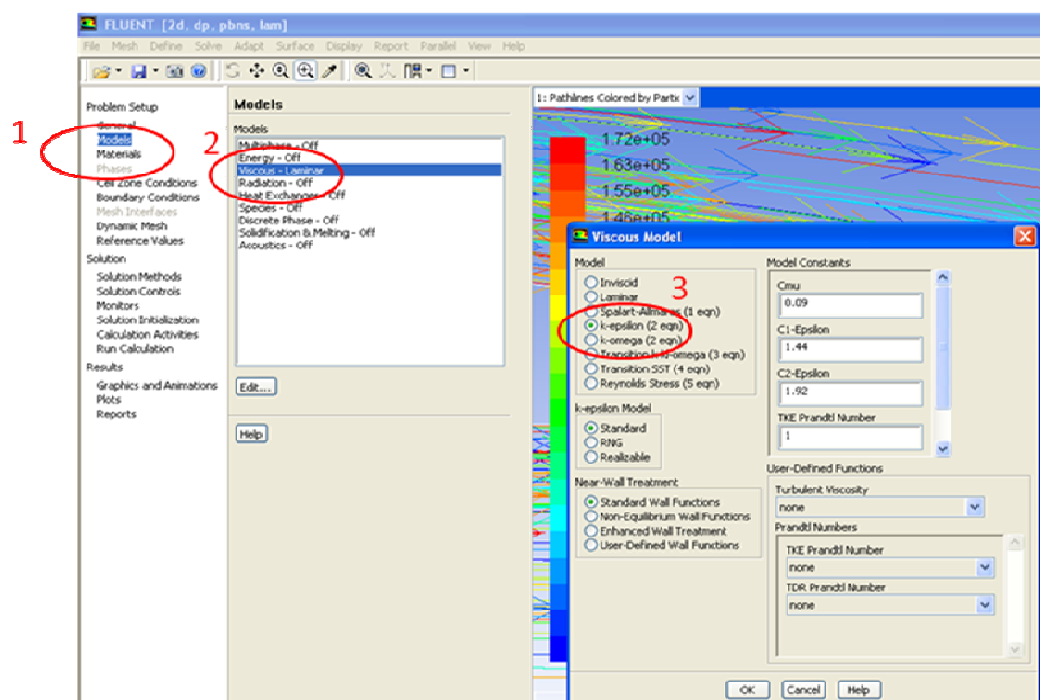
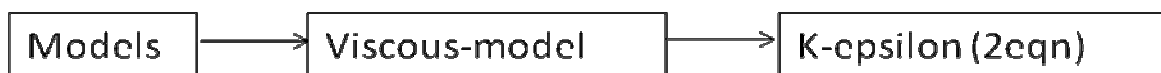


Fig. 18. Ruta d'accés per a la selecció d'un model viscos.

Es deixaran els paràmetres estàndard.



Per trobar les pressions estàtiques que es demanen per aquesta part de l'exercici caldrà anar:

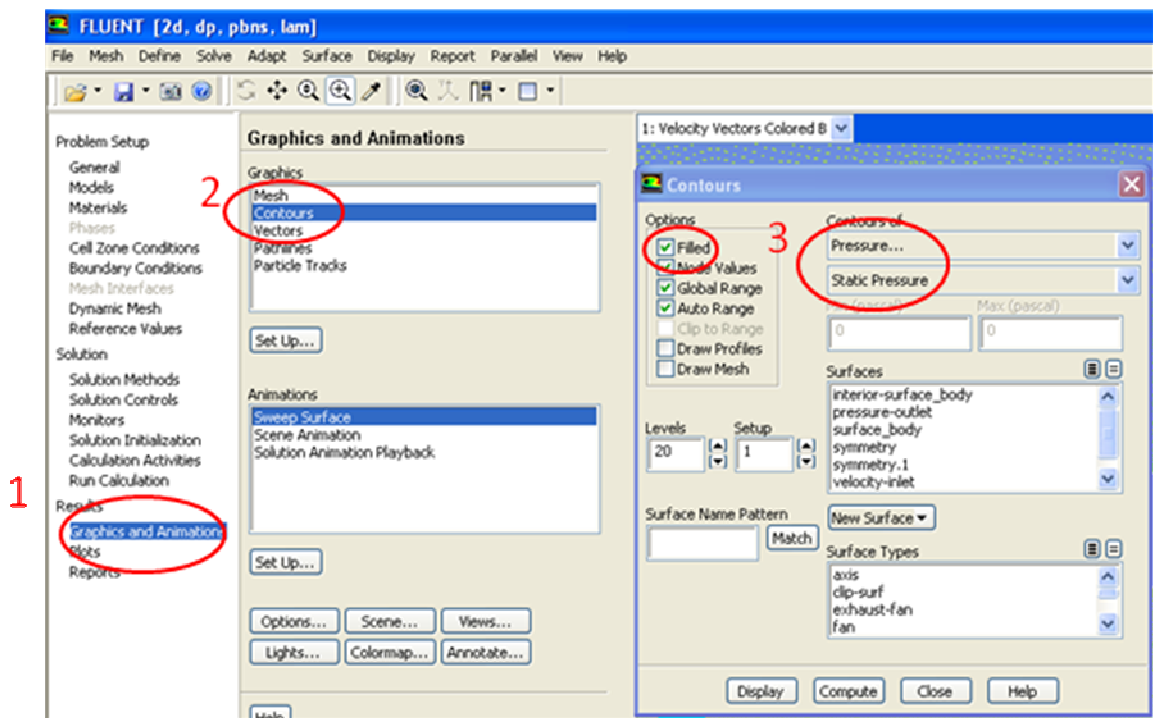


Fig. 19. Ruta d'accés al gràfic de les pressions estàtiques.

Nota: Cal marcar la opció "Filled"



Annex D: Especificacions geomètriques del perfil d'ala

D.1. Coordenades geomètriques del perfil Clark Y a 0°

X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)
7	0	120	11	17	17
10	0	110	13	13	16
20	0	104	14	10	15
40	0	100	14,5	7	14
60	0	98	15	6	13
80	0	90	16	4	12
120	0	82	17	3	11
150	0	80	17,25	2	10
166	0	75	18	1	9
166	0,4	70	18,6	0	8
165,8	0,8	65	19	2,5	1,5
165	1,8	60	19,5	-0,25	5
164	2	50	20		
160	3	40	20		
155	4	35	19,8		
150	5	30	19,25		
140	7	28	19		
135	8	21	18		
130	9	20	17,8		



D.2. Coordenades geomètriques del perfil Clark Y a 15°

X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)
9	5	105	26	10	7	105	46
15	6,5	110	28	15	10	110	48
20	8	115	29	20	12	115	49
25	9	120	30	25	14	120	50
30	10	125	31	30	16	125	51,5
35	11	130	32	35	19	130	53
40	12	135	33	40	21	135	53
45	13	140	34	45	23	140	54
50	14	145	35	50	25	145	54
55	15	150	37	55	27	150	54
60	16	155	38	60	30	155	54
65	18	160	39	65	32	160	53
70	19	165	40	70	34	165	52
75	20	170	44	75	35	166	51
80	21	170	47	80	37		
85	22	169	49	85	39		
90	23	168	50	90	41		
95	24	169	40	95	43		
100	25	170	47	100	45		



D.3. Coordenades geomètriques del perfil Clark Y a 30°

X(mm)	Y(mm)
4	0
5	2
6	4
7	5
9	6
10	7
15	10
20	13
25	16
30	19
35	22
40	25
45	28
50	31
55	35
60	38
65	41
70	44
75	47

X(mm)	Y(mm)
80	50
85	53
90	56
95	59
100	62
105	65
110	68
115	71
120	74
125	77
130	80
135	83
140	86
144	88
144	87
143	85
140	83
135	78
130	73

X(mm)	Y(mm)
125	68
120	64
115	59
110	55
105	51
100	46
95	42
90	38
85	34
80	30
75	26
70	22
65	18
60	15
55	11
50	8
45	5
40	2
35	0

X(mm)	Y(mm)
30	-2
25	-3
20	-5
15	-6
10	-5
5	-3
4	0



Annex E. Influència de qualitat del mallat en les simulacions.

