



EPS

Escola Politècnica

UdG

Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Tècn. Ind. Mecànica. Pla 2002

Títol: Millora aerodinàmica de la nova carrosseria del vehicle l'àliga. Estudis dels efecte de la rugositat i l'inserció d'apèndixs aerodinàmics.

Document: Memòria i annexes

Alumne: Daniel Estarriola Dalmau

Director/Tutor: Marc Gascons Tarrés / Marc Pelegrí Sabater

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria mecànica / Mecànica de fluids

ÍNDEX

Document 1: Memòria.....	2
1. INTRODUCCIÓ	3
1.1 Antecedents.....	3
1.2 Objecte	4
1.3 Especificacions i abast.....	5
1.4 Dades del projecte i dels seus autors.....	6
2. DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ	7
2.1 Forma i col·locació dels apèndixs aerodinàmics	7
2.2 Posició dels apèndixs.....	9
2.3 Altres configuracions dels apèndixs	14
2.4 Estudi de la rugositat.....	16
3. RESUM ECONÒMIC	21
4. CONCLUSIONS	22
5. RELACIÓ DE DOCUMENTS	25
6. BIBLIOGRAFÍA.....	26
7. GLOSSARI	27
ANNEX A: NOCIONS TEÒRIQUES.....	32
ANNEX B: PROCÉS PER L'OBTENCIÓ DELS RESULTATS.....	41
B.1 PROCÉS DE CREACIÓ DELS APÈNDIXS	41
B.2 GENERACIÓ DE LA MALLA AMB "ICEM ANSYS".....	46
B.3 ALTERNATIVES DE MALLAT	61
B.4 PROCÉS DE SIMULACIÓ AMB "STAR CCM+".....	63
B.5 RUGOSITAT.....	79
B.6 PROBLEMS DE MALLAT EN EL PROGRAMA "STAR-CCM+"	80
ANNEX C: ESTUDI DE LES GEOMETRIES.....	84
C.1 ESTUDI DE LES DIFERENTS POSICIONS	84
C.1.2 PRIMERES ITERACIONS	84
C.1.1.1 RESUM DE RESULTATS	102
C.1.1.2 REFINAMENT DE LA MALLA.....	105
C.1.1.2.1 RESUM DE RESULTATS	115
C.3 MIDES I COL·LOCACIÓ DELS APÈNDIXS.....	117
C.4 ESTUDI DE LA RUGOSITAT	135
C.4.1 RESUM DE RESULTATS.....	145
C.5 TAULA RESUM GLOBAL.....	146
ANNEX D: CÀLCULS TÈCNICS.....	149
ANNEX E: ESQUEMA DEL PROTOTIP	157

Document 1: Memòria

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

La Eco Shell Maraton és una cursa de nivell internacional que es celebra anualment a França i que té com a propòsit un concurs basat en el mínim consum de combustible per part dels diferents prototipus que fabriquen i presenten els diferents participants. Els equips que participen al concurs són d'arreu del món, i busquen que els seus prototipus realitzin la distància establerta per la organització, que és la mateixa per a tots els participants, amb el mínim consum de combustible possible.

La cursa consisteix en realitzar 7 voltes al circuit amb el mínim consum de combustible. Es tracta, per tant, d'un circuit tancat amb un recorregut mig aproximat de 3'6 km per volta. Els vehicles que s'hi presenten estan classificats en una categoria o en una altra segons els tipus d'energia que utilitzen per a la seva propulsió: Motor Otto (gasolina de 95 octans), Motor Diesel, GLP, pila de combustible (hidrogen), energies alternatives i també per la seva configuració, classificant-se en prototips o vehicles urbans.

Des de ja fa uns anys, la Universitat de Girona, i més concretament la Universitat Politècnica Superior, participa a la Eco shell Marathon, mirant d'assolir els millors resultats possibles, dins de les limitacions de recursos de les que es disposa. El nom del vehicle utilitzat per aquesta carrera és l'Àliga .

Aquest projecte parteix dels resultats obtinguts al projecte, "Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum Àliga" (Daniel Vilavedra Vilà, EI, 2006), en el qual es va dissenyar una nova geometria per aquest vehicle i també de la utilització d'uns apèndixs a la geometria d'un altre equip que participa a la carrera, els quals ells asseguraven que millorava el coeficient aerodinàmic un 20%, és per això que els membres de l'equip de l'EPS van decidir presentar aquest tema com a projecte de final de carrera per veure si a l'Àliga" també tenia aquesta millora.

1.2 Objecte

L'objectiu d'aquest estudi és intentar millorar l'aerodinàmica de la nova carrosseria del vehicle de baix consum de la UdG, l'"Àliga" a través de programes informàtics de CFD.

Partint de la nova geometria creada, estudiar els efectes que tindrien sobre el coeficient aerodinàmic (C_x) i sobre el coeficient de sustentació (C_L) la inserció d'uns apèndixs aerodinàmics al voltant de la carrosseria, així com mirar si és millor pel cotxe deixar-lo amb l'acabat de la fibra de carboni, que té una rugositat molt alta o si és millor pintar-lo per minimitzar aquestes imperfeccions amb una pintura i amb el consegüent augment de pes del cotxe, per tal de que l'aire llisqués més.

Un cop obtinguts aquests resultats, es valorarà la viabilitat d'aplicar-los al vehicle real; comparant el que suposaria la seva aplicació en el cotxe amb la millora de l'eficiència que suposarien.

1.3 Especificacions i abast

Les especificacions per aquest projecte no són absolutament necessàries sí que seria interessant que la peça final complís.

-Haurà de ser fabricada pels membres de l'equip i a les instal·lacions d'un dels patrocinadors.

-Haurà de complir amb la normativa vigent que regeix la *Shell Eco Marathon*.

-Es farà l'estudi aerodinàmic tenint en compte que la velocitat mitjana a considerar que el prototipus circularà és de 40 km/h.

-Es negligeix l'efecte de vents laterals en l'estudi

-Es partirà de la geometria dissenyada en el projecte "Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum "Àliga"". Daniel Vilavedra Vilà. Projecte Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. EPS. Universitat de Girona .2007., es pot veure a la figura 1.

-La velocitat de càlcul considerada serà 40 km/h

-Els materials a utilitzar estaran disponibles al mercat espanyol

-Els apèndixs seran fabricats de fibra de carboni, el mateix material que la carrosseria.

L'abast del projecte comprèn l'avaluació de diferents iteracions per a les millores proposades, utilitzant eines de càlcul CFD, per tal de treure'n els valors de C_x i C_L òptims en cada cas, i posteriorment realitzar una valoració la seva aplicació al prototip real, Els programes utilitzats seran l'"Star ccm+" per fer la simulació i obtenir els resultats, l'"Icem Ansys" per fer el mallat i el "Rhinceros" per fer el dibuix de les geometries.

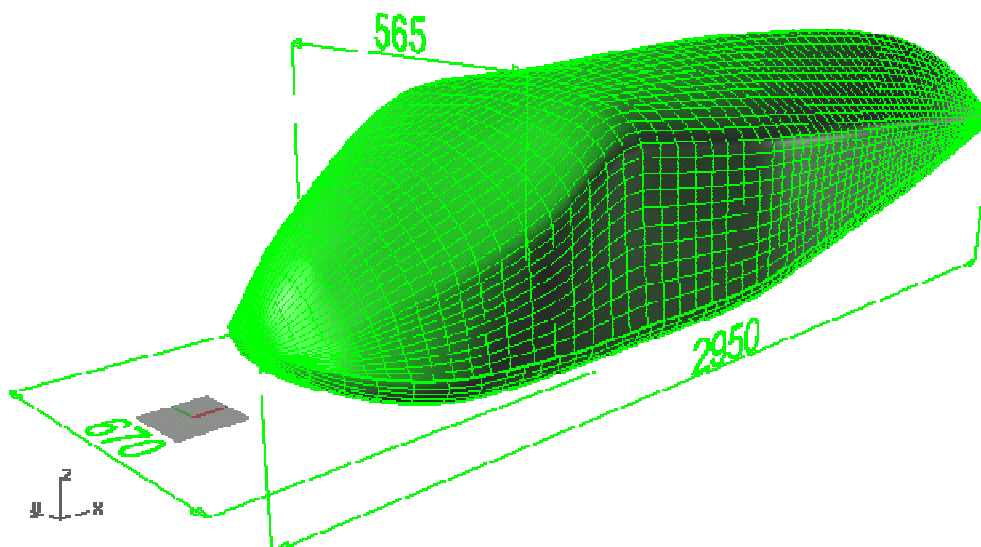


Figura 1: geometria creada en el projecte projecte "Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum "Àliga"". Daniel Vilavedra Vilà.

1.4 Dades del projecte i dels seus autors

-TÍTOL DEL PROJECTE:

Millora aerodinàmica de la nova carrosseria del vehicle l'Àliga. Estudis dels efectes de la rugositat i l' inserció d'apèndixs aerodinàmics.

-DADES DE L'AUTOR:

Daniel Estarriola Dalmau

-SOL-LICITANT DEL PROJECTE:

Departament de Enginyeria Mecànica. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona

- DATA DE L'ENCÀRREC:

14-3-2008

2. DESCRIPCIÓ DE LA SOLUCIÓ

L'Àliga és el vehicle de baix consum de la EPS en el qual en el projecte de "Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum Àliga". Daniel Vilavedra Vilà. Projecte Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. EPS. Universitat de Girona .2007, se li va dissenyar una nova carrosseria.

En aquest apartat s'expliquen els resultats que s'han obtingut durant la realització d'aquest projecte. En primer lloc s'exposen els resultats respecte els apèndixs i la seva col·locació i en segon lloc s'exposa l'estudi sobre els efectes de la rugositat

2.1 Forma i col·locació dels apèndixs aerodinàmics

A la hora de crear una geometria s'ha partit d'una base teòrica, i tenint en compte el C_x de la geometria per sobre del C_L , ja que és l'aspecte que influeix més en el consum del prototip.

Per fer les simulacions s'ha partit d'uns apèndixs rectangulars amb unes mides de 5cm de costat per 10 cm de llarg, s'han col·locat a una distància entre ells de 5 cm i la intenció és que tots sobresortissin per igual, per tant com que la superfície del cotxe té una forma complexa hi ha algunes posicions a on la mida de l'apèndix és inferior a aquests 5cm. com es veu a la figura 2.

Pel que fa al gruix, per fer les simulacions s'ha considerat que no tenien gruix i que eren una superfície rectangular, per facilitar el procés de mallar, però a la realitat aquests apèndixs tindran forma de "T" invertida, i estaran enganxats per les ales, figura 3 i tindran un gruix, el qual serà tan petit com sigui possible. Per fer els càlculs s'ha considerat que tindrien un gruix de 1mm.

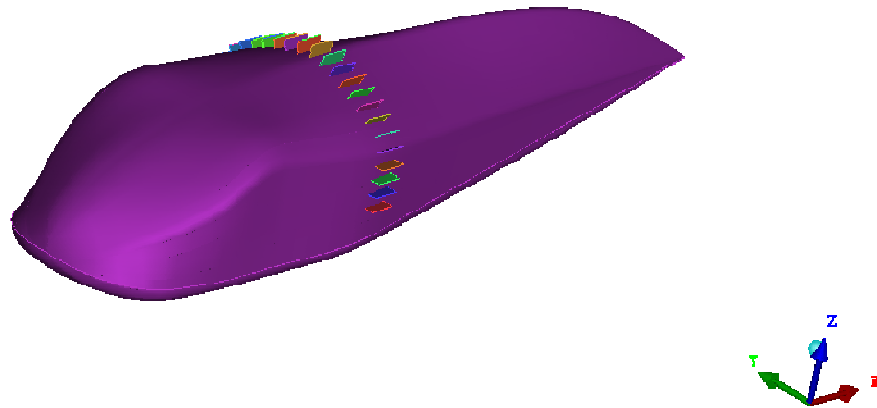


Figura 2: Disposició dels apèndixs en el cotxe

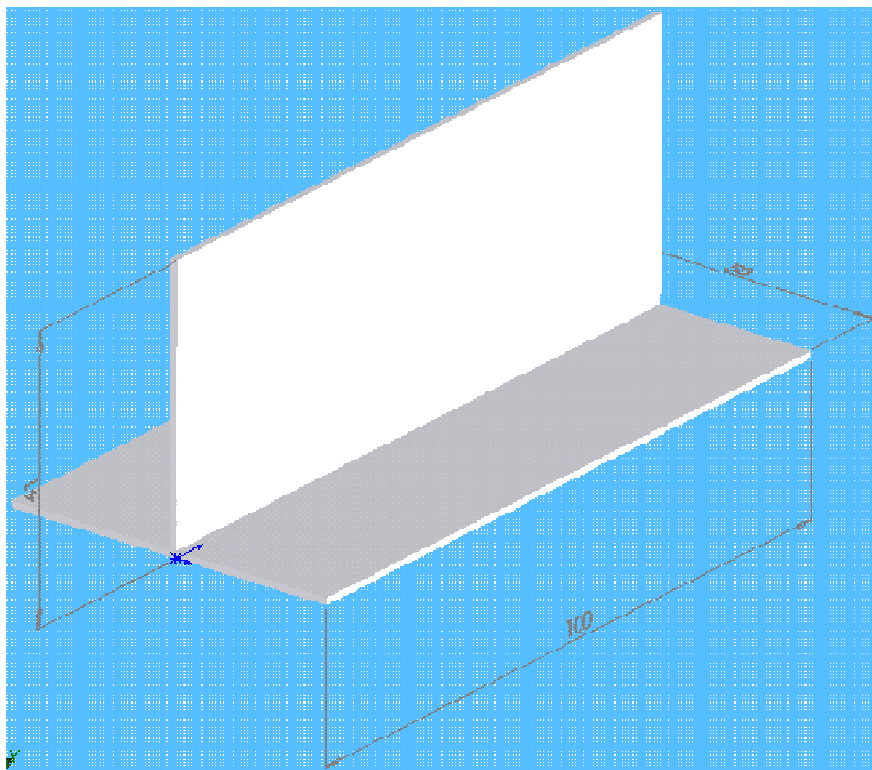


Figura 3: Forma real de l'apèndix

2.2 Posició dels apèndixs

Per a conèixer la posició dels apèndixs s'han referenciat respecte la part davantera.

S'han fet un seguit de proves entre 0,5 metres de la punta fins al final, a intervals de 10cm, excepte a la zona entre 1 i 1,5m de la punta a on s'han fet les simulacions cada 5cm perquè aquesta zona presentava uns resultats interessants.

Per fer aquestes primeres simulacions s'ha utilitzat les mateixes mides de mallat que en el projecte de "Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum "Àliga"". Daniel Vilavedra Vilà. Projecte Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. EPS Universitat de Girona .2007.

Els resultats de les proves inicials s'exposen a la taula 1. i a la figura 4 i figura 5.

- La taula mostra la relació del C_x i C_L , els valors inferiors a 100 milloren la geometria inicial. Taula 1:

DISTÀNCIA RESPECTE EL FRONTAL (m)	C_x	C_L	RELACIÓ C_x %	RELACIÓ C_L %
Cotxe sense apèndixs	0,0926258	-0,24909519	100	100
0,5	0,13003817	-0,39468107	140,390881	158,445882
0,6	0,10771932	-0,38899171	116,295158	156,161875
0,7	0,09737698	-0,33882368	105,129438	136,021768
0,8	0,09606335	-0,31679529	103,711222	127,178407
0,9	0,09501214	-0,31059876	102,576322	124,690792
1	0,09370582	-0,30752495	101,166005	123,456801
1,05	0,08813859	-0,32524914	95,1555515	130,572228
1,1	0,08510026	-0,32084897	91,8753294	128,805769
1,15	0,08601148	-0,3049494	92,8590989	122,42284
1,2	0,09265193	-0,31452826	100,028217	126,2683
1,25	0,08899748	-0,30710655	96,0828261	123,288835
1,3	0,09024837	-0,30249146	97,4332981	121,436091
1,35	0,09016582	-0,28457117	97,3441734	114,241939
1,4	0,09190748	-0,30032781	99,2244947	120,567487
1,45	0,09190155	-0,28055409	99,2180919	112,629268
1,5	0,09276118	-0,28854227	100,146163	115,836149
1,6	0,0933259	-0,28214464	100,755838	113,267799
1,7	0,09361292	-0,26321989	101,065707	105,670405
1,8	0,09548662	-0,25539881	103,08858	102,530608
1,9	0,09511626	-0,25780222	102,688734	103,495464
2	0,09436459	-0,2571245	101,877223	103,223392
2,1	0,09402048	-0,25644678	101,505716	102,951318
2,2	0,09343013	-0,23878044	100,86837	95,859114
2,3	0,09438317	-0,24493413	101,897278	98,3295302
2,4	0,09861349	-0,27140635	106,464391	108,956883
2,5	0,10284381	-0,29787856	111,031494	119,584231

Taula 1 : Taula de relació de C_x i C_L en %

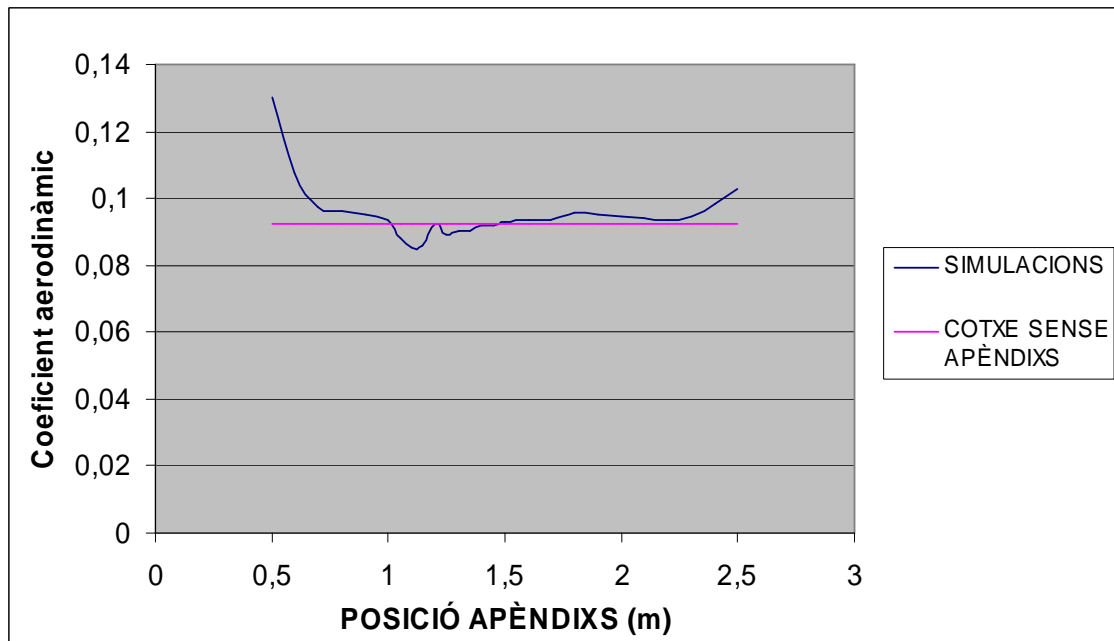


Figura 4: evolució del Cx

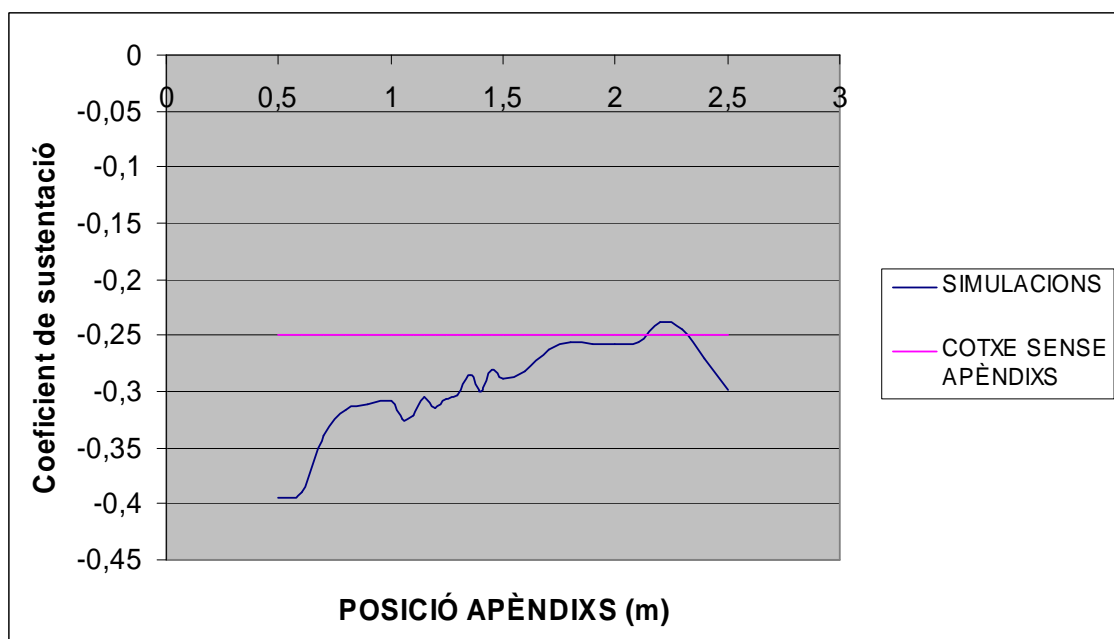


Figura 5: evolució del C_L

Aquests dos gràfics mostren com evolucionen el Cx i el C_L respecte la posició dels apèndixs. Les línies blaves mostren els diferents valors que s'han obtingut en les simulacions, mentre que les roses mostren el valor del cotxe sense cap apèndixs. En el gràfic del coeficient aerodinàmic de la figura 4 es pot veure com la zona entre 1 i 1,5 hi ha una disminució de la resistència respecte al cotxe sense apèndixs, és per això que aquí s'han fet les simulacions cada 5cm, per poder apreciar la zona amb més detall.

Pel que fa al coeficient de sustentació, la zona entre 1 i 1,5 aquest és inferior al cotxe sense apèndixs i a mesura que les s'acosta cap a la cua del cotxe va disminuint, el C_L interessa que tendeixi cap a 0 per disminuir la pressió que el cotxe fa sobre el terra. De totes maneres és un aspecte secundari respecte el C_x . El promig de temps en fer les simulacions ha estat de 18 hores.

Un cop realitzades les proves inicials s'ha agafat les zones a on s'observa una millora respecte al cotxe sense apèndixs i s'han fet les simulacions amb un mallat més fi, de 10mm a la superfície del cotxe i dels apèndixs, les característiques exactes d'aquest mallat s'exposen a l'annex C.

- Taula que mostra els resultats, en funció de la relació del C_x i del C_L , els valors inferiors a 100 milloren la geometria inicial. Taula 2. i a les figures 6 i 7:

DISTÀNCIA RESPECTE LA PART DAVANTERA (m)	C_x	C_L	RELACIÓ C_x %	RELACIÓ C_L %
Cotxe sense apèndixs	0.09142207	-0.23014396	100	100
1	0.09111458	-0.29062539	99.6636557	126.279824
1,05	0.0862378	-0.29705465	94.329293	129.073404
1,1	0.08285697	-0.29283184	90.63125	127.238548
1,15	0.08326247	-0.290243	91.074803	126.11367
1,2	0.08564708	-0.28497463	93.6831479	123.824509
1,25	0.08770996	-0.27817556	95.9395909	120.87024
1,3	0.08767828	-0.27817556	95.9049386	120.87024
1,35	0.08968215	-0.26974881	98.09682	117.208725
1,4	0.08937211	-0.27114624	97.7576967	117.815924
1,45	0.09109306	-0.2680977	99.6401195	116.491301
1,5	0.09111609	-0.26182708	99.6653101	113.766651

Taula 2: Taula de relació de C_x i C_L en %

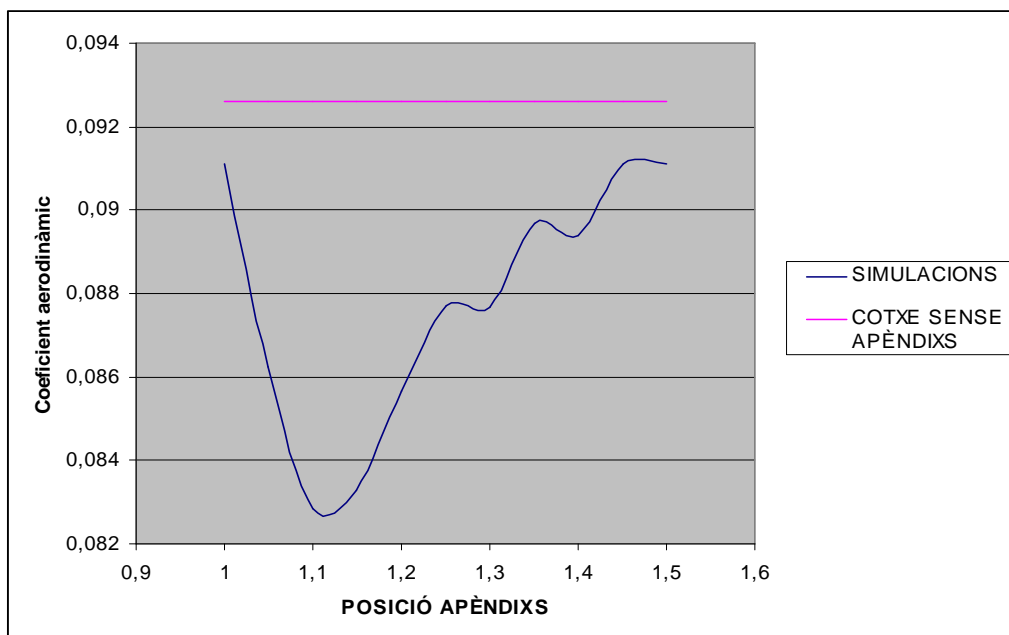


Figura 6: evolució del Cx

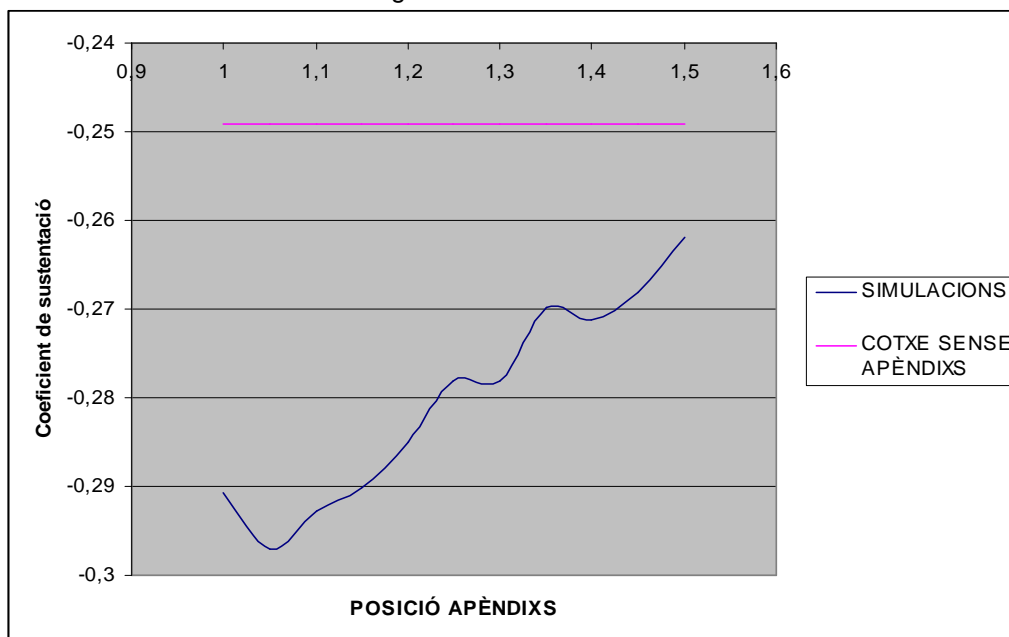


Figura 7: evolució del CL

Després d'obtenir aquests resultats es pot veure com se segueix la mateixa tendència que en els primers resultats amb el mallat de 15mm.

En resum podem veure que a la zona que es troba a 1,1 metres de la punta del cotxe és la que ens dona una major disminució del Cx. En les imatges següents figura 8 i figura 9 es pot veure l'evolució tant del Cx com CL al llarg de les 1500 iteracions. El temps promig de les simulacions ha estat de 30 hores.

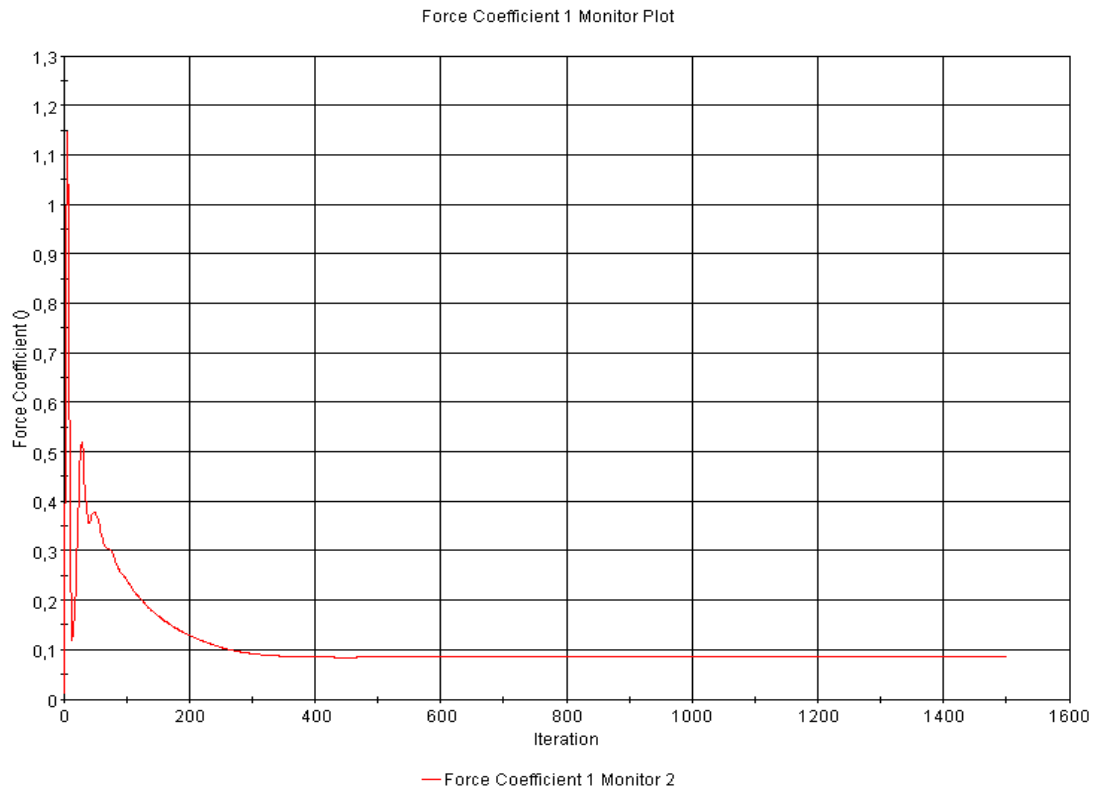


Figura 8: gràfic evolució del C_x en les 1500 iteracions

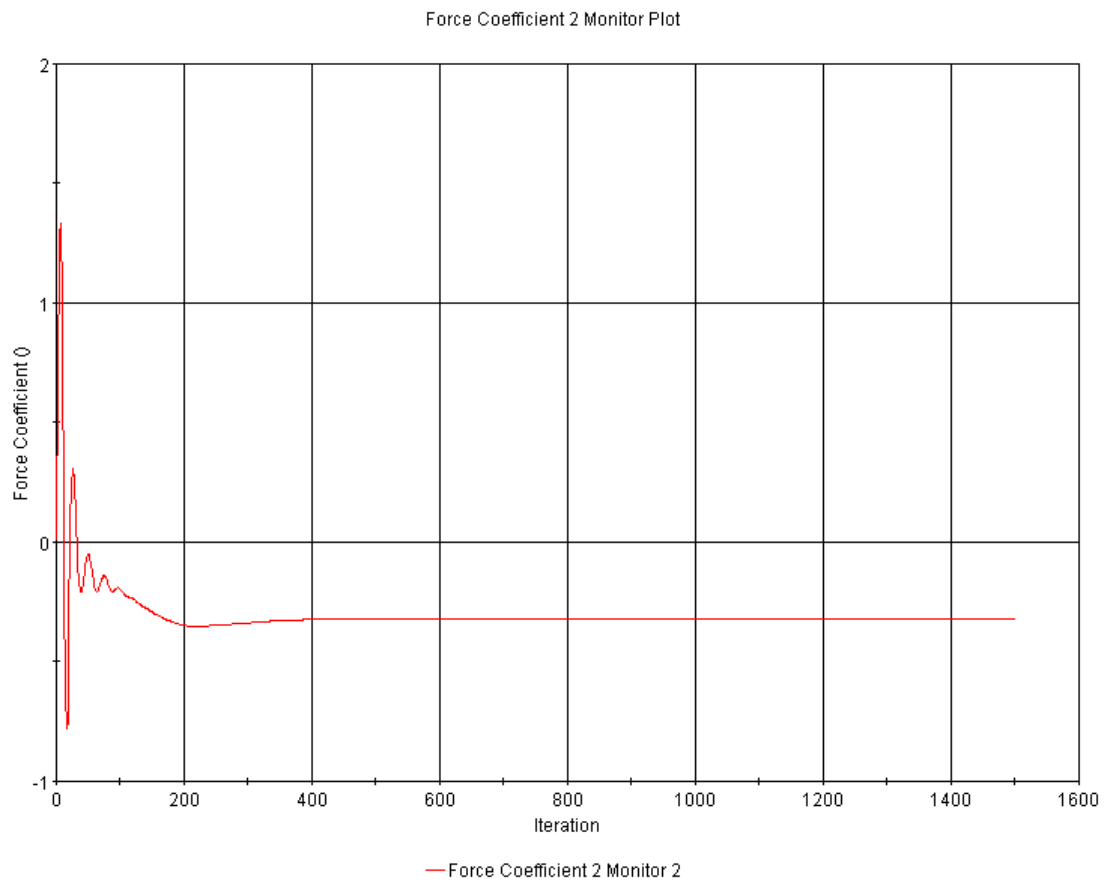


Figura 9: gràfic evolució del C_L en les 1500 iteracions

Aquests gràfics es mostren una vegada, perquè tots els casos són molt semblants i visualment no es pot distingir els valors dels diferents gràfics.

2.3 Altres configuracions dels apèndixs

Un cop trobada la posició òptima dels apèndixs respecte el frontal del cotxe, s'ha estudiat diferents configuracions.

S'han fet les simulacions tant per al mallat de 15mm com pel mallat de 10mm a la superfície del cotxe.

S'han fet proves amb diferents mides dels apèndixs a part de la de partida de 5 x 10cm.

S'han escollit les mides de:

- 3 cm d'alt x 10 cm de llarg
- 4 cm d'alt x 10 cm de llarg
- 6 cm d'alt x 10 cm de llarg

Primer cas:

El cas que ha donat uns millors resultats és el que la mida dels apèndixs es de 4 x 10 cm., com es pot veure a la figura 10. La distància entre els apèndixs i la posició respecte al frontal del cotxe s'han mantingut.



Figura 10: mida del nou apèndix

Els resultats obtinguts en aquesta simulació són:

Mallat de 15mm:

- C_x: 0.08084663749
- C_L: -0.283649236

Mallat de 10mm:

- C_x: 0.08076853305
- C_L: -0.2823856175

Segon cas:

Apèndixs de 6 x 10cm. Els resultats obtinguts en aquesta simulació són:

Mallat de 15mm:

- C_x : 0.085887
- C_L : -0.332245

Mallat de 10mm:

- C_x : 0,08352219
- C_L : -0,30395108

Tercer cas:

Apèndixs de 3 x 10cm. Els resultats obtinguts en aquesta simulació són:

Mallat de 15mm:

- C_x : 0,0830733
- C_L : -0,30445442

Mallat de 10mm:

- C_x : 0.0822285
- C_L : -0.289018

Quart cas

S'ha variat la distància entre els apèndixs, s'han col·locat cada 2,5 cm, i s'han mantingut els altres paràmetres com mostra la figura 11.

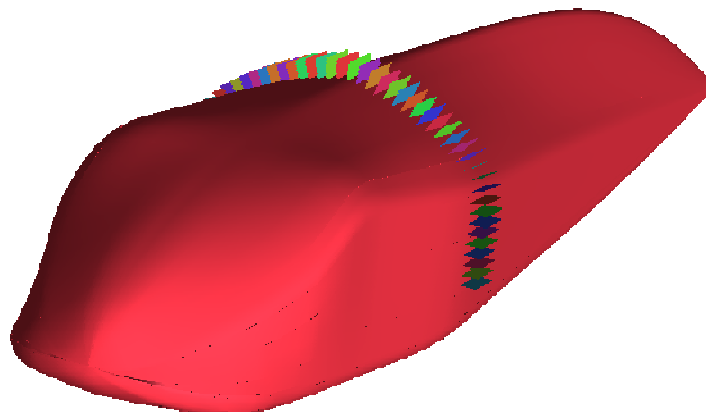


Figura 11: nova configuració dels apèndixs

Els resultats obtinguts en aquesta simulació són:

Mallat de 15mm:

- C_x : 0.0882113874
- C_L : -0.311766088

Mallat de 10mm:

- C_x : 0.08588699996
- C_L : -0,30032781

Cinquè cas

S'ha variat la distància entre els apèndixs, s'han col·locat cada 10 cm, i s'han mantingut els altres paràmetres com mostra la figura 12.

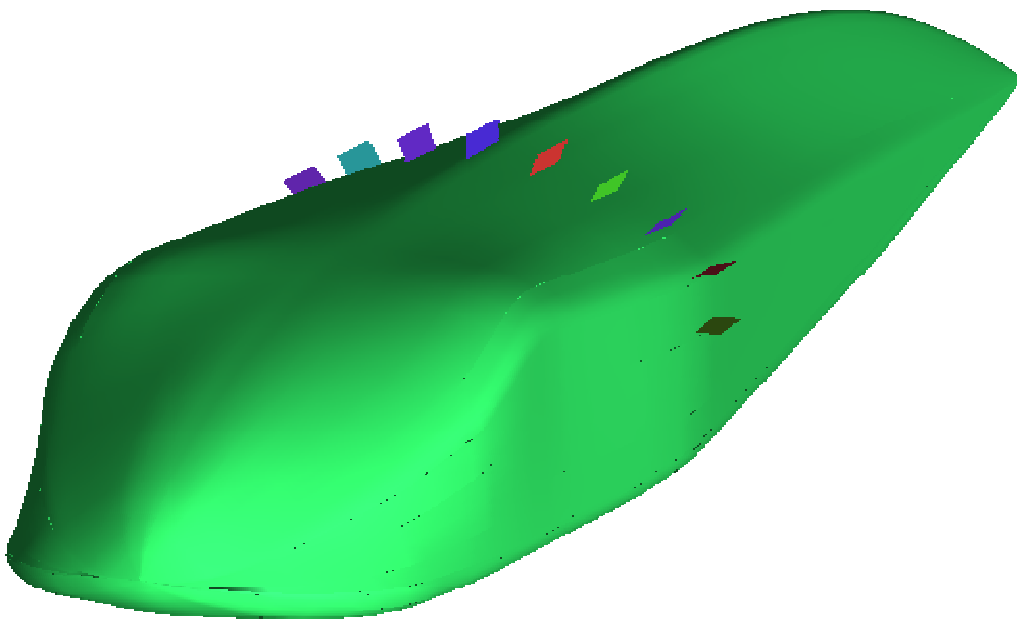


Figura 12: nova configuració dels apèndixs

Els resultats obtinguts en aquesta simulació són:

Mallat de 15mm:

- C_x : 0.08582398295
- C_L : -0.3016943336

Mallat de 10mm:

- C_x : 0.08564707637
- C_L : -0,30032781

2.4 Estudi de la rugositat

Un cop s'ha aconseguit la òptima col·locació dels apèndixs s'ha mirat els efectes de la rugositat sobre 3 tipus de superfícies diferents. Fins ara s'havia considerat que la superfície del cotxe era llisa, ara la superfície tindrà rugositat.

Per aconseguir uns valors reals i precisos dels materials que es volia fer l'estudi es va disposar dels equips del grup d'enginyeria proces i producció "GREPP" i de l'ajuda del senyor Jordi Delgado, per a més informació consultar l'annex C a l'apartat d'estudi de la rugositat. Per fer les mesures es necessiten provetes de 60x60mm de cada un dels 3 materials, es van fer 3 proves amb cada material per tenir un valor més homogeni i es va calcular la mitjana.

1a prova

El primer tipus de material amb que es va realitzar l'assaig va ser fibra de carboni amb un bon acabat, concretament la part de la fibra que al toca el motlle en el moment de fabricar-la és relativament fina.

En la imatge següent es mostra una fotografia del material, la fletxa indica el sentit en que es va fer l'assaig, figura 13.



Figura 13: Fibra carboni fina

El valor de la rugositat que ens va sortir per aquest material és de $10,8\mu\text{m}$. Per aconseguir uns resultats més fiables s'ha fet la simulació amb un mallat de 10mm a la superfície, tal com s'explica amb més detall a l'annex C a l'apartat d'estudi de la rugositat.

Els resultats obtinguts en la simulació són:

Mallat de 10mm:

- C_x : 0.0828569755
- C_L : -0.2928335965

2a prova

El segon tipus de material que es va assejar era fibra de carboni amb un acabat més dolent, és la part que no toca al motlle durant el procés de producció, com es veu a la figura 14.



Figura 14: Fibra carboni rugosa

El valor de la rugositat és de $19,3 \mu\text{m}$

Els resultats obtinguts en la simulació són:

Mallat de 10mm:

- C_x : 0.08286243
- C_L : -0.29283825

3a prova

La tercera tipus de material que es va mirar es tracta de fibra de plàstic, que correspon al material del "vidre" del davant que ocupa gran part de l'àrea frontal del vehicle i també serveix perquè té una rugositat semblant a la que té la superfície del cotxe després de pintar, tal com es pot veure a la figura 15.

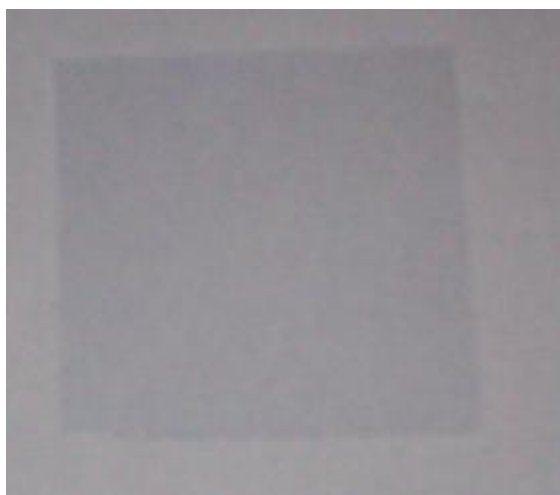


Figura 15: Fibra de plàstic

El valor que ens va sortir és de 0,46µm.

Els resultats obtinguts en la simulació són:

Mallat de 10mm:

- C_x: 0.08286242932
- C_L : -0.2928382456

Taula resum dels resultats, en que es compara els valors obtinguts amb els del cotxe sense rugositat. mostra la relació del C_x i C_L en %, els valors inferiors a 100 milloren la geometria inicial. Taula 3:

	C_x	C_L	RELACIÓ C_x %	RELACIÓ C_L %
Cotxe sense rugositat	0,08285697	-0,29283184	100	100
Fibra de carboni amb bon acabat	0.0828569755	-0.2928335965	100,000009	100,0006
Fibra de carboni amb mal acabat	0.08286242932	-0.2928382456	100,006591	100,002188
Fibra de plàstic	0,08285676	-0,29283455	99,9997482	100,000926

Taula 3: Taula de relació del C_x i C_L en %

El temps promig de les iteracions pel mallat de 15mm a la superfície del cotxe ha estat de 18 hores i pel mallat de 10mm a la superfície del cotxe 30 hores.

2.4.1 Taula resum global

A la taula següent, taula 4, es pretén fer un resum global de totes les simulacions realitzades. Es té en compte només el coeficient Cx.