E.1. Consideracions generals per al mallat d'un model

Un dels factors més importants a l'hora de realitzar una simulació per mitjà de qualsevol aplicació que utilitzi el mètode dels volums finits és sens dubte el mallat de la geometria objecte de simulació.

Per una part és important l'elecció del tipus de malla. Al respecte han de considerar-se els següents aspectes:

- Temps necessari per crear la malla.
- Costos computacionals
- L'efecte de la difusió numèrica

La geometria de la major part dels problemes que es resolen avui dia per mitjà de l'anàlisi CFD són geometries complexes. La creació de malles estructurades o estructurades per blocs (constituïdes per elements quadrilàters o hexaèdrics) pot ser extremadament complexa requerint un temps excessiu, o simplement impossible. El temps, vital en el món de l'enginyeria, pot donar lloc en aquests casos a l'elecció de malles del tipus no estructurades, que utilitzen elements de tipus triangular o tetraèdric.

Quan les geometries són complexes o el rang de longituds d'escala del flux és gran, un mallat triangular/tetraèdric sol ser més apropiat, requerint un menor número de cel·les que una mallat quadrilàter/hexaèdric. Això és degut que les primeres permeten que les cel·les siguin agrupades en regions seleccionades del domini fluid, mentre que les malles estructurades poden arribar a requerir un gran número de cel·les en zones on no es necessiten. No obstant, per a geometries d'un grau de complexitat mitjà, les malles no estructurades de tipus quadrilàtera/hexaèdrica, ofereixen moltes de les avantatges de les malles triangulars/tetraèdriques.

En altres aspectes, les malles quadrilàteres/hexaèdriques ofereixen també avantatges respecte a les triangulars/tetraèdriques. Les primeres permeten majors relacions d'aspecte. Una relació d'aspecte elevada en malles triangulars/tetraèdriques implica necessàriament la



formació d'angles aguts en les cel·les, la qual cosa s'ha d'evitar sempre que sigui possible, donada la repercussió negativa en la convergència i exactitud del problema.

En quant a la *difusió numèrica* (també anomenada *difusió fictícia*, donat que no es tracta d'una difusió física real), es tracta d'una de les fonts d'error dominants en situacions multidimensional. Tots els algorismes numèrics per a la resolució de fluxos de fluids presenten el problema de la difusió numèrica, per els errors de truncament derivats de la consideració de les equacions de flux en forma discreta. La difusió numèrica està molt relacionada amb la resolució de la malla. Així malles refinades proporcionaran menor difusió numèrica. També es minimitza el problema quan el flux està alineat amb la malla, el que fa més apropiades les malles quadrilàteres/tetraèdriques al ser impossible utilitzant una malla triangular/tetraèdrica.

E.2. Importància de la qualitat d'una malla

La qualitat de la malla juga un paper fonamental en l'estabilitat i exactitud dels càlculs numèrics. Algunes de les propietats associades amb la qualitat d'una malla són per exemple, la densitat i distribució de nodes, suavitat de la malla, formació d'angles pronunciats, relació d'aspecte, etc.

Com al mallar un model es defineix de forma discreta un recinte que en realitat es continu, el grau d'exactitud amb el que es resolen les zones més complexes del flux (com zones en les que es produeixen ones de xoc, zones amb desprendiment de la capa límit entre d'altres), dependrà de la densitat i distribució dels nodes de la malla en aquestes regions. Una resolució pobre de la malla en aquestes zones crítiques del flux pot alterar substancialment les seves característiques.

La resolució de la malla per a fluxos turbulents és molt important degut a l'interacció entre el flux principal i la turbulència, els resultats numèrics tendeixen a ser més sensibles a la dependència de les característiques del mallat que els fluxos laminars. En aquests casos, la resolució de la malla requerida en les zones adjacents a les parets, depèn del model de paret utilitzat.