ESTUDI POSICIÓ APÈNDIXS	Mallat 15mm	Mallat 10mm
Cotxe sense apèndixs	0,0926258	0.09142207
0,5	0,13003817	-
0,6	0,10771932	-
0,7	0,09737698	-
0,8	0,09606335	-
0,9	0,09501214	-
1	0,09370582	0.09111458
1,05	0,08813859	0.0862378
1,1	0,08510026	0.08285697
1,15	0,08601148	0.08326247
1,2	0,09265193	0.08564708
1,25	0,08899748	0.08770996
1,3	0,09024837	0.08767828
1,35	0,09016582	0.08968215
1,4	0,09190748	0.08937211
1,45	0,09190155	0.09109306
1,5	0,09276118	0.09111609
1,6	0,0933259	-
1,7	0,09361292	-
1,8	0,09548662	-
1,9	0,09511626	-
2	0,09436459	-
2,1	0,09402048	-
2,2	0,09343013	-
2,3	0,09438317	-
2,4	0,09861349	-
2,5	0,10284381	-
ESTUDI MIDA APÈNDIXS		
Apèndixs 3x10cm	0,0830733	0.0822285
Apèndixs 4x10cm	0.080846637	0.0807685
Apèndixs 6x10	0.085887	0,08352219
ESTUDI COL·LOCACIÓ APÈNDIXS		
Distància de 2,5cm entre apèndix	0.0882113874	0.08588699996
Distància de 10cm entre apèndix	0.08582398295	0.08564707637
ESTUDI RUGOSITAT		
Fibra de carboni amb bon acabat	-	0.0828569755
Fibra de carboni amb mal acabat	-	0.08286243
Fibra de plàstic	-	0.08286242932

Taula 4: taula resum global

3. RESUM ECONÒMIC

El pressupost total del disseny de la carrosseria del cotxe de baix consum "Àliga", incloses les despeses generals, el benefici industrial, la redacció del projecte i l'IVA, serà de CINC MIL CINC CENTRES VINT-I-U EUROS AMB 6 CÈNTIMS..... **5521,6 €**

4. CONCLUSIONS

Un cop acabades les diferents proves realitzades sobre els apèndixs es pot arribar a les següent conclusions:

- Es pot afirmar que sobre la posició al llarg del cotxe, la zona en que dóna millors resultats és quan els apèndixs es troben a 1,1 metres del frontal del cotxe.
- Dels estudis sobre el nombre d'apèndixs a posar, la configuració 23 apèndixs, amb un apèndix cada 5 cm ha donat els millors resultats.
- L'estudi sobre la mida dels apèndixs ha donat que si utilitzem apèndixs de 4 x 10 cm dóna uns resultats millors que si s'utilitzen apèndixs de major tamany.
- El guany que s'ha obtingut en el Cx és d'11,65 %, mentre que l'augment de pes ha estat d'un 0.59%, per a més informació consultar annex de càlculs. Per tant seria interessant incorporar aquests apèndixs a la geometria del cotxe per augmentar el rendiment.
- Hipòtesis sobre els resultats:
Els resultats que s'han obtingut aquí són experimentals, la idea d'aquests apèndixs no parteix de cap base teòrica sinó de l'experiència, per tant a partir d'aquí es pot formular una hipòtesi del perquè d'aquests resultats.

Es pot veure veure com a la zona que hi ha encerclada a la figura 16 és una zona a on es creen unes turbulències importants i la inserció d'aquests panells podria "llimar" les turbulències que no van en la direcció del cotxe i això podria augmentar la pressió a la part posterior del cotxe.

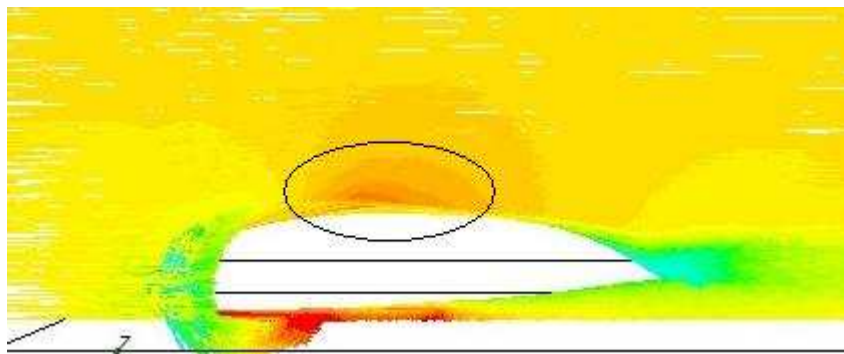


Figura 16 :diagrama de velocitats cotxe sense apèndixs

El perquè no van més endavant és perquè a la zona a on hi ha el punt d'inflexió en el cotxe, zona encerclada figura 17, el flux d'aire va esbiaixat i xoca de manera lateral amb alguns apèndixs fent augmentar la pressió sobre el cotxe, i a mesura que es col·loquem cap a la part posterior els seu efecte es va dil·luïnt perquè la pressió va disminuint.

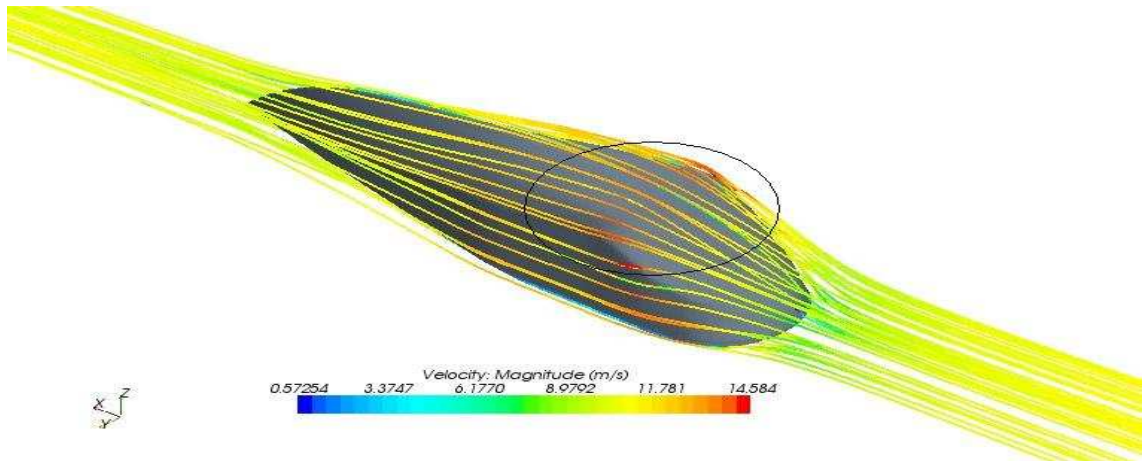


Figura 17: Línies de flux sobre el vehicle

-En canvi el C_L es el contrari, com més endavant estan col·locats els apèndixs menor és, per la pressió que reben aquests, en canvi a la part posterior, per la disminució de la pressió i per les turbulències que es generen, disminueix sobrepasant el valor del cotxe sense apèndix.

- Com a proposta per un futur projecte sobre l'aerodinàmica del vehicle l'Àliga seria interessant la incorporació d'uns apèndixs en forma d'ala d'avió en el lateral del vehicle per intentar optimitzar al màxim el valor del C_L i que s'aproximi al màxim a 0.

Un cop realitzades les diferents proves sobre la rugositat de les diferents superfícies es pot arribar a les següents conclusions:

- La idea inicial d'aquest experiment era per comprovar s'hi havia molta diferència entre utilitzar una superfície llisa, com la del plàstic, que ens serveix per simular la superfície del cotxe un cop pintada, en comparació amb la superfície del cotxe amb la fibra de carboni nua. Per què si no es pinta la superfície ens estalviem el pes de les capes de pintura i vernís sobre el cotxe.

- Com era de preveure la fibra de plàstic és la que ha donat uns valors més baixos de rugositat, seguida de la fibra de carboni amb bon acabat i per últim la fibra de carboni amb mal acabat, la fibra de plàstic ens ha donat una valor del Cx al del cotxe sense rugositat.
- Pel que fa a la diferència entre utilitzar la superfície amb la fibra de carboni amb bon acabat i amb mal, si es tenen el compte els resultats obtinguts amb la petita diferència que hi ha si no es pinta el cotxe i l'important augment de pes que hi ha pintant-lo, es pot arribar a la conclusió que no surt a compte pintar el cotxe.
- Si es comparen els resultats entre la fibra de carboni amb bon i la amb acabat més dolent, la diferència és molt petita, per tant si interessa guanyar temps i/o diners durant el procés de fabricació, és perfectament acceptable utilitzar la superfície amb més mal acabat..

Per últim punt un cop valorats els resultats es pot afirmar que la solució obtinguda satisfà els requeriments que es demana en les especificacions, obtenint una geometria amb bon comportament aerodinàmic i que pot ser fabricat pels membres de l'equip i a les instal·lacions d'un dels patrocinadors.

5. RELACIÓ DE DOCUMENTS

El conjunt de documents que conformen el projecte es descriuen a continuació:

- Document número 1: Memòria i annexes a la memòria
 - Annex A: Nocions Teòriques
 - Annex B: Procés per l'obtenció dels resultats
 - Annex C: Estudi de les geometries
 - Annex D: Càlculs tècnics
 - Annex E: Esquema del prototip
- Document número 2: Pressupost

6. BIBLIOGRAFÍA

Llibres:

- Joseph Katz. Race car aerodynamics. Designing for speed. Bentley Publishers. Any 1995.
- J. Antonio Aguirre Balcells. Una introducción al estudio de perfiles aerodinámicos y sus aplicaciones al consumo de energéticos. Editorial Limusa. Any 1984.
- J. Antoine. Road vehicle aerodynamics. Von Karman Institute for Fluid dynamics. Any 2005.

Material obtingut a la xarxa:

- Shell Eco-Marathon. Rules and Regulation 2007. http://www.shell.com/static/ecomarathon-/downloads/sem_events/nogaro/rules/rules_2007_europe.pdf. 11 de març de 2008.
- Rhinoceros. <http://www.es.rhino3d.com/index.htm>, 03, d'abril de 2008.
- Cd adapco, grup al que pertany Star CD. <http://www.cd-adapco.com/>, 03 d'abril de 2008.
- CATÀLEG MITUTOYO SURFTEST SV-2000. www.unceta.es/mitutoyo/11CatalogoMitutoyo.pdf, 15 de maig de 2008.
- Equip participant a l'Eco-Marathon de l'ETH de Zurich <http://www.paccar.ethz.ch/>
- Procés de fabricació amb materials compòsits amb el sistema de *vacuum bagging*. <http://www.pilotsguide.com/rc/vacbag.shtml>, 10 de juny 2008.
- Paint dry film thickness on car. <http://www.paintcenter.org/rj/nov05q.cfm>, 10 de juny 2008.

Projectes treball fi de carrera:

- Daniel Vilavedra Vilà. Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum "Àliga". Projecte Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. Universitat de Girona .2007
- Joaquim Masegú. Disseny i optimització aerodinàmica de les formes d'un automòbil. Projecte Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. Universitat de Girona. 2.005.

7. GLOSSARI

Aerodinàmica: Branca de la mecànica de fluids que s'ocupa del moviment de l'aire i altres fluids gasosos, i de les forces que actuen sobre els cossos que es mouen en aquests fluids.

Coefficient aerodinàmic (Cx): Mesura l'eficàcia d'una determinada forma davant la resistència que oposa l'aire a l'avanç del mateix. Es tracta d'un coeficient calculat sobre la referència de la resistència d'avanç d'una xapa llisa de metall col·locada perpendicular al vent, que tindria un Cx de 1.

CFD: Sigles que signifiquen "Computational Fluid Dynamics" i representa la disciplina que s'encarrega de l'estudi i desenvolupament de mètodes matemàtics, models físics i eines informàtiques utilitzades per la simulació en ordinadors de problemes de mecànica de fluids.

Coefficient de sustentació (C_L): Coeficient que cada objecte té degut a la seva forma i que representa la força aerodinàmica transversal al moviment i lineal amb la força de gravetat.

Drag: Força que provoca la disminució de velocitat d'un cos en un fluid degut majoritàriament a una disminució de la pressió en la part posterior del mateix respecte la part davantera. Conegut normalment pel nom de "resistència".

Fluid: Són totes aquelles substàncies en estat líquid o gasos, que degut a la seva baixa cohesió molecular no mantenen la seva forma, característica que permet que flueixin i adoptin la forma del recipient que les contés.

Flux laminar: Flux que es dona quan les partícules fluides es desplacen en capes paral·leles.

Flux turbulent: que es dona quan les partícules fluides es desplacen aleatòriament i a diferents velocitats, donant lloc a desestabilitzacions del flux.

Fricció: Terme resistiu que s'oposa al moviment i que apareix sempre quan un fluid flueix a través d'una superfície,

Lift: Terme que consisteix en la força ascensional que provoca l'aire en moviment sobre un cos. També se'l coneix per sustentació.

Malla: Entitats físiques utilitzades per resoldre problemes de simulació format per un conjunt de cel·les i nodes, dels quals els primers estan units pels segons.

Nodes: Punts d'unió dels elements que formen la malla. La disposició i la quantitat d'aquests determinen la densitat de la malla.

Rhinoceros: Programa de dibuix assistit per ordinador en 3D.

Icem Ansys: Programa de pre-procés que s'encarrega de generar la malla de la geometria, és a dir, dividir-la en petits volums per a que posteriorment l'"star CCM+" pugui calcular aquests volums.

Star CCM+: Programa informàtic de simulació de mecànica de fluids.

Sustentació: Força que provoca la elevació d'un cos en un fluid degut a una disminució de la pressió en la part superior del mateix respecte a la part oposada. Es tracta de la component transversal del moviment i lineal amb la força de gravetat. També conegut amb el nom de "lift".

Viscositat: Resistència interna que ofereix un fluid al moviment relatiu de les seves partícules.

AGRAIMENTS

- Agrair l'ajut obtingut per part del tutor: Sr. Marc Gascons i Tarrés, per la realització d'aquest treball de final de carrera.

- Agrair l'ajut obtingut per part del tutor: Sr. Marc Pelegrí Sabater, per la realització d'aquest treball de final de carrera.

- Agrair l'ajut obtingut per part del professor: Dr. Antoni Pujol, per la realització d'aquest treball de final de carrera.

- Agrair l'ajut obtingut per part del grup d'enginyeria proces i producció "GREPP" i de l'ajuda del senyor Jordi Delgado, per la utilització dels seus equips

- Agrair a la UdG i, especialment a la EPS, per cedir els seus ordinadors i aplicacions informàtiques pel desenvolupament d'aquest treball final de carrera

ANNEX A

ANNEX A: NOCIONS TEÒRIQUES

Efecte Venturi:

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \rho \frac{1}{2} \cdot v_2^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

P = pressió [Pa]

ρ = densitat [kg/m³]

v = viscositat [Pa·s]

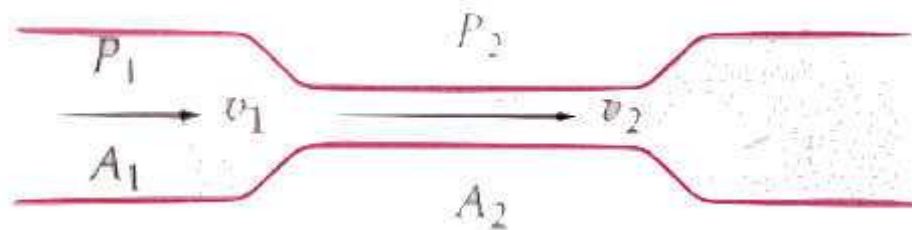


Figura 1: Efecte Venturi

Equació de Bernoulli: l'energia total d'un sistema de fluids amb flux uniforme roman constant al llarg de la trajectòria de flux.

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h = P_2 + \rho \frac{1}{2} \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{Eq. 2})$$

P = pressió [Pa]

ρ = densitat [kg/m³]

v = viscositat [Pa·s]

g = gravetat [m/s²]

h = alçada [m]

· Nombre de Reynolds:

El nombre de Reynolds representa la ràtio entre les forces inercials i les forces de viscositat (fricció), forces creades en l'aire. Es defineix per l'equació Eq. 3

$$Re = \rho \cdot v \cdot \frac{L}{\mu} \quad [\text{adimensional}] \quad (\text{Eq. 3})$$

ρ = densitat [kg/m^3]

v = velocitat característica del problema [m/s]

L = longitud característica del problema [m]

μ = viscositat dinàmica [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]

Si el número de Reynolds és:

$Re < 2000 \quad \Rightarrow$ Règim laminar

$2000 < Re < 4000 \quad \Rightarrow$ Règim transitori

$Re > 4000 \quad \Rightarrow$ Règim Turbulent

· Forces Aerodinàmiques

Totes les forces aerodinàmiques que actuen sobre qualsevol cos és deuen únicament a:

- La distribució de pressions sobre la superfície del cos
- La distribució de tensió de cisallament sobre la superfície del cos

Com es pot veure en la següent figura, Figura 2. Distribució de forces aerodinàmiques, la pressió P actua perpendicular a la superfície, mentre que la tensió és tangencial a la superfície. Com s'explicarà més endavant, aquesta tensió apareix com a conseqüència de la fricció entre el cos i el fluid.

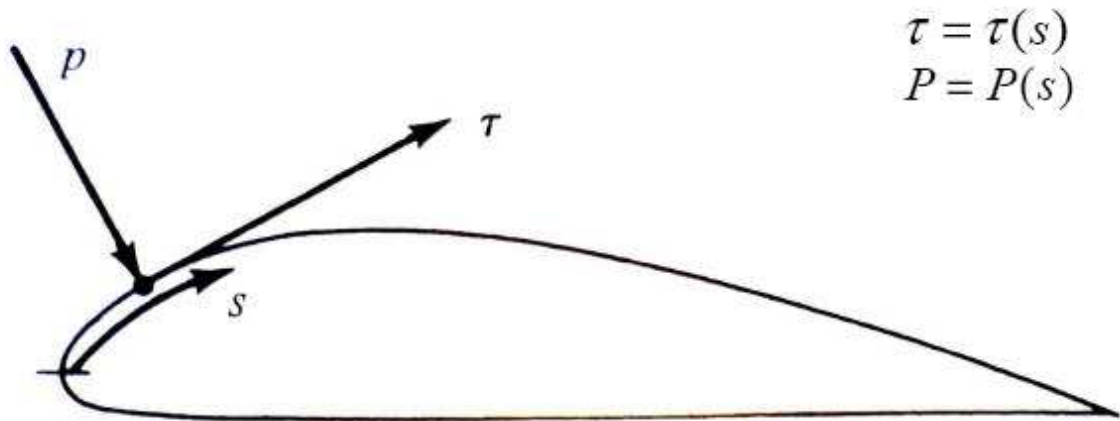


Figura 2: Distribució de forces aerodinàmiques

La distribució de P i τ sobre tota la superfície resulta en una força equivalent R i un moment M . Alhora, aquesta força R és pot descompondre en dos grups de components, tal com s'observa en la Figura 3: components de R .

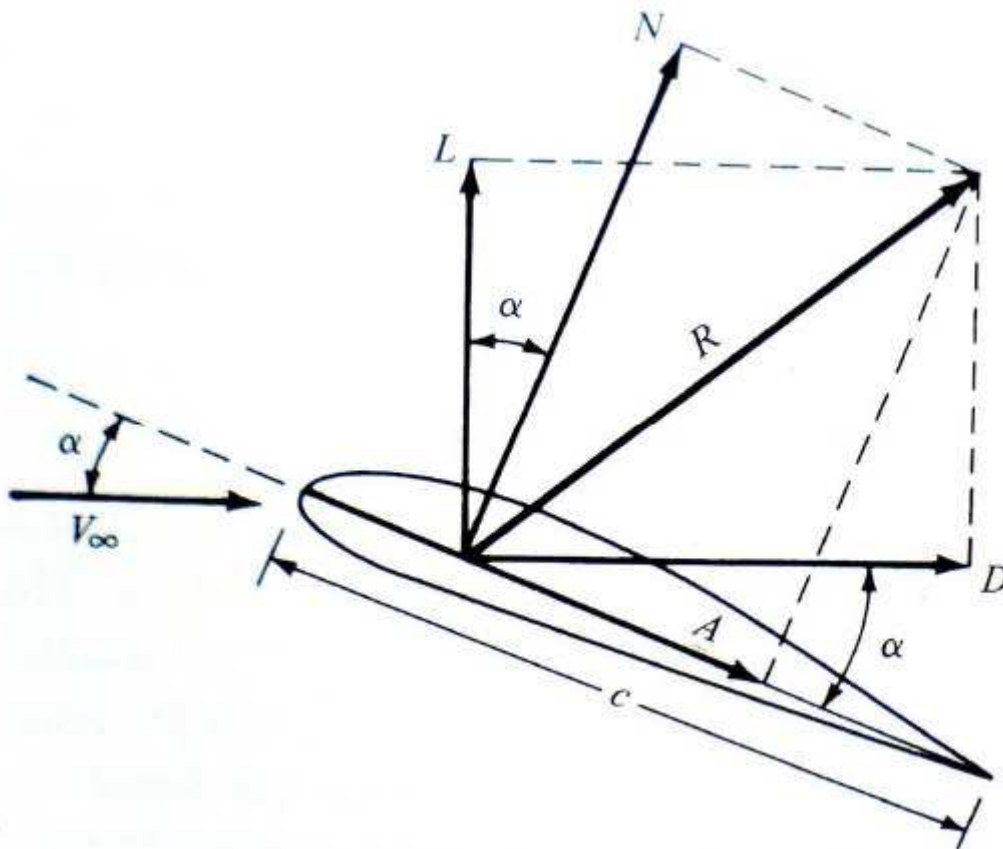


Figura 3: components de R

En la imatge anterior, V^∞ representa el vent relatiu, que es defineix com la velocitat del flux al infinit. Aquest flux s'anomena flux lliure (es caracteritza per ser un flux no pertorbat), i per això V^∞ rep el nom de velocitat del flux lliure.

D'altra banda, c és la corda del perfil, definida com la longitud existent entre el caire d'atac i el caire de sortida. Aleshores, l'angle α es defineix com l'angle entre c i V^∞ rep el nom d'angle d'atac.

En quant a les diferents components de R , per definició:

- $L = Lift$ o sustentació, és la component de R perpendicular a V^∞
- $D = Drag$ o resistència, és la component de R paral·lela a V^∞
- $N = normal$, és la component de R perpendicular a c
- $A = axial$, és la component de R paral·lela a c

Pel present projecte no s'estudiaran els efectes produïts per les components Normal i les components Axial, i es donarà importància al Drag i al Lift, aquest últim amb menor mesura.

· Força del drag

És la força que provoca la disminució de velocitat d'un cos en un fluid degut majoritàriament a una disminució de la pressió en la part posterior del mateix respecte la part davantera. Conegut normalment pel nom de "resistència". Normalment se l'associa a la fricció. defineix per l'equació Eq. 4.

$$Força\ del\ Drag = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot Cx \quad [N] \quad (Eq. 4)$$

ρ = densitat [kg/m³]

v = velocitat característica del problema [m/s]

A = àrea característica del problema [m²]

Cx = coeficient aerodinàmic de resistència a l'avanç [adimensional]

· Força del ift

Força que provoca la elevació d'un cos en un fluid degut a una disminució de la pressió en la part superior del mateix respecte a la part oposada. Es tracta de la component transversal del moviment i colineal amb la força de gravetat. També se'l coneix per sustentació es defineix per l'equació Eq. 5.

$$\text{Força del Lift} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_L \quad [\text{N}] \quad (\text{Eq. 5})$$

ρ = densitat [kg/m^3]

v = velocitat característica del problema [m/s]

A = àrea característica del problema [m^2]

C_L = coeficient de sustentació [adimensional]

· K epsilon Estàndard

El model k epsilon Estàndard és un dels models de turbulència que resolen dues equacions, definides per Eq. 6 i Eq 7. Les dues equacions s'utilitzen per descriure el transport de dos escalars: l'energia cinètica turbulenta (*turbulent kinetic energy, k*) i la seva dissipació (*dissipation, ϵ*).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \cdot \epsilon \cdot u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \cdot \epsilon - Y_M + S_K \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \cdot \epsilon \cdot u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \cdot \frac{\epsilon}{K} + (G_k - C_{3\epsilon} \cdot G_b) - C_{2\epsilon} \cdot \rho \cdot \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (\text{Eq.7})$$

ρ = densitat [kg/m^3]

μ = viscositat [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]

μ_t = Viscositat turbulenta [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]

C_i = Constant

$\sigma_i = \text{Constant}$

$G_k =$ Generació d'energia cinètica turbulenta deguda a la mitjana dels gradients de Velocitat

$G_b =$ Generació del model de turbulència de l'energia cinètica turbulenta deguda a la Flotabilitat

$Y_m =$ Contribució de la dilatació en la turbulència compressible per a tot el rang de dissipació.

Els valors de C_i i σ_i tenen els següents valors per defecte, els quals han estat determinats a partir d'experiments realitzats amb aire i aigua:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44$$

$$C_{2\varepsilon} = 1.92$$

$$C_\mu = 0.09$$

$$\sigma_k = 1$$

$$\sigma_\varepsilon = 1.3$$

Resistències d'un vehicle: les resistències que es poden produir en un vehicle són varies. Tot seguit són citades i explicades

$$R = R_t + R_r + R_p + R_i + R_a \quad (\text{Eq. 8})$$

$R =$ resistència total d'un vehicle [N]

$R_t =$ resistència deguda a la transmissió (correspon a un 15% del total) [N]

$R_r =$ resistència degut a la rodadura [N]

$R_p =$ resistència degut a la pendent [N]

$R_i =$ resistència degut a la inèrcia (si $v = \text{cte}$, $R_i = 0$) [N]

$R_a =$ resistència aerodinàmica [N]

A velocitats elevades es pot considerar:

$$0.85 \cdot R = R_t + R_a \quad (\text{Eq. 9})$$

R = resistència total d'un vehicle [N]

R_t = resistència deguda a la transmissió (valor petit) [N]

R_a = resistència aerodinàmica (valor gran) [N]

$$R_r = P_t \cdot m_r \quad [\text{N}] \quad (\text{Eq. 10})$$

R_r = resistència degut a la rodadura [N]

P_t = pes total del vehicle [N]

m_r = coeficient de resistència al rodament

$$m_r = a / R \quad (\text{Eq. 11})$$

a = semilongitud de la petjada del pneumàtic [m]

R = radi de la roda [m]

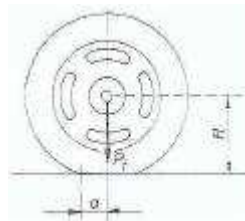


Figura 4 Paràmetres a i R d'una roda

$$R_p = P_t \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}] \quad (\text{Eq. F.12})$$

R_p = resistència degut a la pendent [N]

P_t = pes total del vehicle [N]

α = angle de pendent del terreny

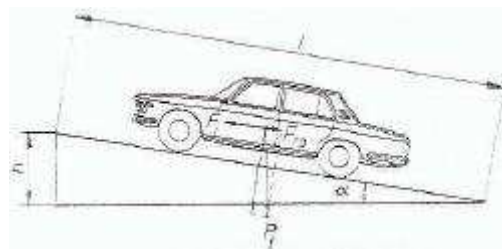


Figura 5 Detall de la resistència degut a la pendent

ANNEX B

ANNEX B: PROCÉS PER L'OBTENCIÓ DELS RESULTATS

B.1 PROCÉS DE CREACIÓ DELS APÈNDIXS

Per la creació de la geometria s'ha utilitzat el programa "Rhinceros", es un programa de dibuix en 3D, l'avantatge d'aquest programa respecte d'altres és que ens permet treballar amb superfícies, elements que no tenen volum, fet que estalvia molta feina en el moment de mallar.

Per crear la geometria es parteix de la geometria creada en el projecte "Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum "Àliga"". - Daniel Vilavedra Vilà. Projecte Fi de Carrera. Enginyeria Industrial. Universitat de Girona .2007. Es mostra a la figura 1. Cal dir que es crearan els apèndixs en una meitat del cotxe i després per simetria l'altre meitat.

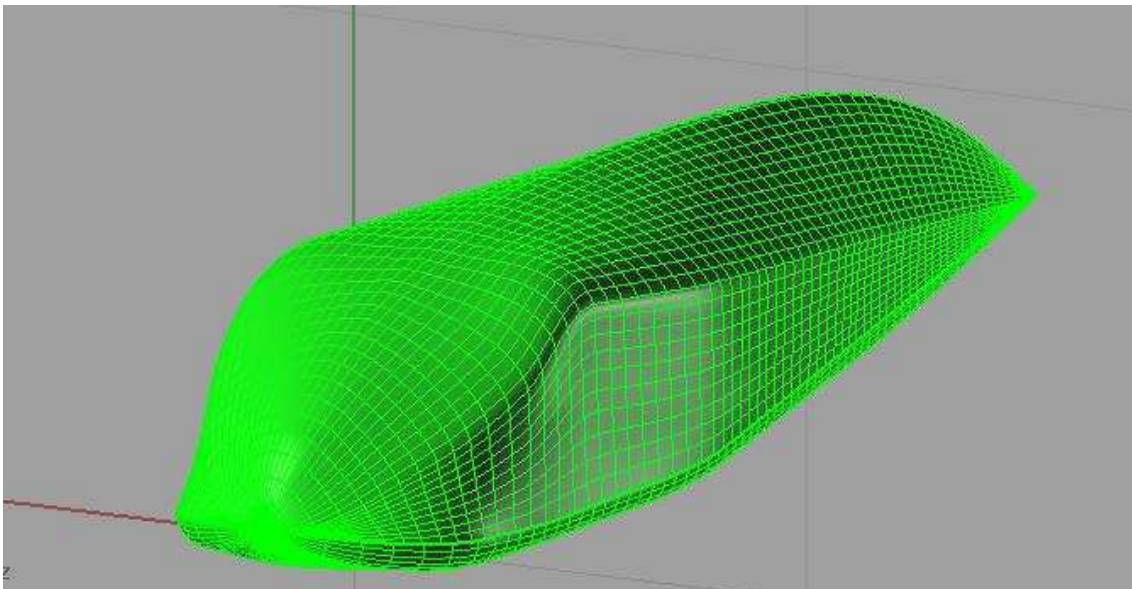


Figura 1: Geometria inicial

A continuació es crea un apèndix i es col·loca a la cresta del cotxe a la distància que volem com es mostra en la figura 2.

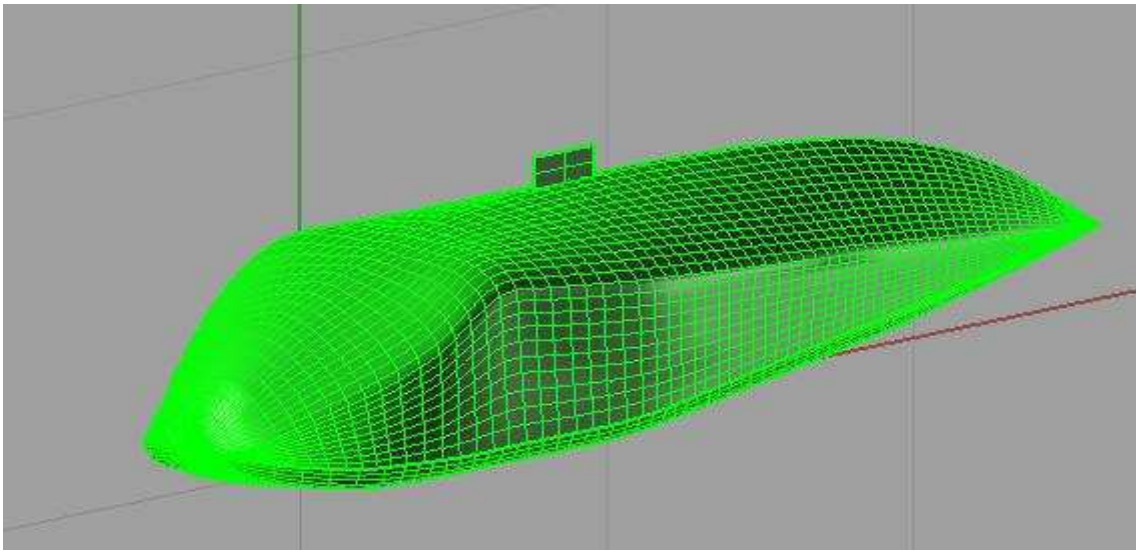


Figura 2: Col·locació del primer apèndix

Un cop l'apèndix està s'ha de marcar la posició de la resta d'apèndix, es crea una línia o interpolació que segueixi la superfície del cotxe, amb el Rhinoceros es fa amb la opció *InterpCrvEnSup*. S'ha de fer dues vegades perquè per la curvatura variant de la superfície ens faria una línia massa esbiaixada. Figura 3.

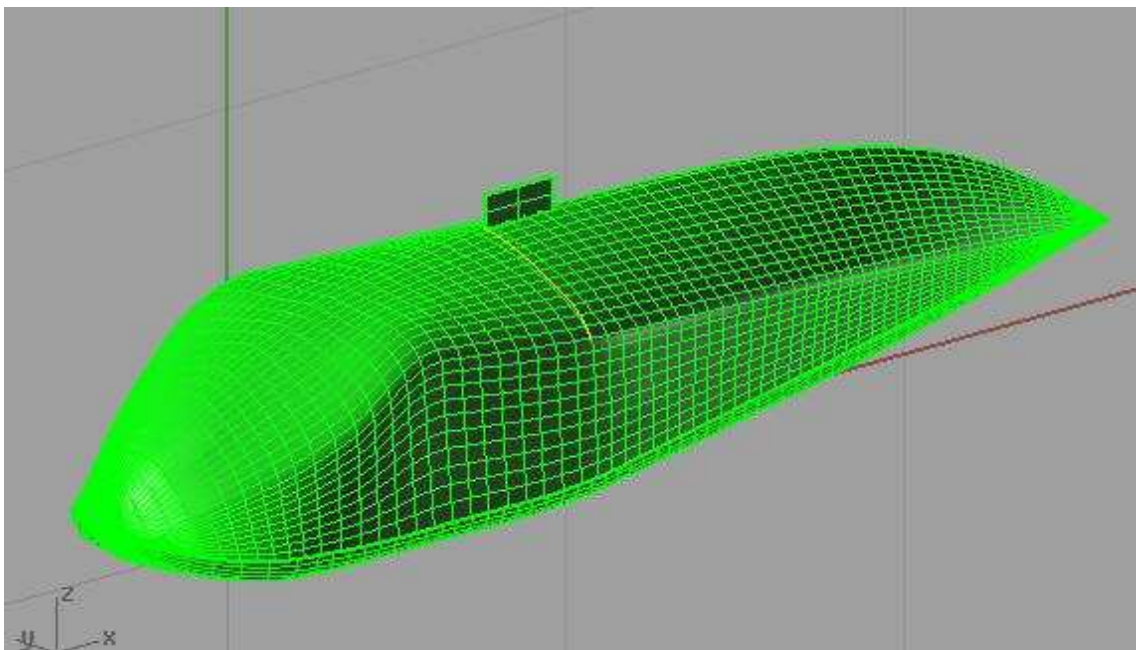


Figura 3: 1a interpolació a la superfície

A continuació es pot fer la segona interpolació per acabar de completar la línia com es mostra a la figura 4.

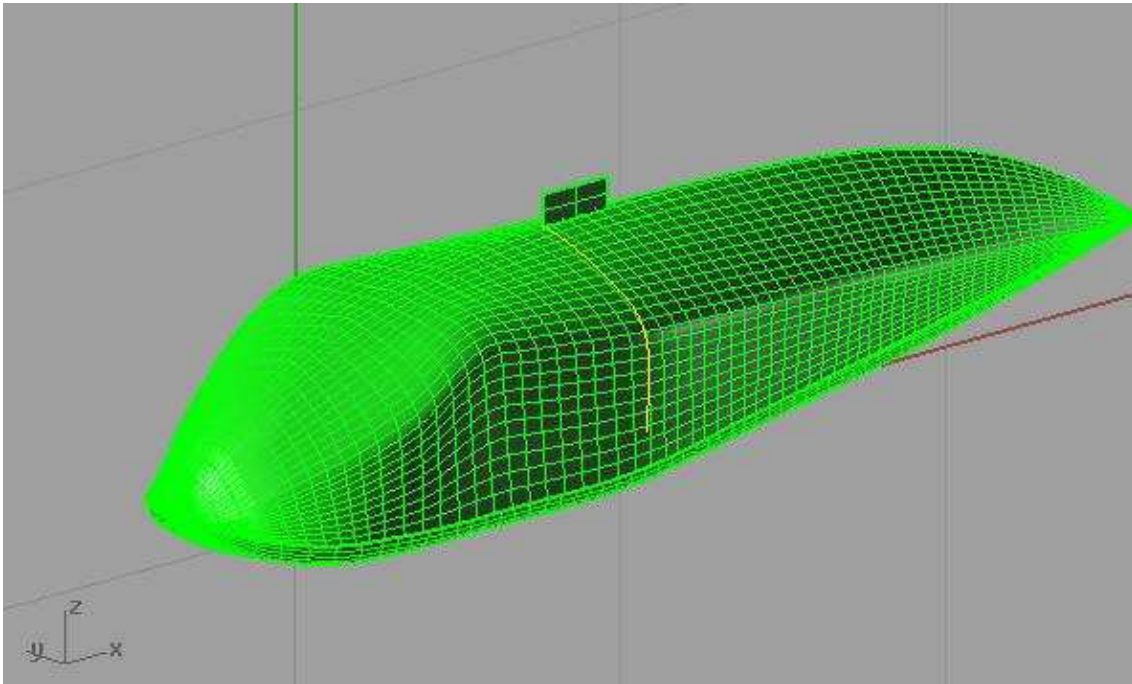


Figura 4: segona interpolació a la superfície

Per aconseguir col·locar els apèndixs al llarg de la línia creada i a la distància que desitgem s'ha de crear una matriu. Amb el Rhinoceros ho fem amb l'opció *MatrizCrv*.
Figura 5.

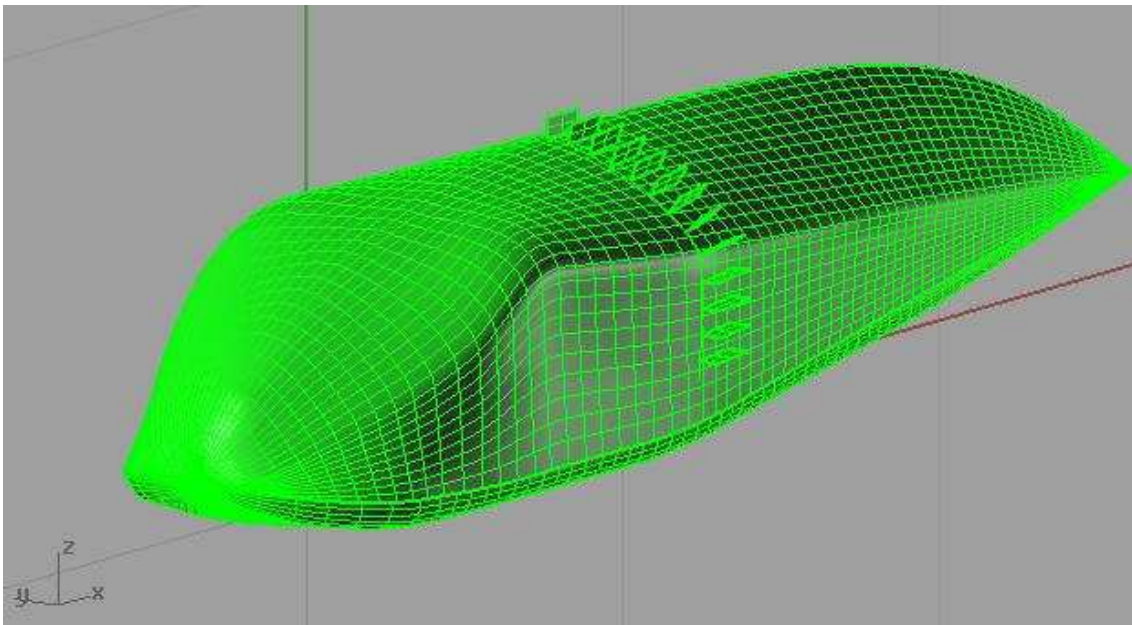


Figura 5: Col·locació apèndixs

El programa fica els apèndixs de manera que l'aresta inferior estigui en contacte amb la superfície del cotxe. Llavors cal posar-los manualment paral·lels a l'eix de les x, com es mostra a la figura 6.

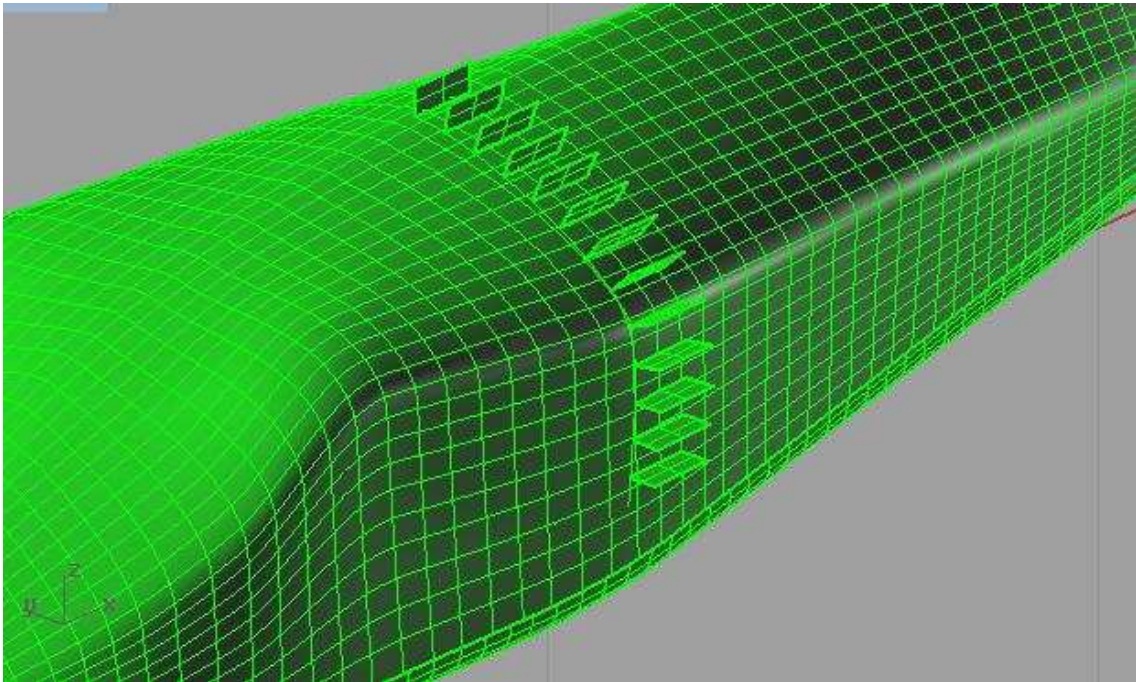


Figura 6: apèndixs alineats

Un cop alineats els apèndixs succeix que algunes arestes no toquen a la superfície del cotxe, això podria provocar un problema en el moment de mallar perquè crearia elements que sobresurtirien de la carrosseria. Figura 7

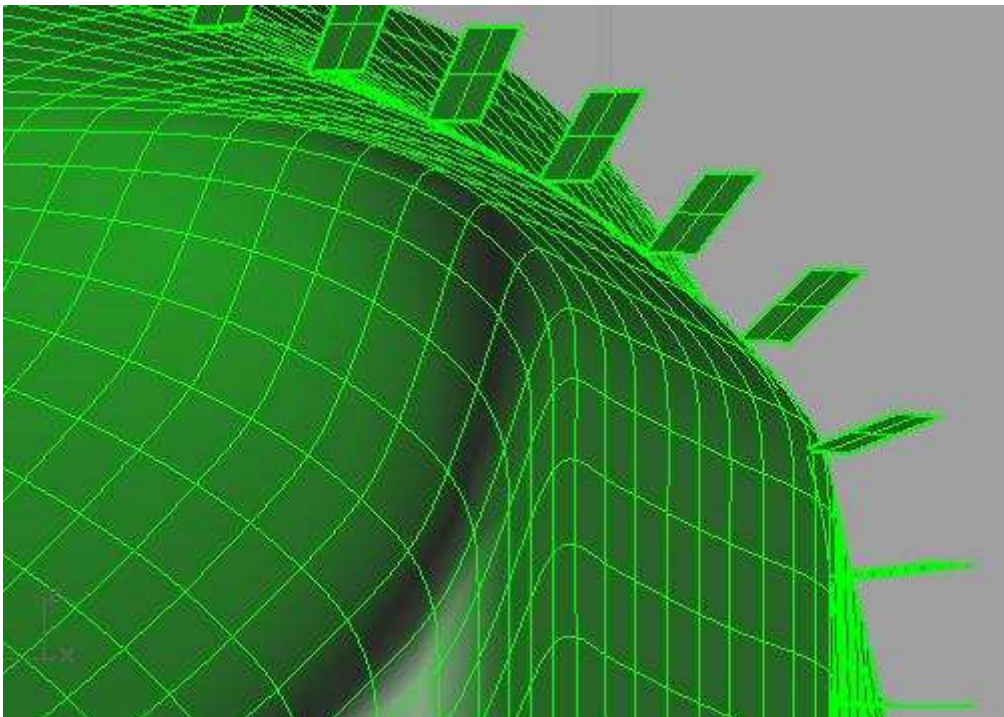


Figura 7: apèndixs que sobresurten

Per evitar aquest problema s'han d'enfonsar els apèndixs de manera que les arestes inferiors toquin amb la superfície. Figura 8.