Un altre factor important és la suavitat de la malla. Aquesta propietat està relacionada amb el canvi de volum entre cel·les adjacents. Canvis ràpids porten a gran error de truncament, definit com la diferència entre les derivades parcials entre les equacions de flux i les seves aproximacions discretes.



També és precís tenir en compte la forma de les cel·les. Al respecte es parla de *formació d'angles aguts* i *relació d'aspecte*.

-La formació d'angles aguts es defineix com la diferència entre la forma de la cel·la i la forma d'una cel·la quadrilàtera del mateix volum. Cel·les molt punxegudes poden reduir l'exactitud i desestabilitzar la solució. Les malles quadrilàteres òptimes son aquelles amb angles en els vèrtexs pròxims 90° , mentre que les malles triangulars haurien de tenir preferiblement angles pròxims a 60° i tots els seus angles menors a 90° .

-La relació d'aspecte és una mesura de l'allargament d'una cel·la. Per a fluxos no isotròpics, l'ús de relacions d'aspecte grans pot proporcionar resultats exactes amb un menor número de cel·les. No obstant és convenient no utilitzar relacions d'aspecte superiors a la relació 5:1.

Per últim, els efectes de la resolució, suavitat i forma de la malla sobre l'exactitud i l'estabilitat del procés de solució, són altament dependents de les característiques del flux objecte de simulació. Cel·les molt punxegudes poden tolerar-se en zones on el flux no pateixi canvis, mentre que en zones d'alts gradients pot ser molt perjudicial. Donat que, normalment, no es pot determinar a priori on es produeixen els majors gradients, és aconsellable mallar el model complet amb una malla d'alta qualitat.



Annex F. Mallats i simulacions.

A continuació es presenten els resultats d'una sèrie de malles i simulacions obtingudes mitjançant el màxim possible dels recursos de l'ordinador. S'ha buscat el mallat més refinat possible per als tres casos d'angle d'atac (0° , 15° , i 30°). Els resultats obtinguts per tots 3 són molt acurats però els temps invertit en l'obtenció de tot tres has estat excessiu.

Perfil d'ala a 0° (flux turbulent)

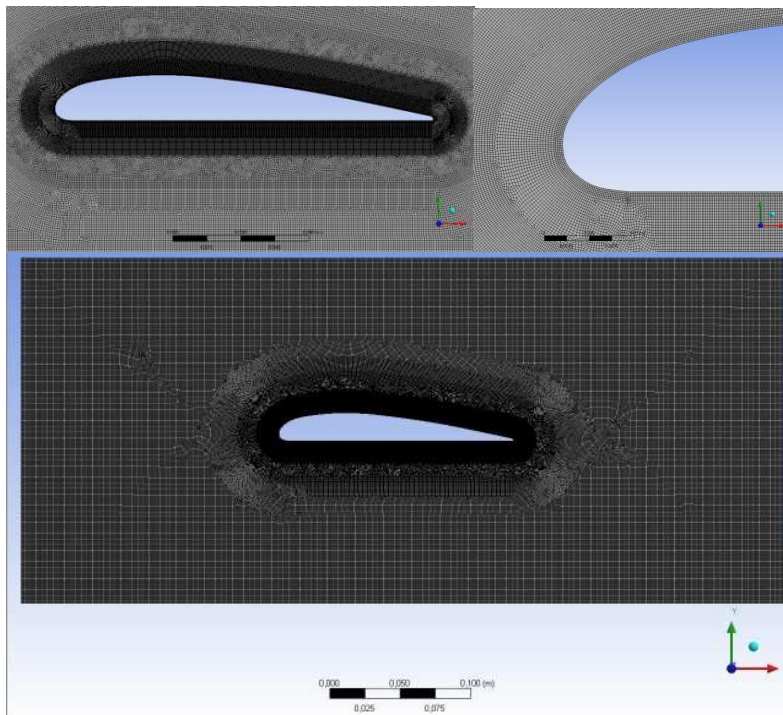


Fig. 1. Mallat molt refinat del perfil d'ala a 0° .