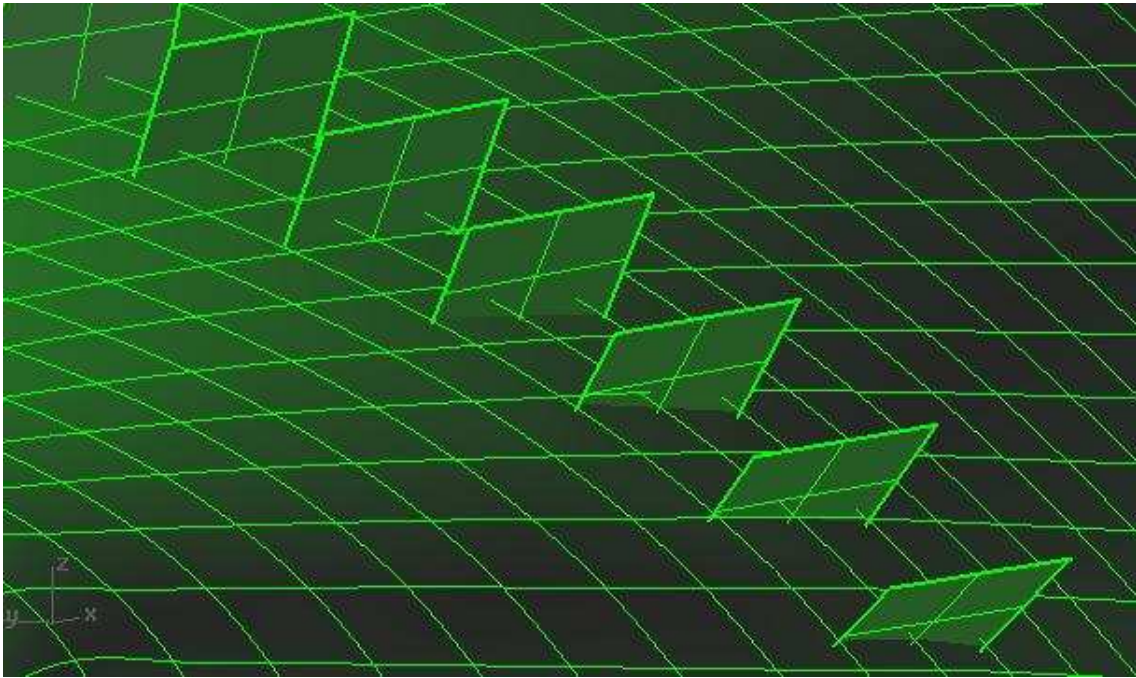


Figura 8: apèndixs enfonsats

Un cop fet això només falta fer la simetria dels apèndixs com es mostra a la figura 9 i ja es podrà exportar.

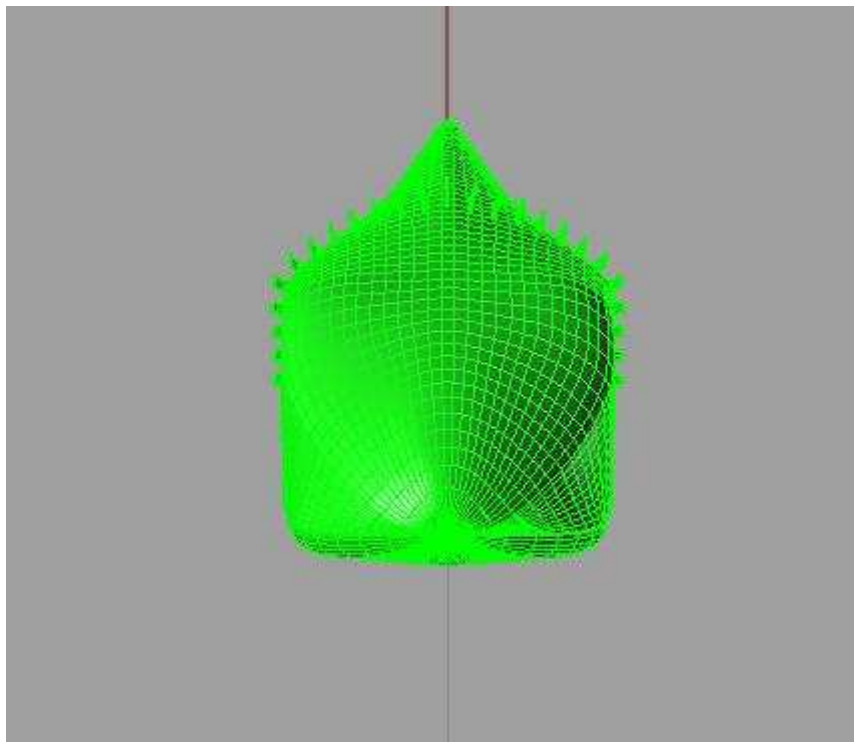


Figura 9: dibuix final

Per exportar es pot guardar amb un fitxer tipus ACIS(.sat).

B.2 GENERACIÓ DE LA MALLA AMB "ICEM ANSYS".

L'"ICEM ANSYS" és un programa generador de malles de geometries, ja siguin bidimensionals i tridimensionals, que ens permet exportar posteriorment aquesta geometria a l'Star CCM+.

Aquest el que fa és dividir la geometria d'estudi en parts molt petites, de diferents dimensions segons els requeriments de l'usuari. Un cop obtingudes aquestes parts, programes de simulació com l'Star CCM+ s'encarreguen de fer el càlcul dels paràmetres requerits a totes les parts per aconseguir-ne el resultat final.

En aquest annex s'intentarà explicar quin ha estat el procediment seguit per fer la malla de les geometries. En cap cas es té la intenció de que sigui un manual d'ús del programa, sinó que es centrarà amb les principals comandes utilitzades.

Per realitzar aquest procés s'ha utilitzat principalment la versió 11 del programa.

S'ha de tenir en compte que el número de geometries creades són moltes, pel que s'explicarà a partir de la geometria principal definitiva.

Els passos a seguir per generar la malla són els següents:

S'importa el model creat prèviament amb el programa Rhinoceros. Pel procés de mallat s'ha considerat que els apèndixs eren superfícies sense volum. Figura 10: model importat.

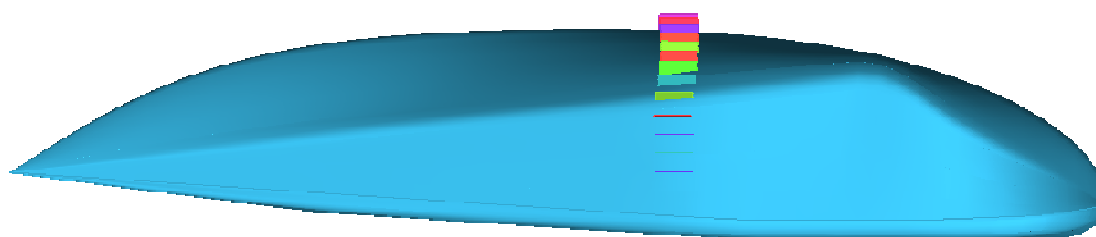


Figura 10: model importat

Un cop importat el model s'ha de crear el túnel de vent. El procés de creació d'un túnel de vent es complica, no ha de ser ni massa petit, perquè podria tallar algunes línies de flux importants, ni massa gran perquè faria augmentar molt el temps de càlcul. Per això en aquest projecte s'utilitza el mateix túnel de vent que en el projecte "Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum "Àliga"". Daniel Vilavedra Vilà. Projecte fi de carrera. Enginyeria Industrial. 2007. En el qual es van dedicar a optimitzar el túnel de vent per aquesta geometria.

Per crear els túnels de vent virtuals, el primer que s'ha de fer és crear els punts que conformen el vèrtex del túnel. Figura 11. Diàleg de generació de punts.

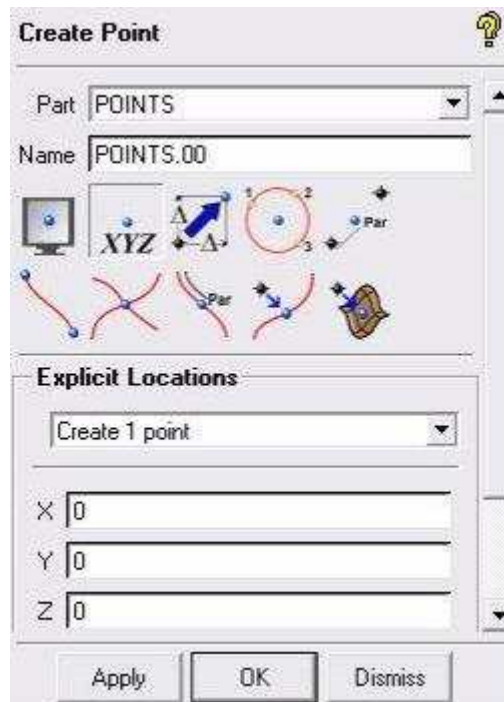


Figura 11. diàleg de generació de punts

Punts del túnel interior:

Punt 1 = (-0.85, -1, -0.05)

Punt 2 = (-0.85, 1, -0.05)

Punt 3 = (-0.85, -1, 1.15)

Punt 4 = (-0.85, 1, 1.15)

Punt 5 = (5.8, -1, -0.05)

Punt 6 = (5.8, 1, -0.05)

Punt 7 = (5.8, -1, 1.15)

Punt 8 = (5.8, 1, 1.15)

Punts del túnel exterior:

Punt 9 = (-7.25, -2.5, -0.05)

Punt 10 = (-7.25, 2.5, -0.05)

Punt 11 = (-7.25, -2.5, 3.95)

Punt 12 = (-7.25, 2.5, 3.95)

Punt 13 = (18.5, -2.5, -0.05)

Punt 14 = (18.5, 2.5, -0.05)

Punt 15 = (18.5, -2.5, 3.95)

Punt 16 = (18.5, 2.5, 3.95)

S'ha de tenir en compte que els punts estan en funció de les coordenades en les que s'ha importat el model. El programa per defecte agafa (0,0,0).

Un cop introduïts els punts, queda tal i com es mostra a la figura 12: punts dels túnels:

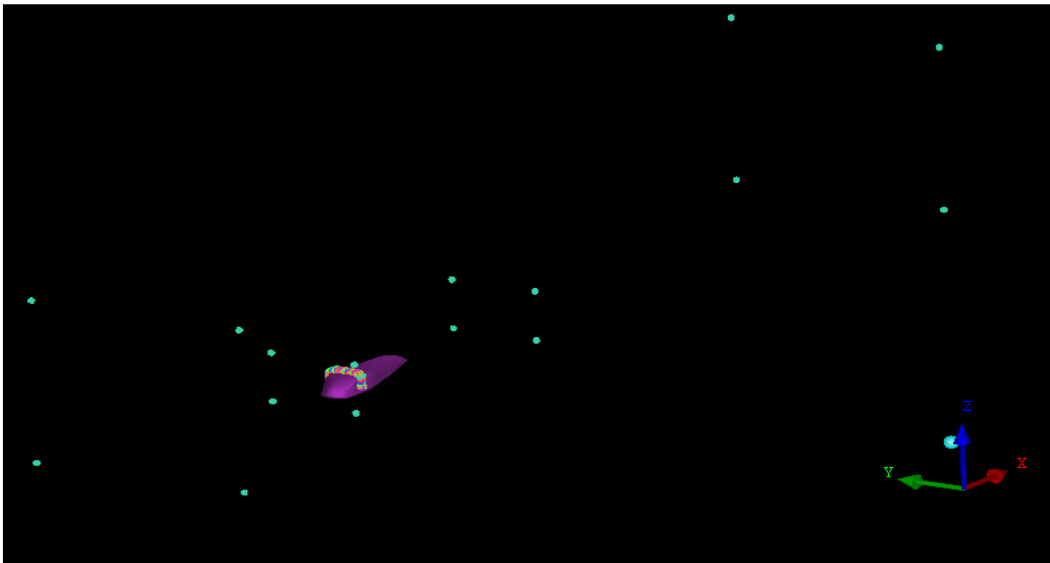


Figura 12: punts dels túnels

El següent pas serà generar les arestes que delimiten els túnels, amb la opció que permet generar els punts a partir de coordenades. S'obre un diàleg on demana el nom del conjunt de línies que es generaran, l'anomenarem:

- Túnel: Pel túnel exterior

A continuació, s'ha de seleccionar els punts que limiten el túnel exterior, quedant tal com es mostra a continuació, a la figura 13: arestes dels túnels.

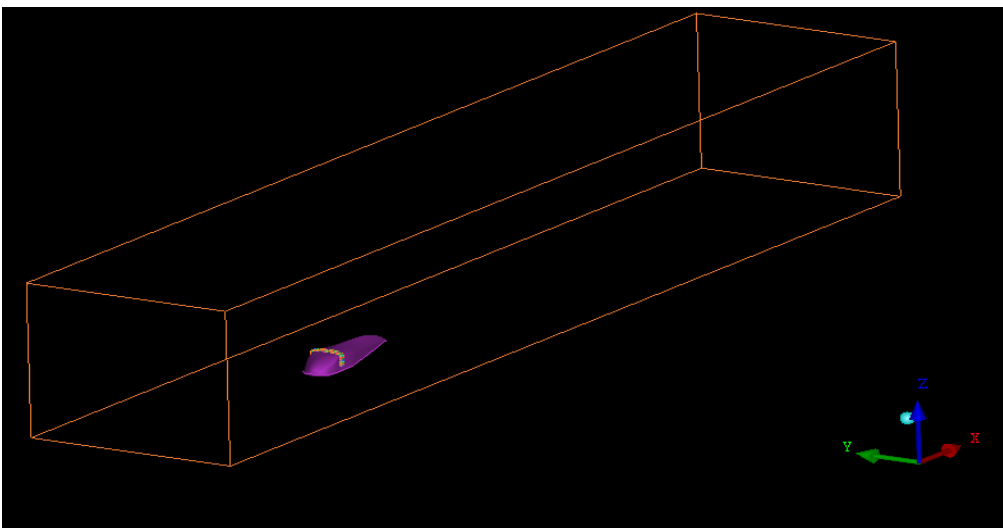


Figura 13: arestes dels túnels

A continuació es generaran les superfícies que componen els túnels.

Per generar les superfícies, utilitzem la opció que ens permet crear superfícies simples a partir d'arestes.

S'obre un obre un diàleg on demana el nom de la superfície a generar, les anomenarem:

- **Túnel/Inlet** : a l'entrada del túnel de vent
- **Túnel/Outlet** : a la sortida del túnel de vent
- **Túnel/Parets**
- **Túnel/Terra**

A mesura que es van anomenant es seleccionen les arestes que delimiten a aquesta. Quedant una geometria com la que es mostra a la figura 14: superfícies del túnel:

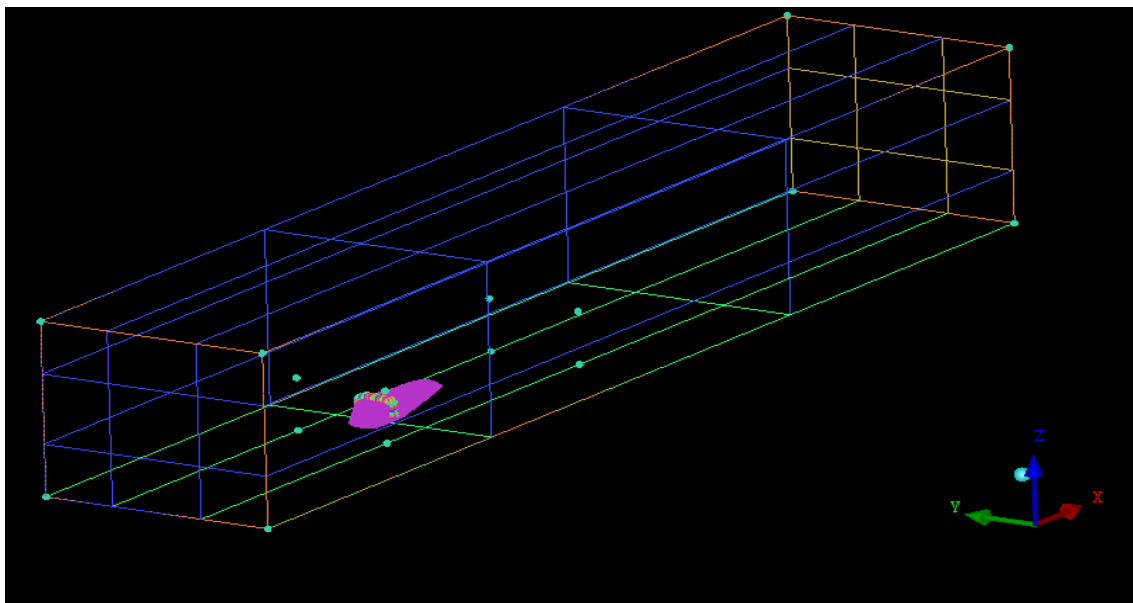


Figura 14: superfícies del túnel

Finalment, per acabar l'execució de les geometries falta generar el cos interior del túnel. Es fa amb l'opció de crear un cos, la que ens permet crear-lo a partir de 2 vèrtexs.

S'obre un diàleg on demana el nom dels cossos a generar.

– BODYTUNEL:

Els vèrtexs que cal assenyalar es mostren en color groc a la figura 15: vèrtexs per generar els cossos.

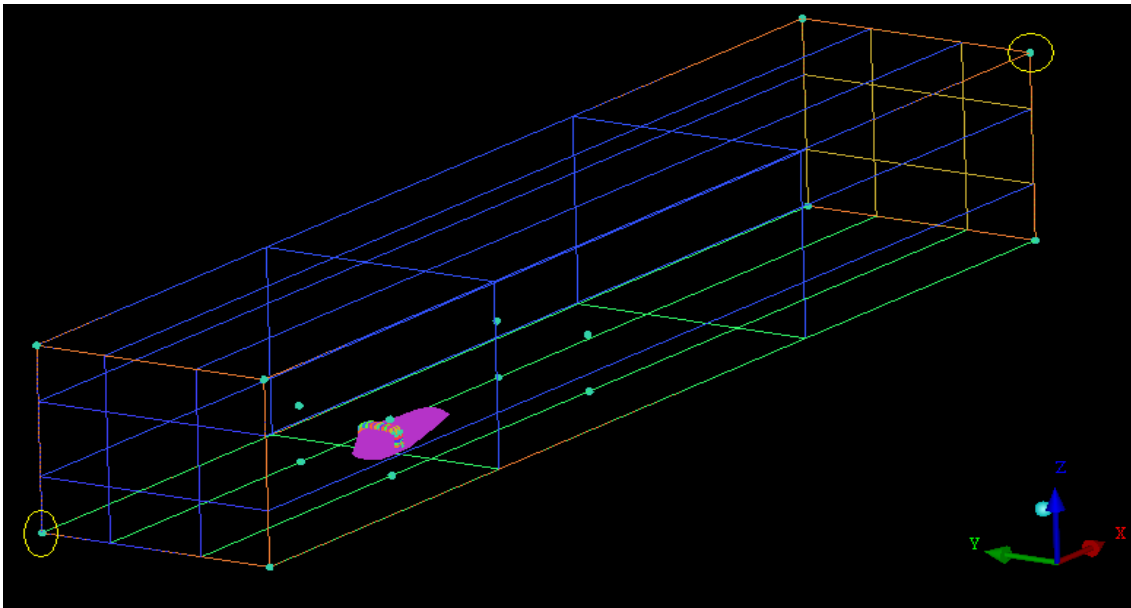


Figura 15: Vèrtexs per generar els cossos

Apareix una creu amb el nom del cos, com a la figura 16: cossos del túnel.

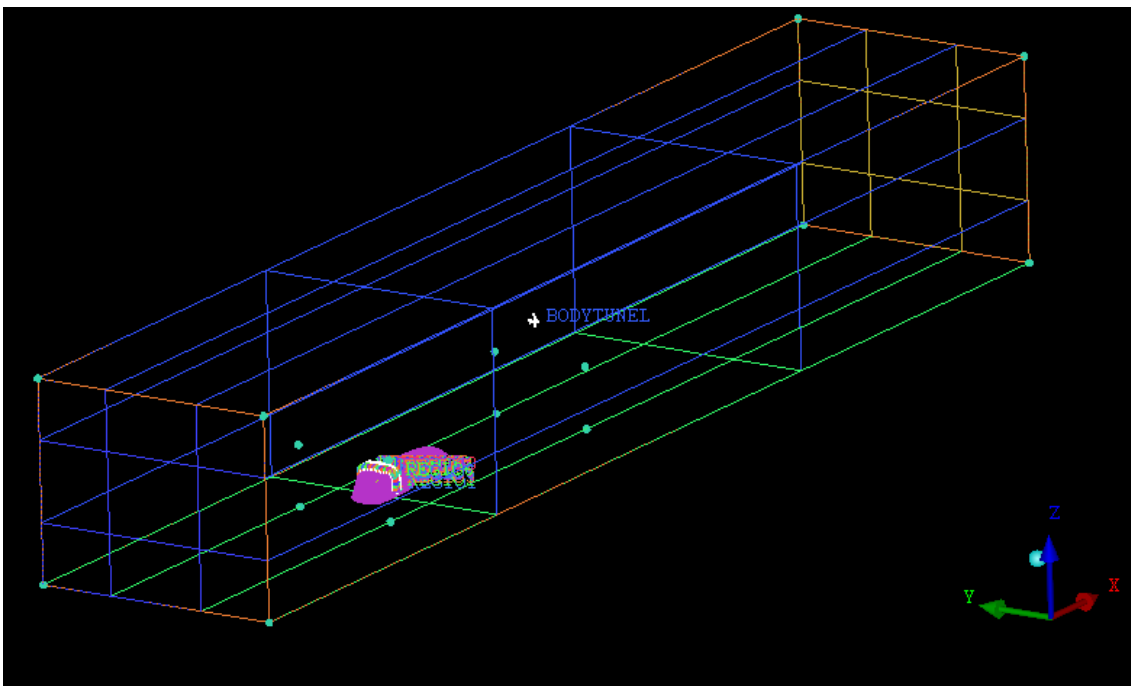


Figura 16: cossos del túnel

Un cop fet aquest procés s'han d'agafar els apèndixs i fer que el vertex de l'apèndix coincideixi amb la superfície del cotxe i eliminar les parts que queden per sota la superfície, això cal fer-ho perquè sinó poden sortir problemes durant el mallat.