Refinat	
223330 nodes	221770 elements
Àrea	Grandària d'element (mm²)
1r anell	0,2
2n anell	0,3
3r anell	0,7
4rt anell	1
rectangle	1

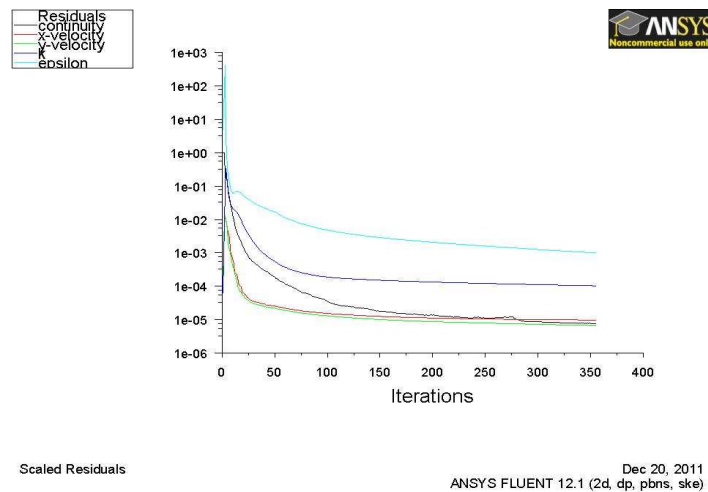


Fig. 2. Càlcul de l'error amb 355 iteracions.



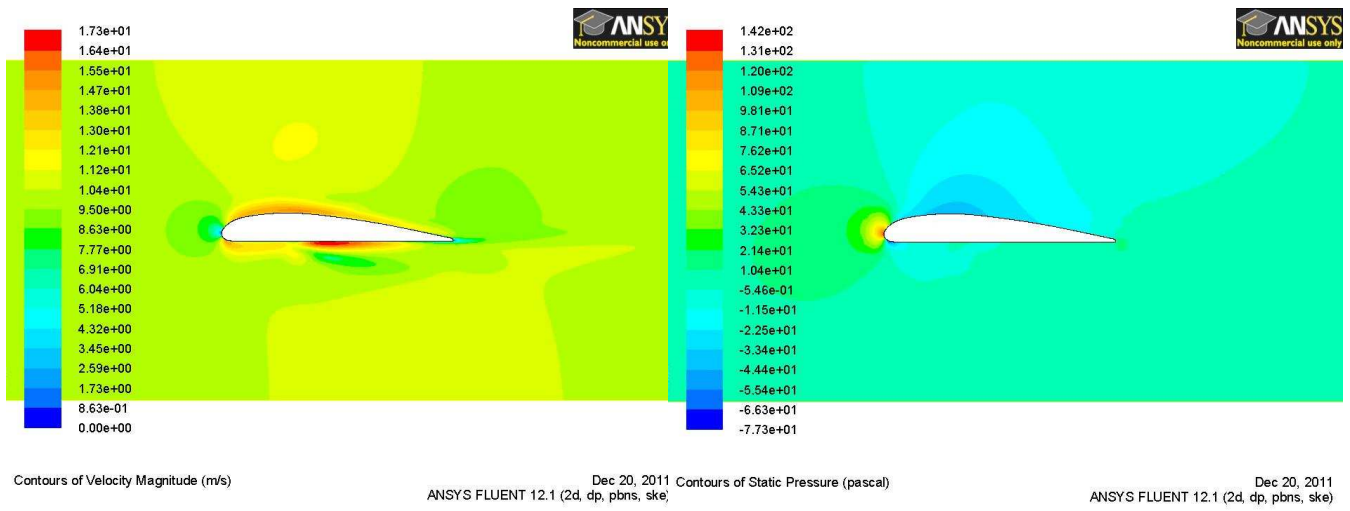


Fig. 3. Contorns de velocitat i pressió amb un model de mallat molt refinat

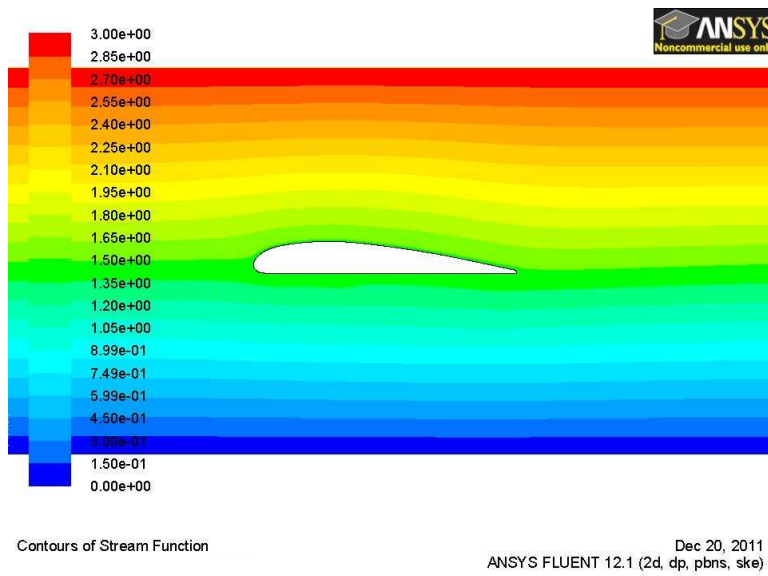


Fig. 4. Línies de corrent per a un perfil a 0° i mallat molt refinat..



Perfil d'ala a 15° (flux turbulent)

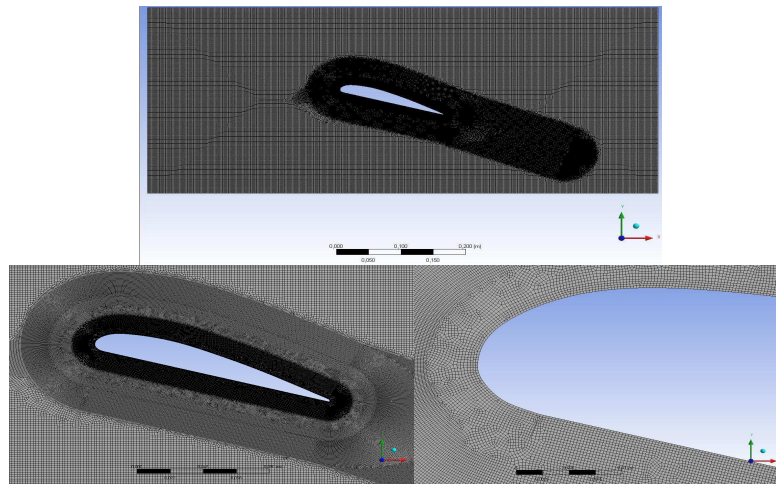


Fig. 5. Mallat molt refinat per al perfil d'ala a 15° amb dues

Refinat	
233698 nodes	232649 elements
Àrea	Grandària d'element (mm)
1r anell	0,3
2n anell	0,3
3r anell	0,7
4rt anell	0,7
Deixant rectangle	0,7
	1,3

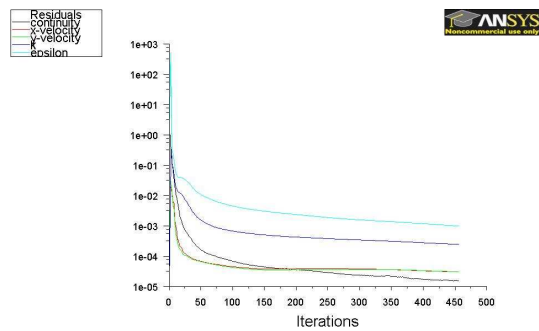


Fig. 6. Càlcul de la solució en el perfil d'ala a 15° amb 450 iteracions..