Aquesta procediment es pot fer amb la opció de crear una línia per intersecció de dues superfícies, seleccionant tots els apèndixs i llavors seleccionar la superfície que serà el cos que delimitarà, apareixeran unes línies ens que tallen els apèndixs com es mostra a la figura 17.

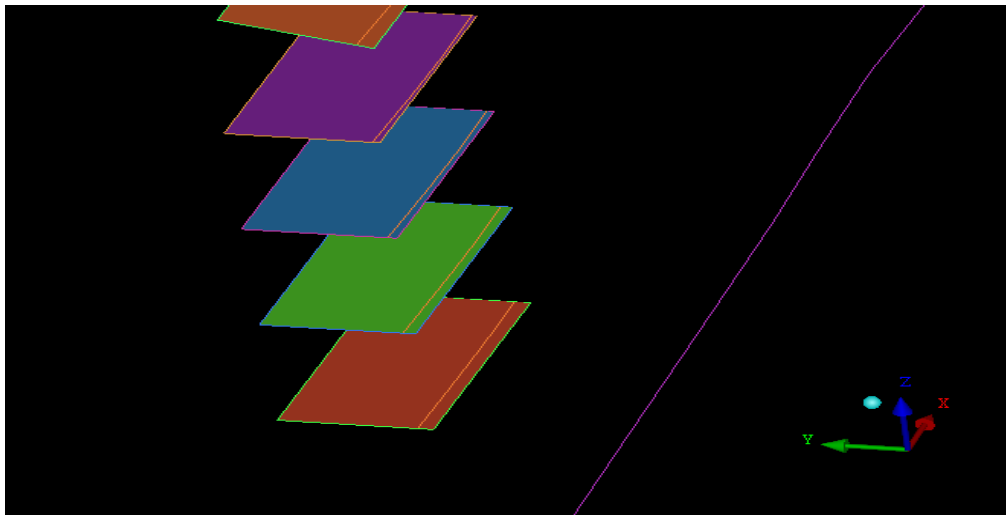


Figura 17: Línies d'intersecció en els apèndixs

És important que aquestes línies comencin i acabin en els costats petits, perquè sinó vol dir que l'apèndixs i la superfície del cotxe no toqui i el mallat podria no sortir bé.

Després s'ha de separar les superfícies dels apèndixs en 2 a partir de la línia creada amb la opció de segmentar. Tot seguit el que s'ha de fer és eliminar la superfície petita. Figura 18.

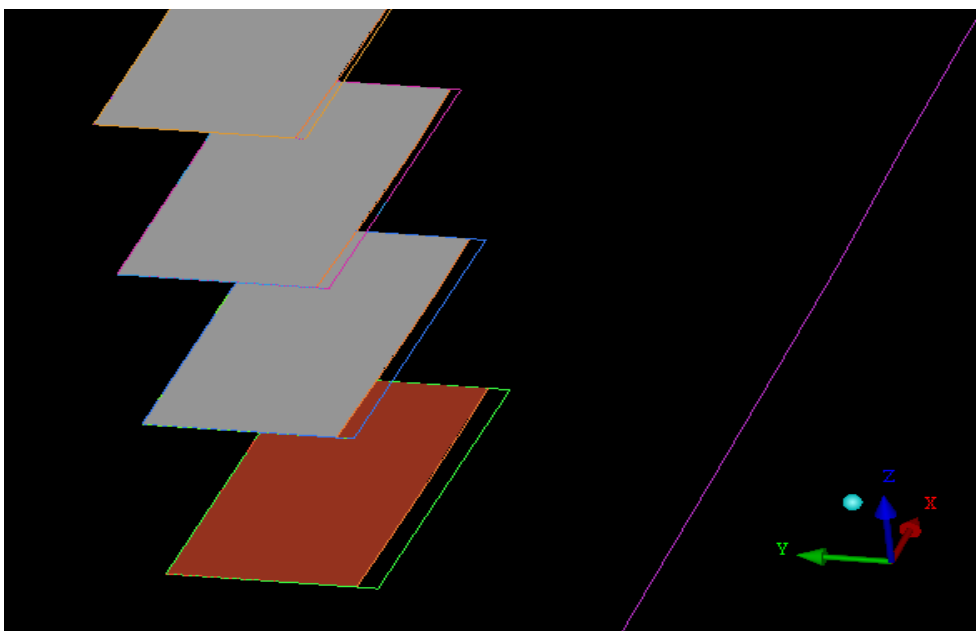


Figura 18: eliminar superfícies

A continuació s'eliminem les línies. Figura 19.

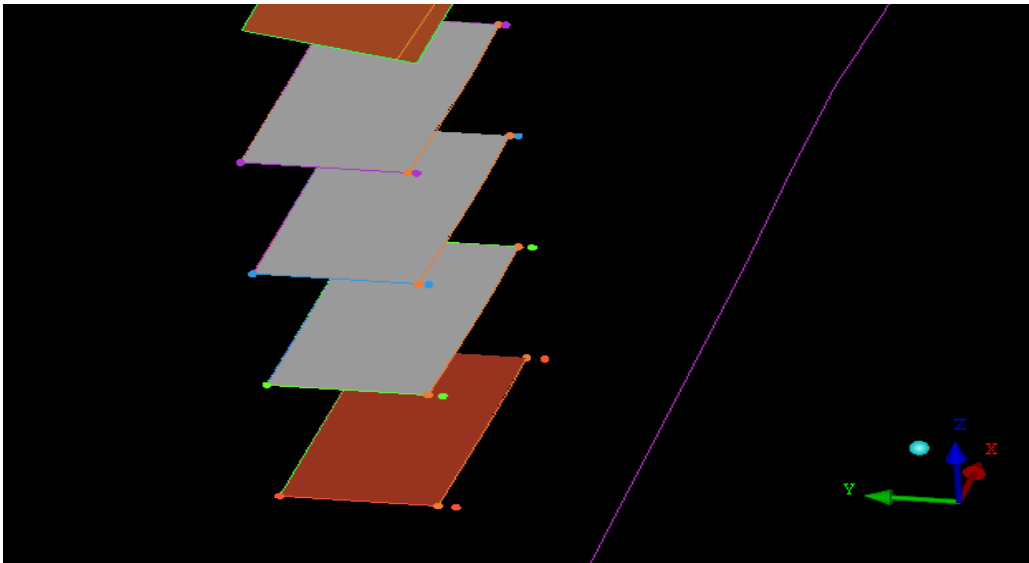


Figura 19: eliminar línies

I per últim els punts sobrants. Figura 20.

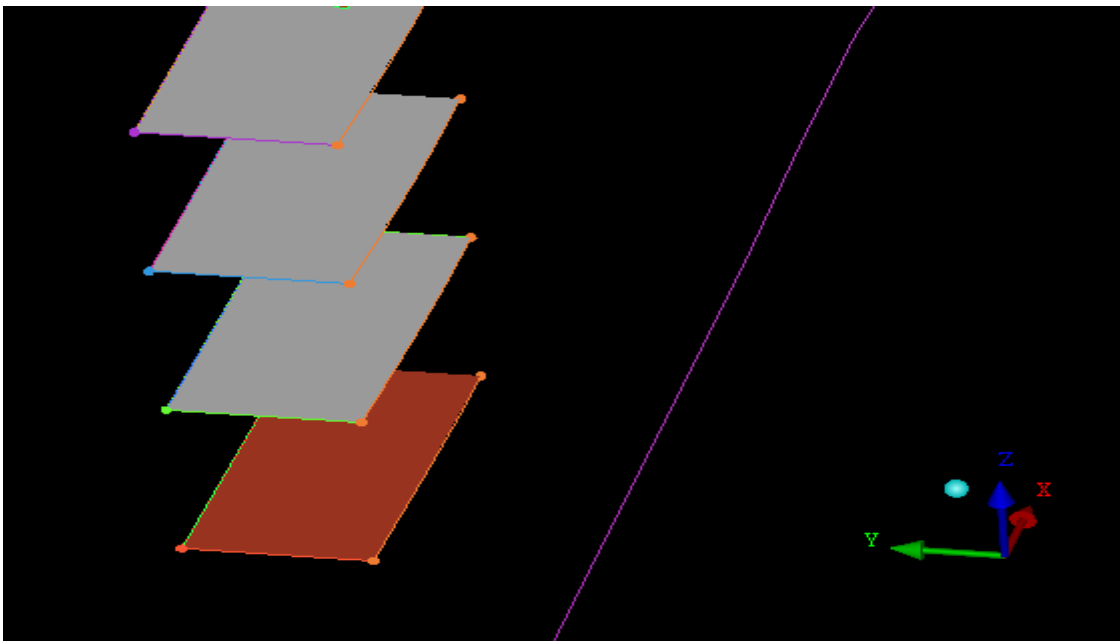


Figura 20: Eliminar punts

Amb les moltes proves que s'han realitzat s'ha pogut comprovar que si després de fer aquesta operació es mallava i s'intentava exportar a l'"Star ccm+" aquest no llegia tots els apèndixs i els ficava a on volia. Per aixó es va decidir utilitzar una estratègia que consistia en crear cossos entre els apèndixs.

Aquest sistema es realitza de la següent manera.

En primer lloc s'ha de crear una línia que uneixi els vèrtexs dels apèndixs. Figura 21

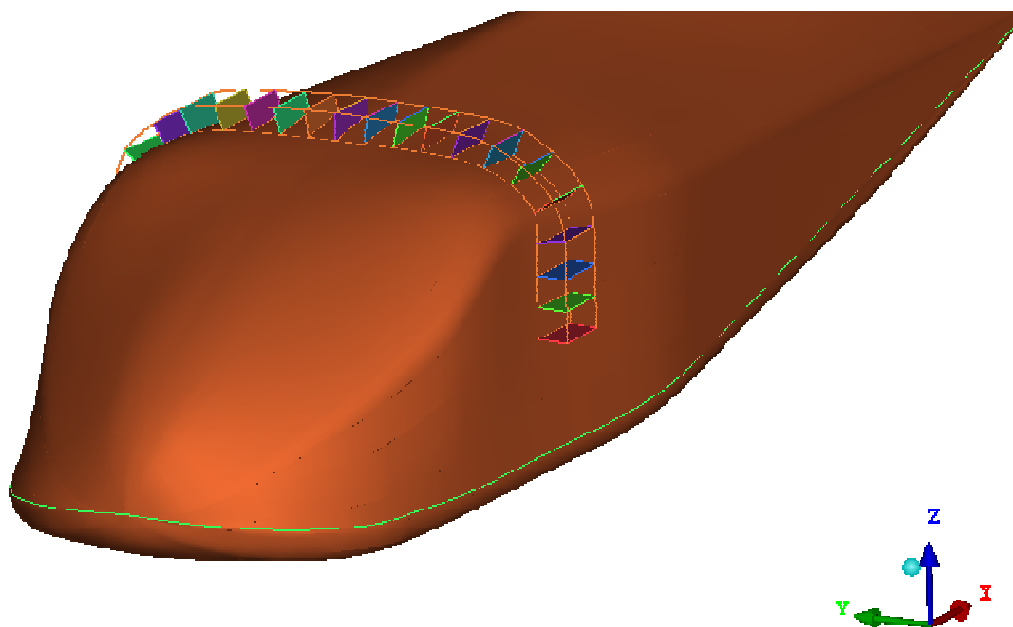


Figura 21: creació arestes

Seguidament s'han d'unir cada una d'aquesta línies perquè no estigui segmentada i en cas que ho estigui s'ha d'unir. Un cop fet això s'han de crear superfícies entres aquestes línies les apareixen en la figura 22 de color verd.

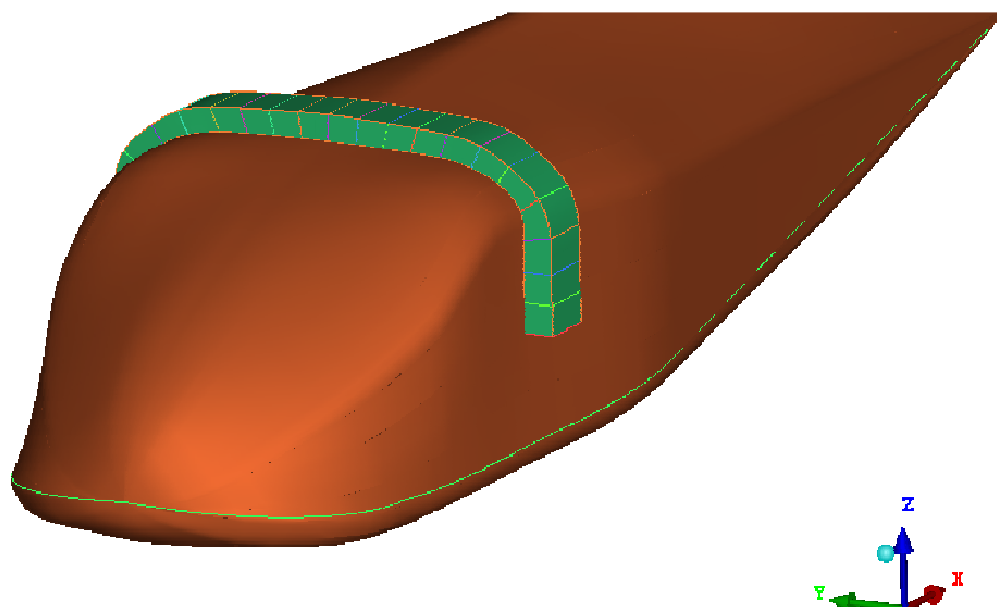


Figura 22: Superfície P1

No cal crear la superfície que dona a la part interna del cotxe, perquè la superfície d'aquest ja fa aquesta funció.

S'han de crear els cossos entre els apèndixs, els quals aniran anomenats amb el nom *regio* i aniran seguits d'un nombre, "REGIO_". Com es mostra a la figura 23

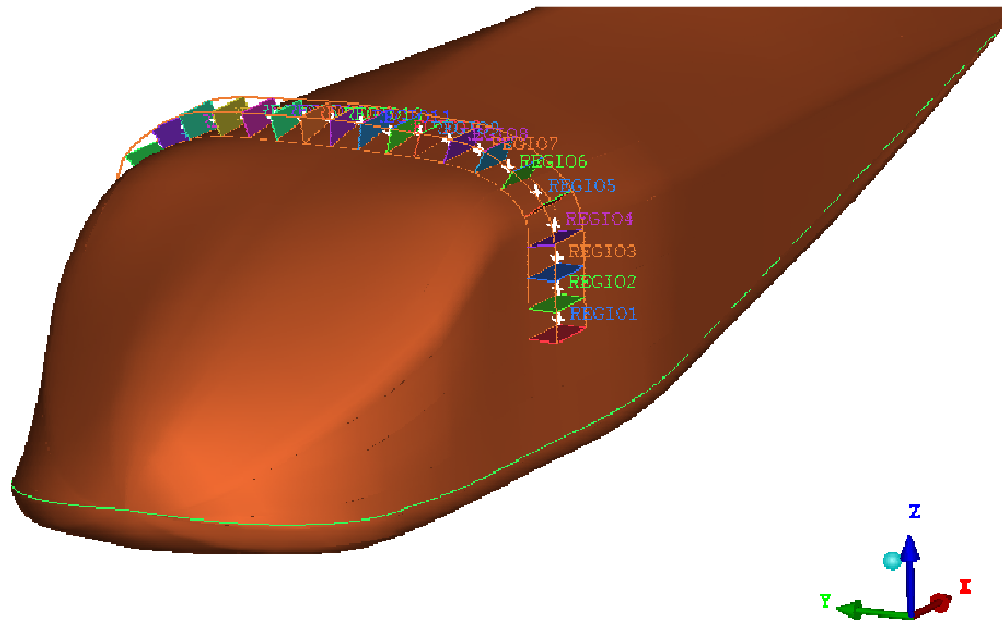


Figura 23: Crear regions

Fins aquí la part de modificació de la geometria.

MALLAT

Primerament s'ha de crear una zona propera al cotxe a on la mida dels elements serà més petita que a la resta del túnel. Aquesta zona estarà delimitada pels punts més interiors.

Aquesta tècnica es pot fer gràcies a l'opció de crear una densitat. El programa demana tres coses, com es veu a la figura 24:

- La mida de l'element *size*: 0,2 m
- La ratio d'expansió *ratio*: 1.
- El nombre de capes en que s'expandeix *width*: 1.

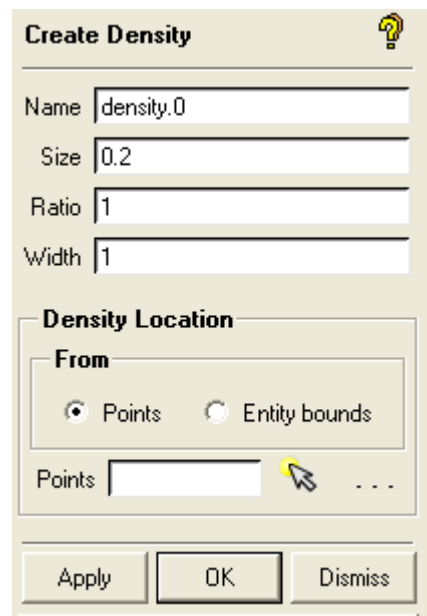


Figura 24: diàleg de les densitats

El resultat de fer la densitat es mostra en la figura 25.

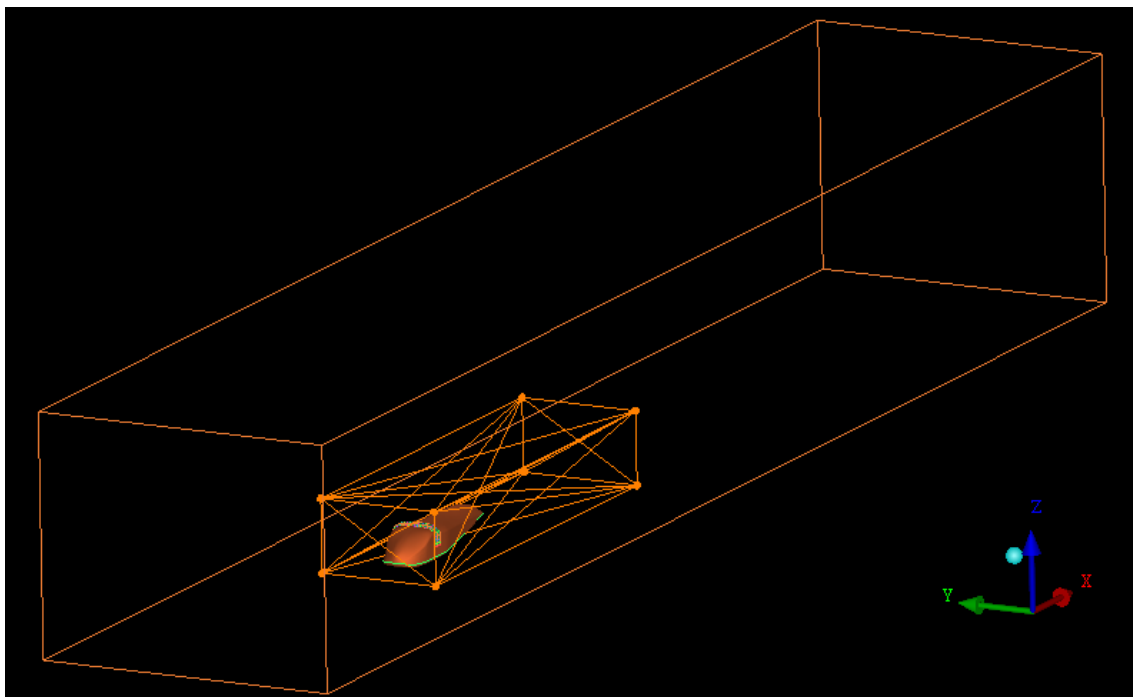


Figura 25: túnel de vent de densitat

A continuació per mallar s'han de seleccionar les superfícies que es volen. A la figura 26 es mostra el diàleg de mallar superfícies.

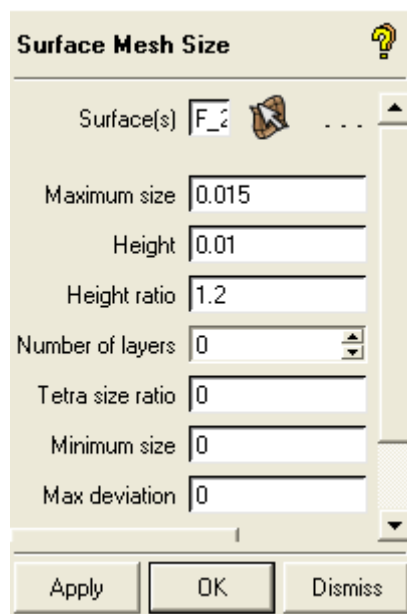


Figura 26: diàleg de creació malla de superfície

En primer lloc s'han de seleccionar les superfícies que seran mallades:

-El cotxe, tots els apèndixs i les superfícies que recobreixen els apèndixs anomenades P1.

Un cop seleccionades, s'ham d'emplanar els 3 primers apartats del diàleg de malla de superfície:

-*Maximum size* es refereix a la mida màxima que tindran els elements: 0,015 m.