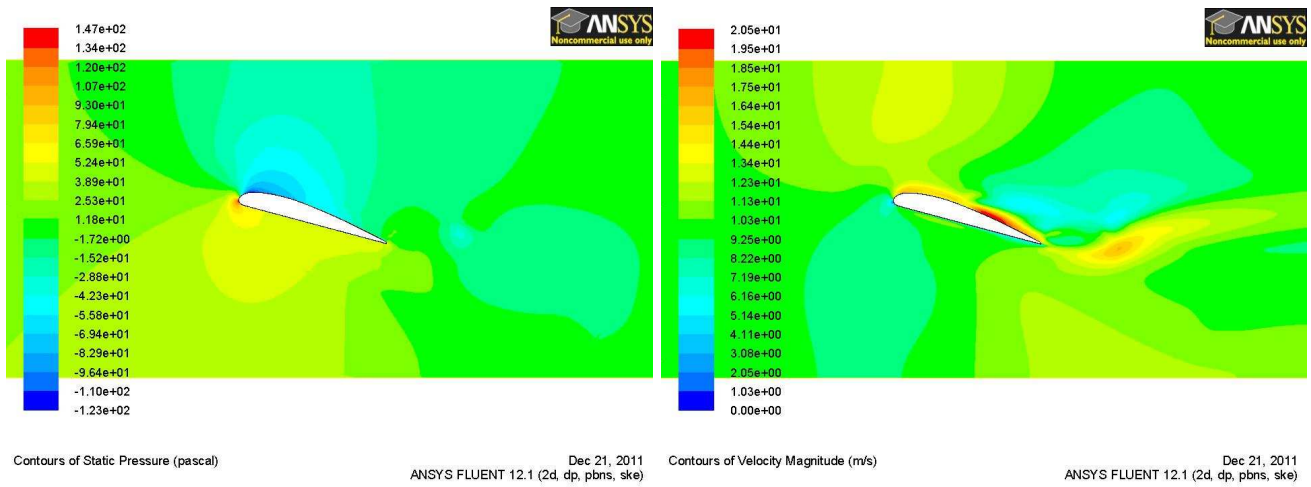


Fig. 7. Contorns de pressió i velocitat per al perfil d'ala a 15° seguint el mallat molt refinat.

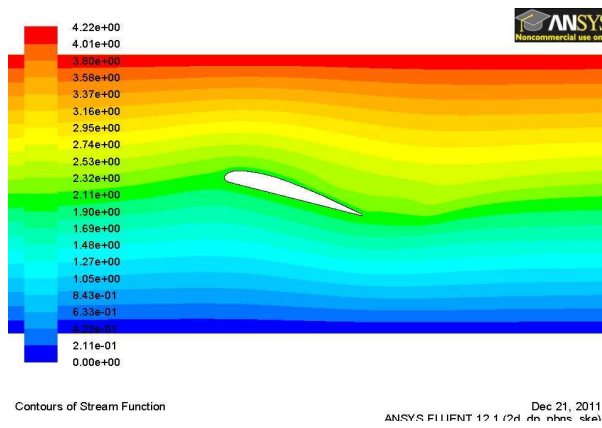


Fig. 8. Línies de corrent per al perfil d'ala a 15° i mallat molt refinat.



Perfil d'ala a 30° (flux turbulent)

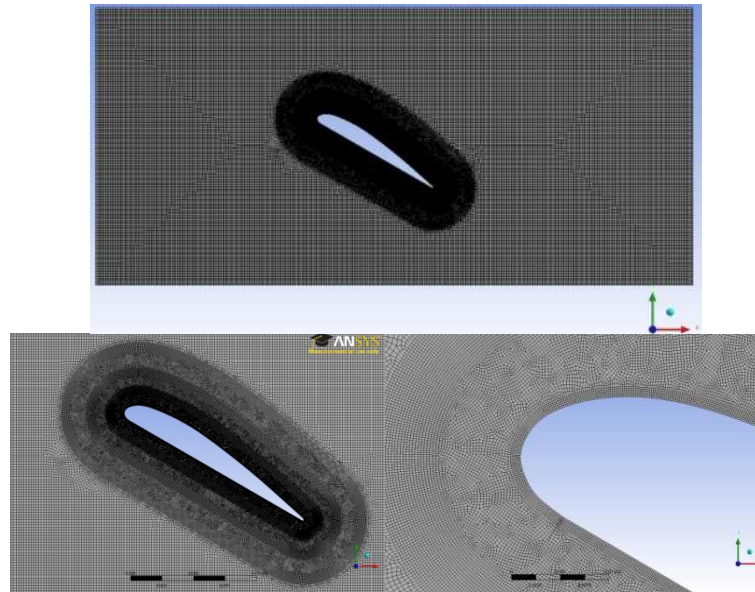


Fig. 9. Mallat molt refinat per al perfil d'ala a 30°.

Refinat	
194345 nodes	193193 elements
Àrea	Grandària d'element (mm)
1r anell	0,2
2n anell	0,3
3r anell	0,5
4rt anell	0,7
rectangle	2

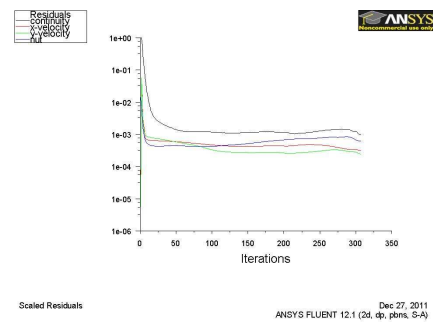


Fig. 10. Càlcul de la solució per al perfil d'ala a 30° . 315 iteracions.



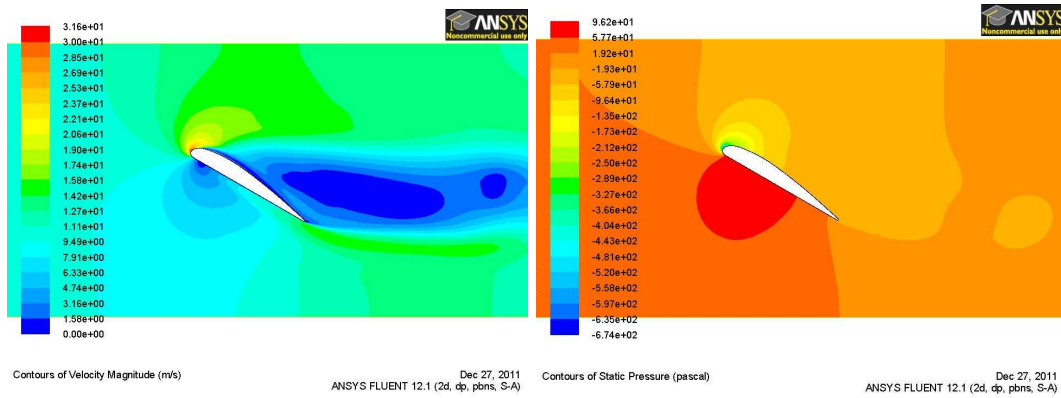


Fig. 11. Gràfics de velocitat i de pressió per al perfil d'ala a 30° seguint les equacions de Spallart-Almaras

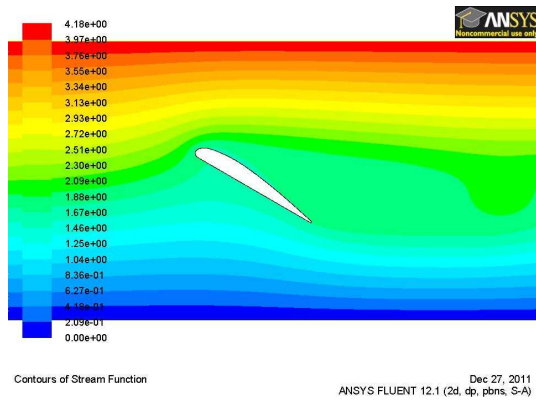


Fig. 12. Línies de corrent per al perfil a 30° amb el mallat molt refinat