-*Height* es l'altura dels elements, per la qual s'ha escollit que sigui més gran que la meitat de la mida màxima dels elements. 0.01 m

-*Height ratio* es refereix al ratio d'expansió que tindrà el mallat en les primeres capes properes a la superfície. 1,2.

Per donar la mida de la resta d'elements s'ha d'anar a la icona de parts de malla. En el diàleg que sobre s'han d'introduir les dades que es mostren a la taula 1

	MIDA(m)	ALTURA(m)	RATIO ALTURA
Cotxe	0.015	0.01	1.2
Apendixs	0.015	0.01	1.2
REGIO_	0.015	0.01	1.2
BODYTUNEL	0.5	0	0
TUNEL/INLET	0.5	0	0
TUNEL/OUTLET	0.5	0	0
TUNEL/TERRA	0.5	0	0
TUNEL/PARETS	0.5	0	0

Taula 1: mida elements

El programa anomena per defecte al cotxe i als apèndixs com a p.ex *BODY_6_FACE* i *BODY_6_EDGE*. Només cal omplir les que acaben amb *FACE* perquè les altres es refereixen a línies que no es tallen. Si es fa servir la versió 11 de l'ICEM ANSYS es pot veure que els *BODY_6_EDGE* ja no hi apareixen.

Diàleg de la mida dels elements. Figura 27:

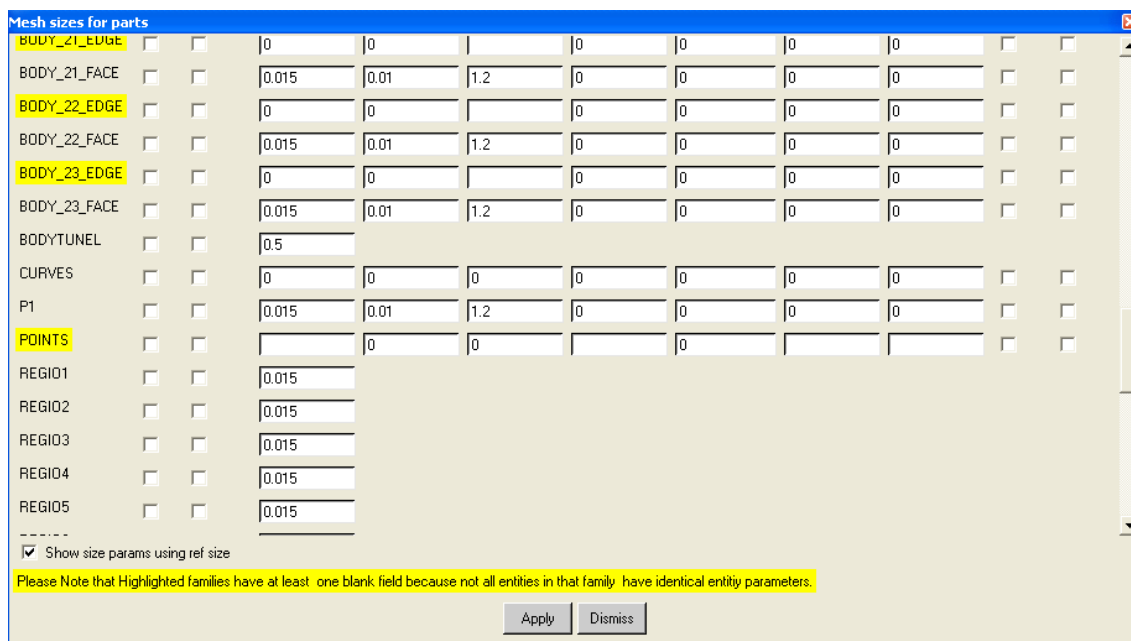


Figura 27: diàleg de mida d'elements

És important mirar que les caselles esmentades anteriorment no apareixin en groc, voldrà dir que hi ha algun espai en blanc que cal omplir.

Les caselles a les que no se li ha assignat cap valor específic s'han de deixar amb un 0.

A continuació, s'ha de realitzar el procés de mallat. S'ha de completar el diàleg que apareix amb la opció Mesh Type/tetra, i amb l'opció de *Robust(Octree)* per la barreja del mallat. El que fa aquesta opció és dir al programa que faci una malla amb elements tetraèdrics, en comptes de trièdrics. Escollim tetraèdrics perquè segons la teoria del mètode dels Elements Finites, un element tetraèdric dona menys error que un element trièdric.

En la imatge de la figura 28 es pot veure com a la zona propera al cotxe el mallat és més dens que a la resta del túnel, això és degut a l'efecte de la densitat.

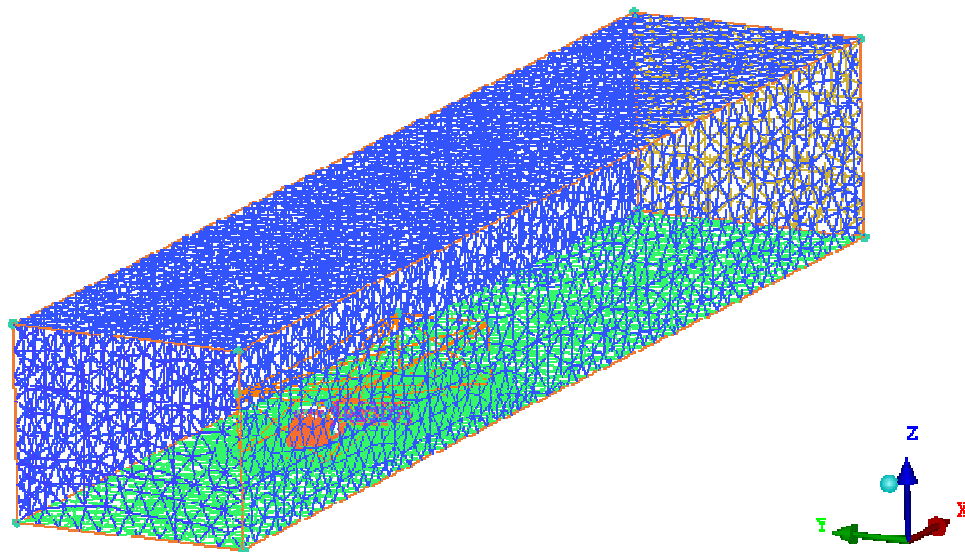


Figura 28: mallat final

El Preprocés està acabat. Ara s'ha de preparar el model per tal de exportar-lo al Star CCM+.

Per exportar es pot fer tan amb l'opció de fer-ho amb format d'"Star-CCM+" o de "Fluent_V6", i com *Common Structural Solver* escollim *Ansys*. Figura 29.

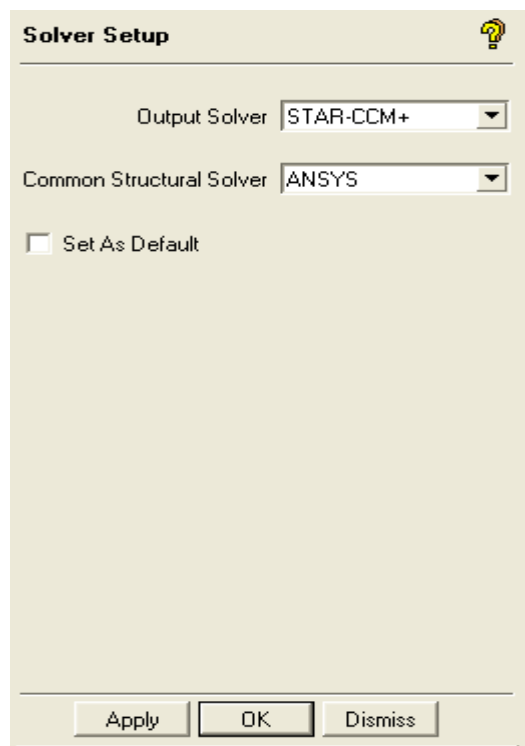


Figura 29: diàleg per exportar

El següent serà dir el tipus de interfície que es vol sigui cada superfície.

A pestanya Output, s'ha d'escollir la opció de determinar les condicions de contorn com es mostra al diàleg de la figura 30.

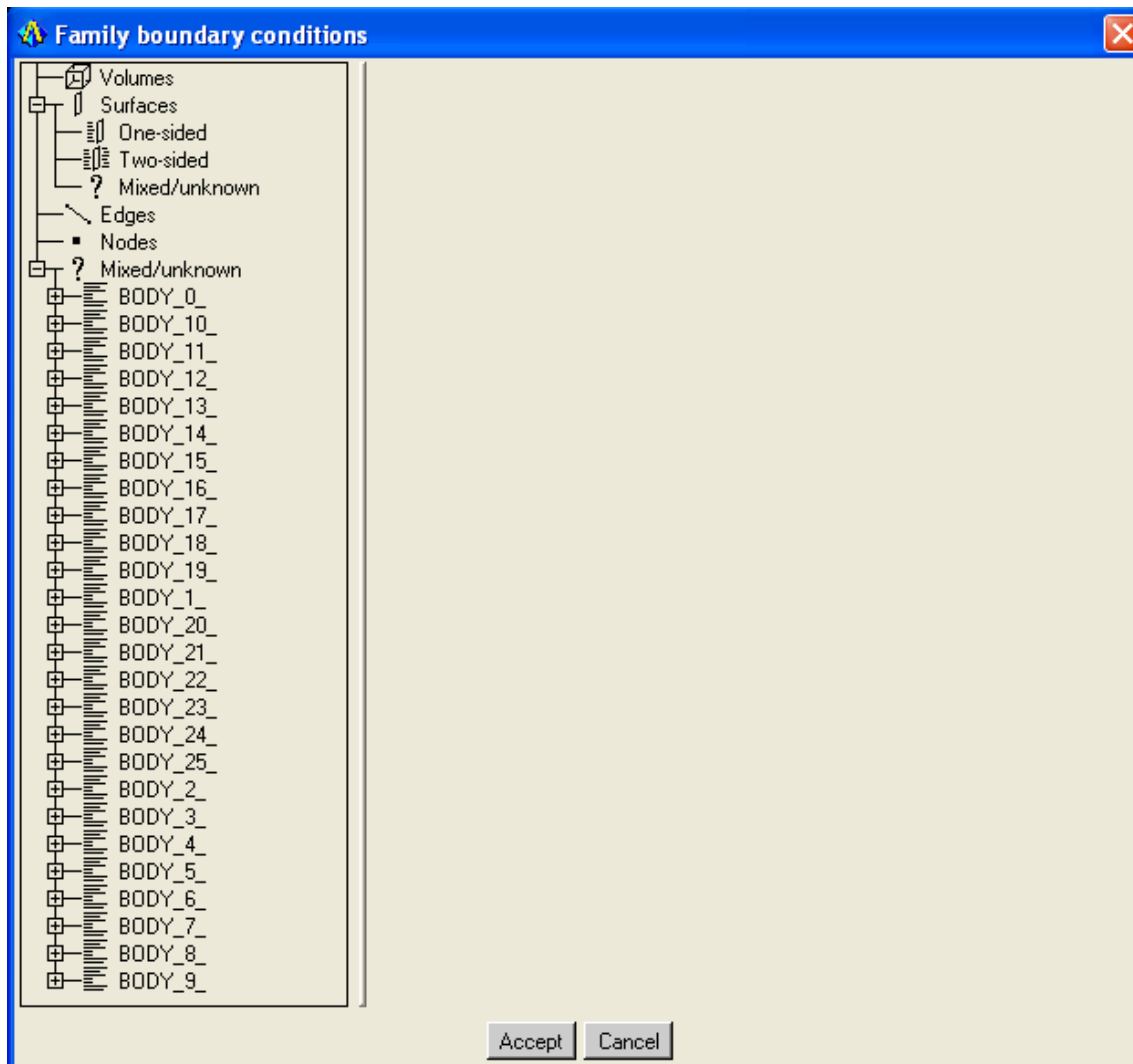


Figura 31: Determinar condicions de contorn

Condicions de contorn:

- Cotxe / Wall
- Apèndixs / Wall
- P1 / Wall
- TUNEL/INLET / Velocity Inlet
- TUNEL/OUTLET / Pressure Outlet
- TUNEL/PARETS / Wall
- TUNEL/TERRA / Wall

Només cal omplir els apartats de superfície, *surface*, i el que no reconeix, *unknown*.

Igual que en la pestanya de mallar les comandes del cotxe i els apèndixs no surten com a tals. Només cal donar les condicions de contorn a aquelles que es refereixen a superfícies.

La resta de interfícies es queden tal com estan per defecte.

Per últim només queda exportar el fitxer. El format amb el que ens quedarà guardat l'arxiu és un format de malla *.msh.

B.3 ALTERNATIVES DE MALLAT

En aquest apartat s'expliquen les diferents estratègies amb les que s'ha intentat mallar tant el cotxe com els apèndixs però que després, principalment a l'hora d'exportar-los a l'"Star ccm+" aquest no ho llegia correctament.

Els problemes al mallar venen bàsicament de la inserció dels apèndixs, perquè pel que fa al cotxe, aquest es pot mallar sense cap problema.

El primer intent de mallat que va ser que els apèndixs fossin volums. Se sap que a la realitat són cossos que tenen un gruix i per tant es va decidir donar-los un gruix. Es va escollir un gruix pels apèndixs de 0.0005 m, és a dir mig mil·límetre.

El problema que suposa aquesta manera, és que per mallar cossos de mig mil·límetre de gruix necessitem elements de la mateixa mida, i si hi s'introdueixen elements tant petits el programa tenia molta dificultat per mallar, arribava fins a uns 13.000.000 milions d'elements i llavors es bloquejava, i no mallava. De totes maneres amb aquest elevat nombre d'elements hagués estat molt difícil fer la simulació amb els ordinadors que es disposen al laboratori de mecànica de fluids computacional.

El pas següent va ser pensar diferents estratègies de mallat.

Una opció, fer el mallat per blocs, suposava que s'agafarien certes parts del dibuix, en el nostre cas els apèndixs, i s'hi faria un mallat diferents. Tot el cos estaria fet amb tetraedres i els apèndixs els amb hexaedres, als quals els seria senzill omplir una superfície que també és un hexaedra, això permetria fer que els apèndixs tinguessin un gruix.

Una altre alternativa seria fer que els apèndixs no tinguessin volum i que només siguin una superfície, la qual es força senzilla d'omplir amb elements triangulars. El fet de no tenir gruix no suposaria cap problema perquè la intenció dels apèndixs és que tallin les turbulències al xocar contra la seva cara gran. L'aire que ja va recta no interessa modificar-lo.

La opció de mallar per blocs es va descartar en primera instància per la seva complexitat i es va optar per fer que els apèndixs fossin superfícies.

Tot i això amb aquesta opció no era suficient perquè el programa de simulació llegís bé el cos importat.

Seguint les recomanacions del Dr. Antoni Pujol es va proposar de crear unes superfícies a tot voltant dels apèndixs i després uns cossos delimitats pels apèndixs i

les superfícies creades, tal com s'explica a l'apartat de crear la malla. Un cop fet això si que el programa de simulació interpretava bé els apèndixs.

Per últim queda que el programa reconegui les superfícies creades al voltant dels apèndixs com a fluid o com que no hi són, tal com s'explica a l'apartat següent.

B.4 PROCÉS DE SIMULACIÓ AMB “STAR CCM+”

L'“Star CCM+” és un programa de simulació de fluids a partir de geometries mallades amb programes com l'“Icem Ansys”. Permet calcular com es comporten els diferents fluids sota condicions de Pressió, Temperatura, velocitat i altres factors, alhora que permet extreure'n els valors dels paràmetres desitjats.

A aquest annex s'intentarà explicar quin ha estat el procediment seguit per fer la configuració de la simulació de les geometries. En cap cas es té la intenció de que sigui un manual d'ús del “Star CCM+”, sinó que es centrarà amb les principals comandes utilitzades.

S'ha de tenir en comte que el número de geometries creades són moltes, pel que s'explicarà a partir de la geometria principal definitiva.

A continuació s'explica quins són els passos que s'han anat seguint:

Es crea una nova simulació. Figura 32:

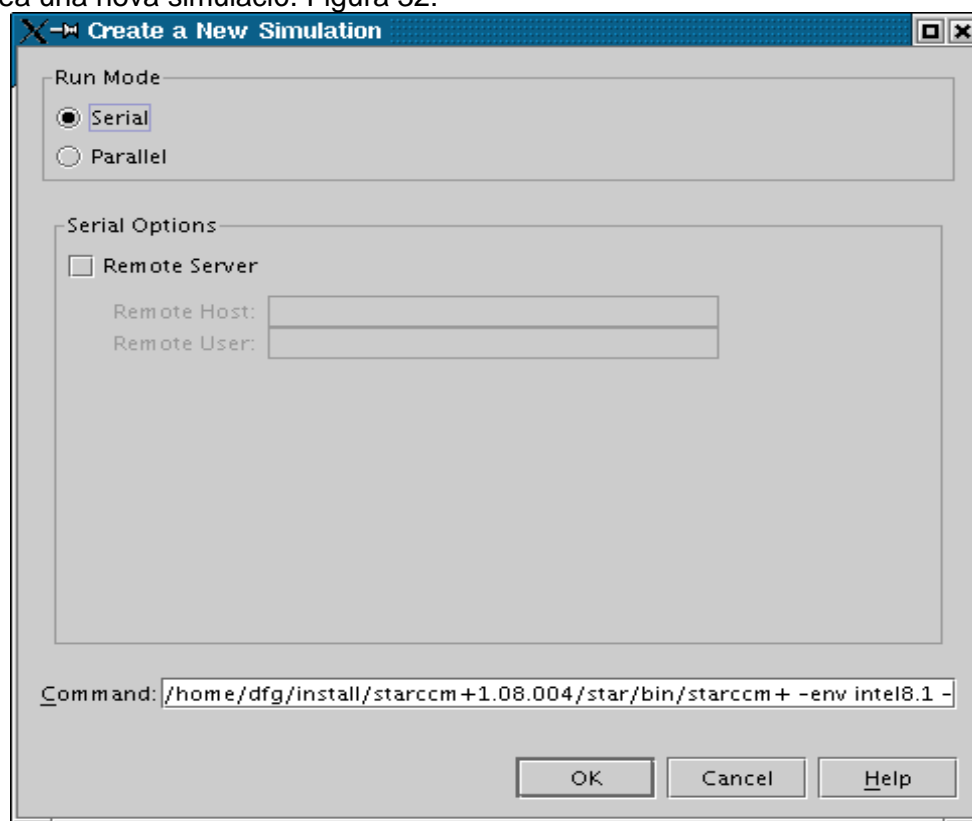


Figura 32: diàleg de creació de nova simulació

A continuació s'importarà el model de la geometria amb malla, Un cop importat, ja es pot a definir el model, tal com es mostra a la figura 33 i figura 34.

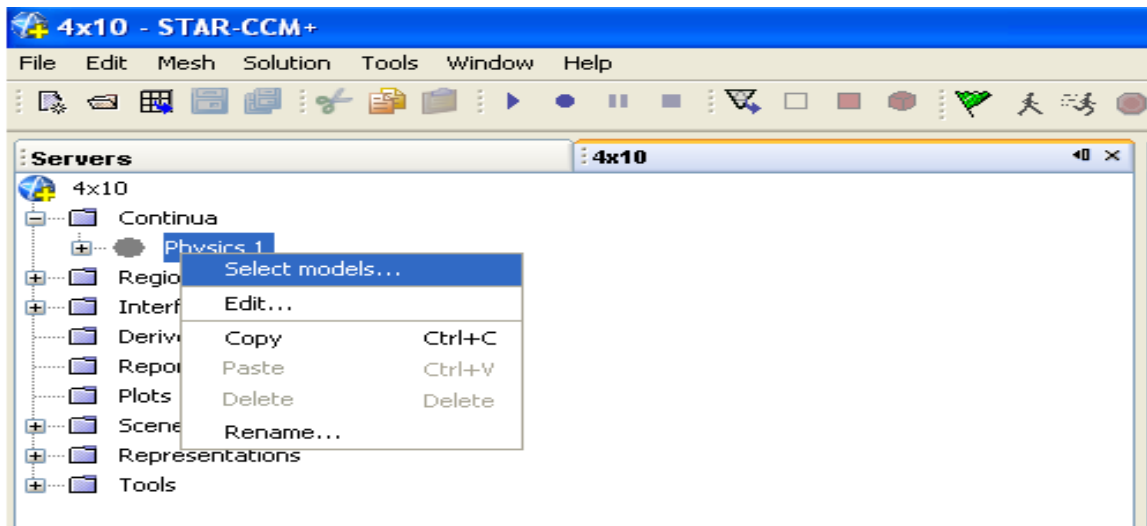


Figura 33: Definir models

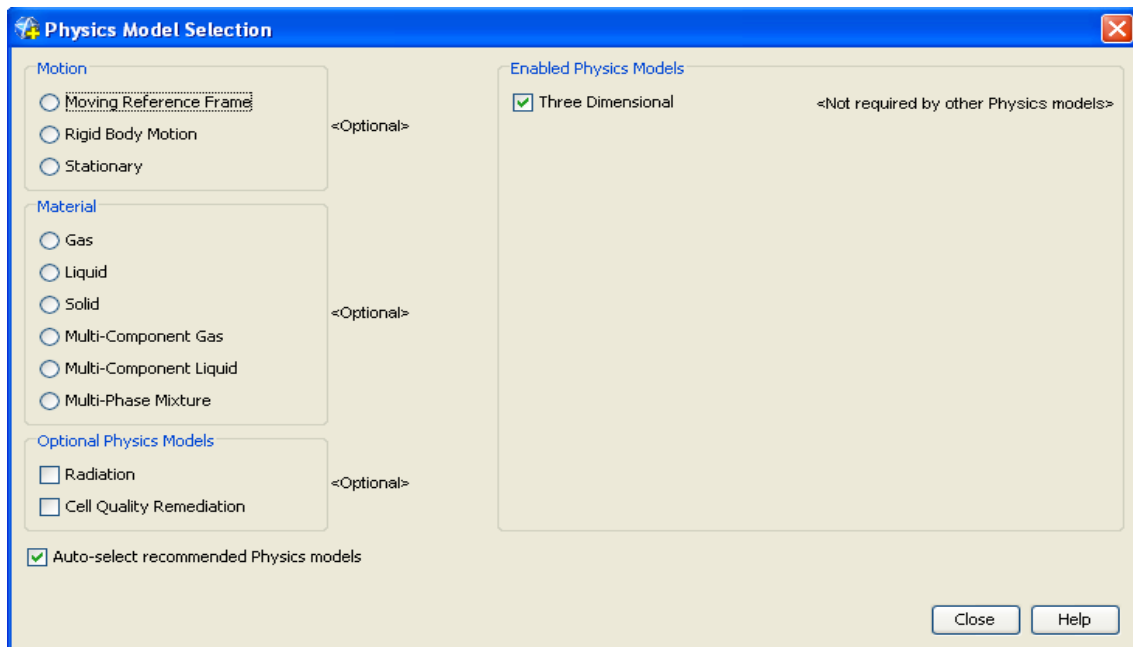


Figura 34: diàleg per definir els models

El model utilitzat és el següent:

- **Espai:** 3D
- **Moviment:** Estacionari (Stationary)
- **Material:** Gas
- **Component fluid:** Únic component gas
- **Flux:** Flux segregat (Segregated flow)
- **Equació d'estat:** Gas ideal
- **Temps:** Règim permanent (Steady)
- **Règim viscos:** Turbulent

· **Turbulència:** Turbulència K-epsilon/Standard

Aquesta finestra s'anirà modificant a mesura que es vagin seleccionant les propietats del model. I apareixeran a la llegenda totes les opcions seleccionades com es mostra a la figura 35.

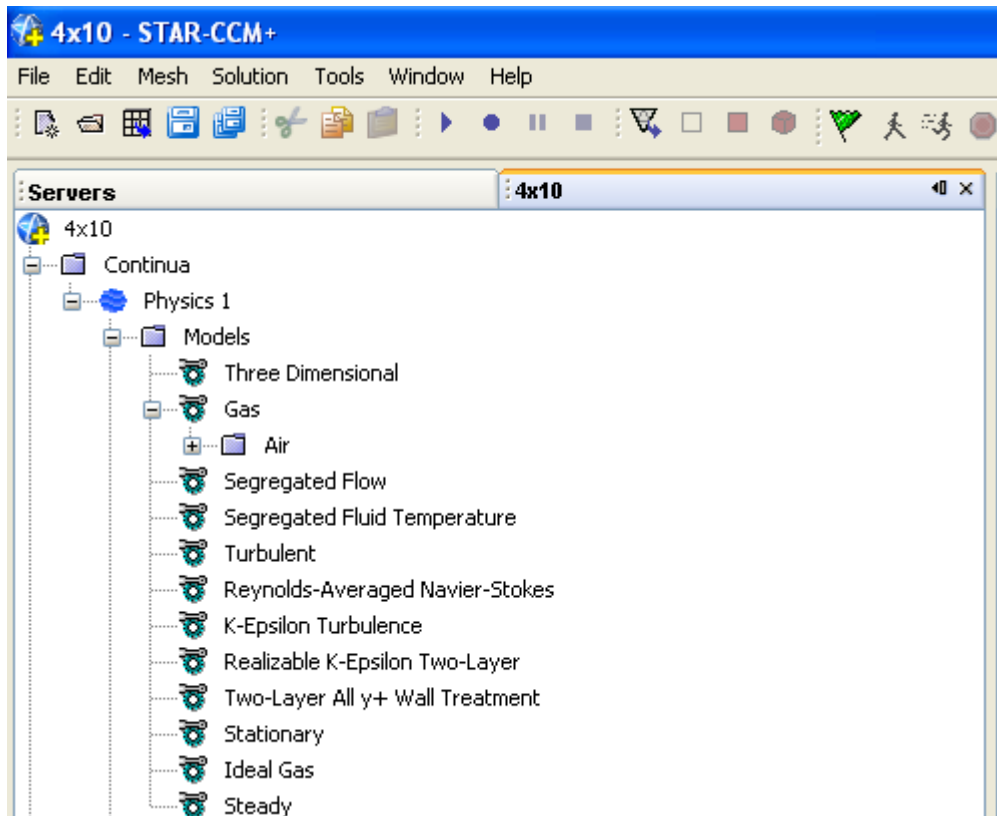


Figura 35: arbre amb model definit

Un cop seleccionats els models s'han d'ajuntar les diferents superfícies. Per això ens serà útil poder veure el model creant una nova escena com es veu a la figura 36.

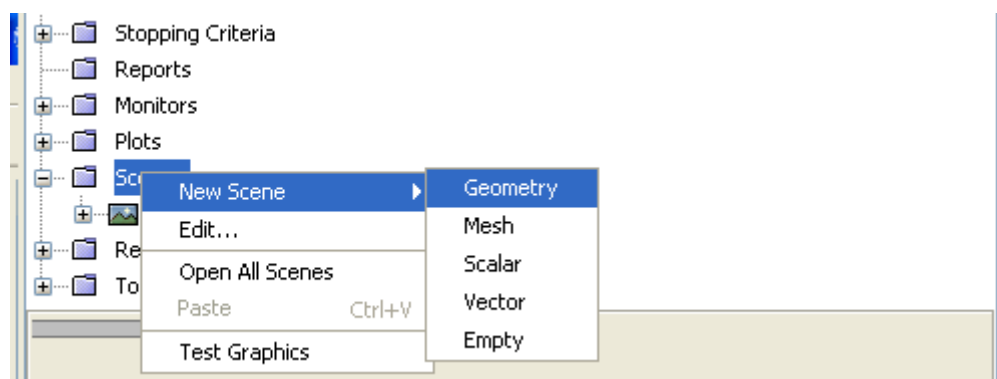


Figura 36: nova escena

El següent pas serà anar a la secció d'interfícies (interfaces) i eliminar-les totes. Figura 37.

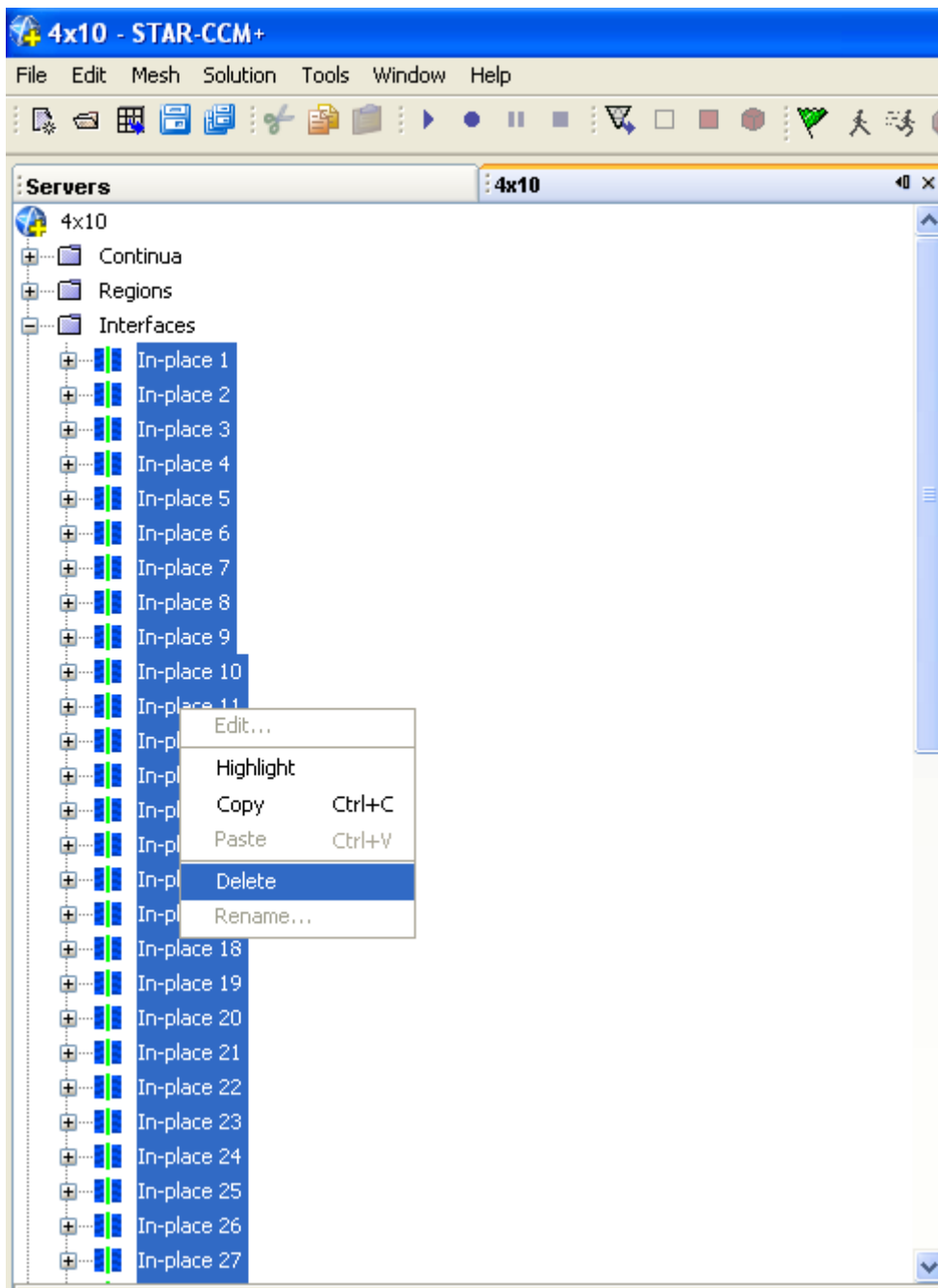


Figura 37: eliminar interfícies

Un cop eliminades les interfícies s'han d'ajuntar amb l'acció de combinar totes les regions que ens apareixen excepte la *BODYTUNEL*, tal com es mostra a la figura 38.

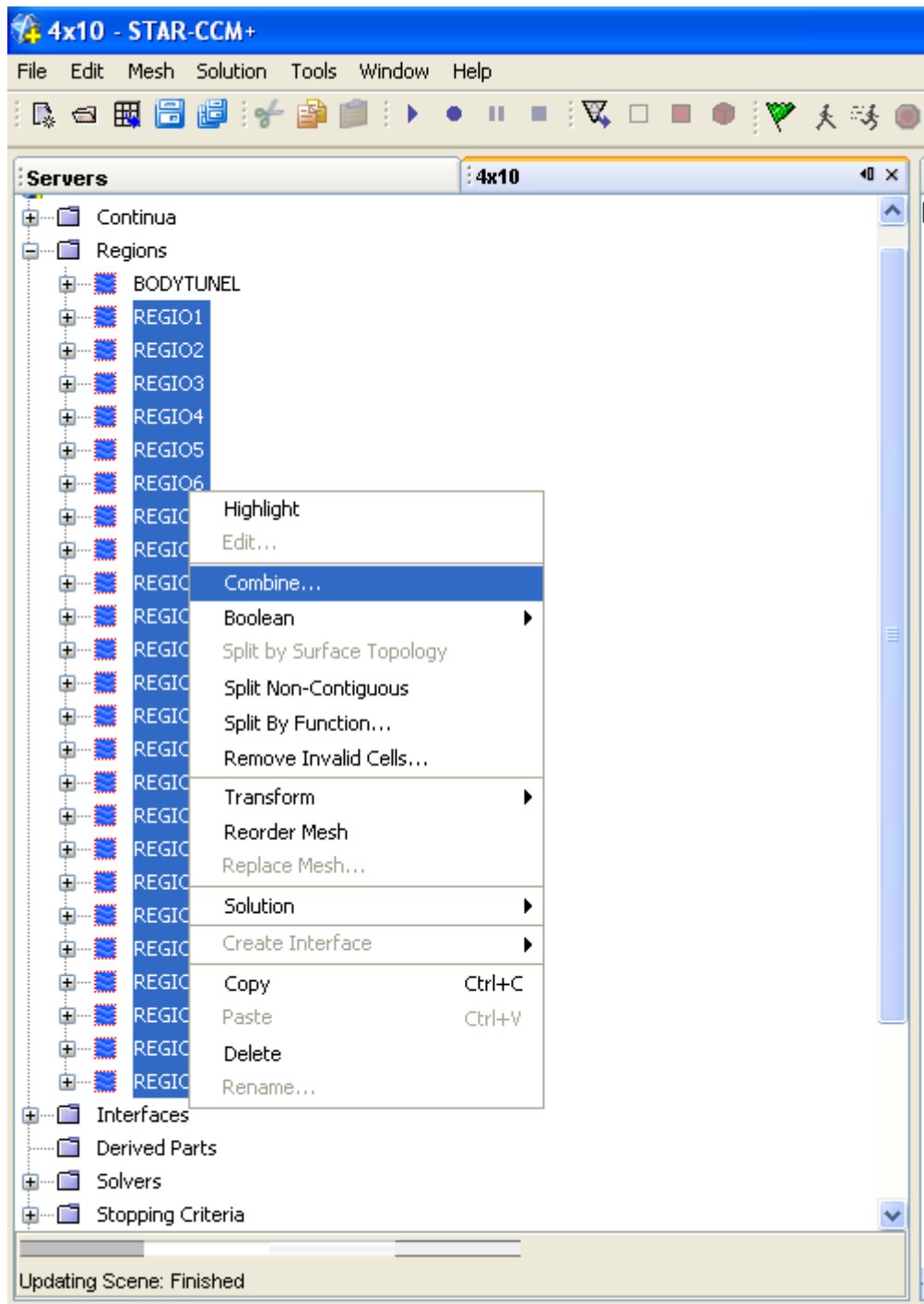


Figura 38: combinar regions

A continuació a *BODYTUNEL*, cal reanomenar primera superfície que apareix, anomenada com per exemple *BODY_0_FACE*, que serà el cotxe, per comprovar-ho cal clicar-la i s'ilumina en el dibuix la part seleccionada. És pràctic canviar-li el nom pel de *COTXE*.

Les altres superfícies que apareixen anomenades *Interface-__*, corresponen a les regions dels apèndixs, s'han de combinar totes en una de sola i ha de quedar com es mostra a la figura 39.

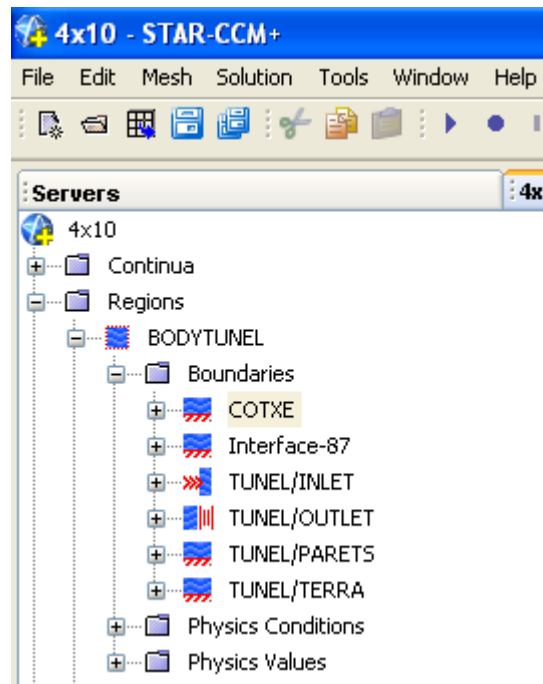


Figura 39: regió *BODYTUNEL*

S'ha de fer el mateix amb les superfícies de la regió *REGIO1*, hi ha 3 tipus de superfícies, la que correspon als apèndixs, la de les regions dels apèndixs i una superfície que està enganxada a la superfície del cotxe.

S'han de combinar les interfícies dels apèndixs en una i el mateix amb les regions. Totes estan anomenades amb la mateixa nomenclatura per això el dibuix és una eina de molta ajuda per identificar-les. El resultat final es mostra a la figura 40.

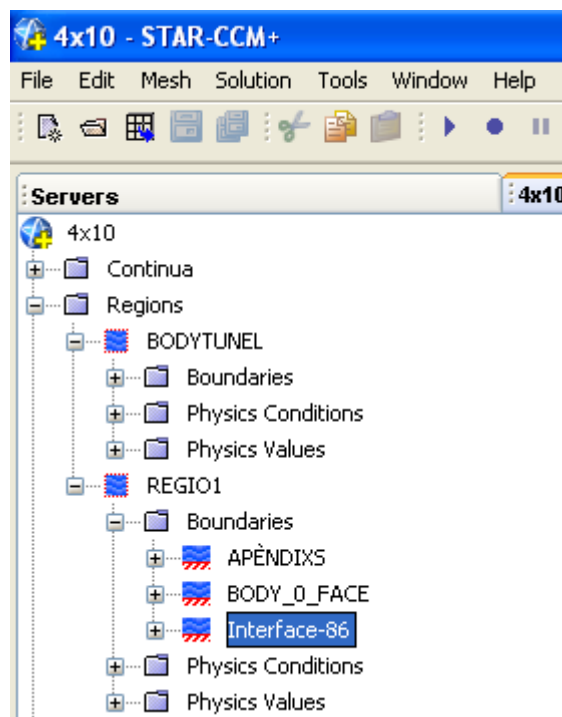


Figura 40: regió dels apèndixs

Ara hi ha creada la geometria com s'hi hagués una corona tancada a tot voltant
 El següent pas és dir-li al programa que són parets internes per on hi passa fluid.
 Es pot fer seleccionant les superfícies que estan amb el nom de *Interface* i seleccionem la crear *interface* i a dins del sub grup *in-place*, com es mostra a la figura 41.

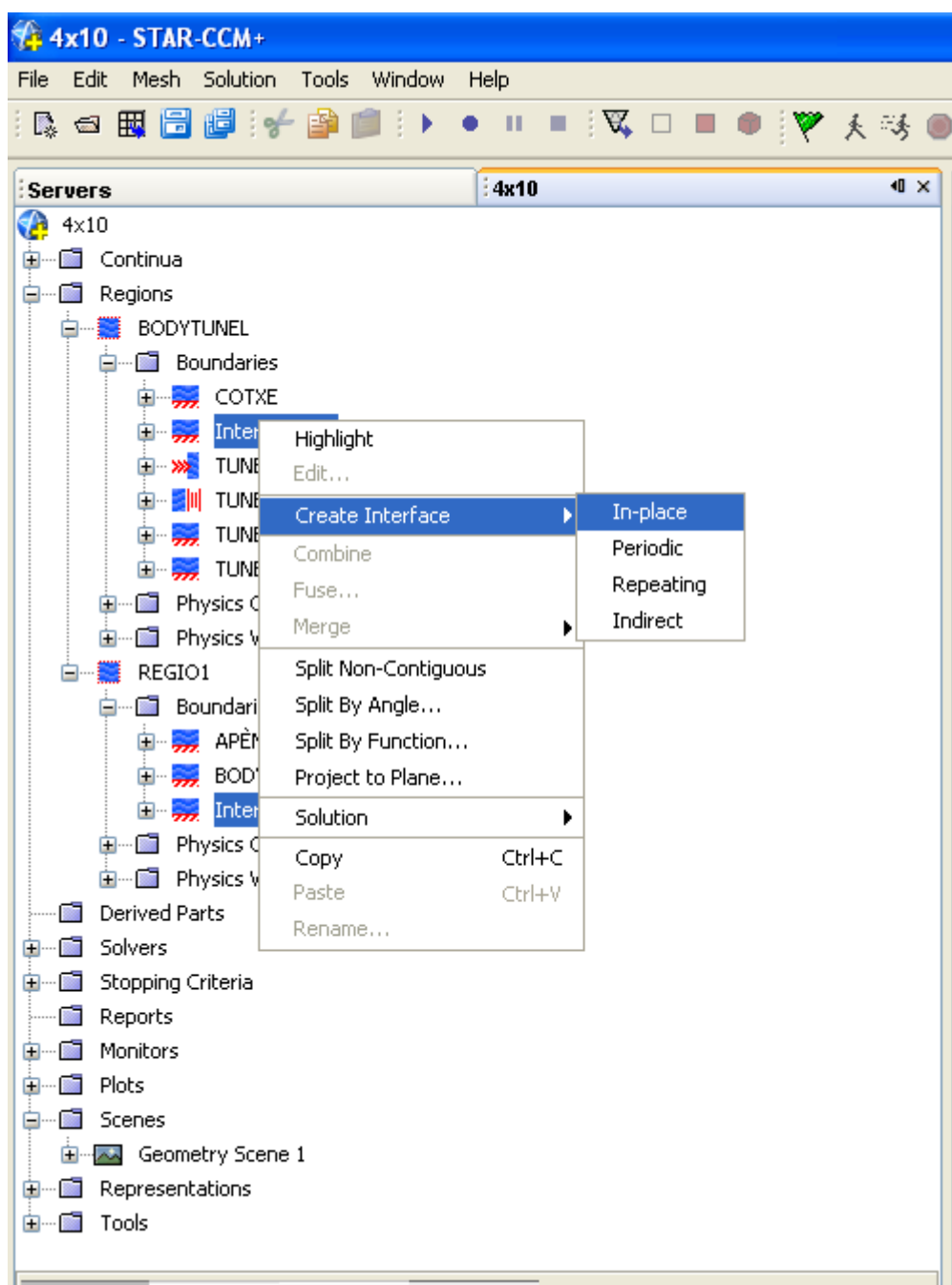


Figura 41: crear in-place

Un cop fet això apareix a la llegenda la carpeta d'interfase amb un in-place.
 Cal remarcar que a vegades pot ser que apareguin algunes superfícies que no són cap de les esmentades, això es degut a problemes amb el mallat. A vegades aquests

elements són molt petits i el seu efecte és despreciable, però alguns cops aquests elements són d'un volum important, és per això que abans de continuar si tenim aquest problema cal revisar el mallat.

Tot i que aquest problema es podria veure en el procés de mallat si no se sap a on són exactament aquests elements és difícil trobar-los en el programa de mallat. Per això l'experiència en fer les diferents simulacions ha fet veure que els errors es troben la majoria de vegades un cop importada la geometria a l'"Star-ccm+".

Una de les causes més típiques en que apareixen elements dolents, és perquè la superfície que cobreix els apèndixs al ser corba en alguns punts no toca bé amb l'apèndix i crea tetraedres en comptes d'elements triangulars, per això cal rectificar-ho.

El següent pas és verificar el tipus de interfície, si s'ha fet durant el mallat, haurien d'estar ben definides. Per comprovar-ho s'ha de seleccionar cada una de les superfícies i mirar a la barra de propietats què hi apareix. Figura 42.

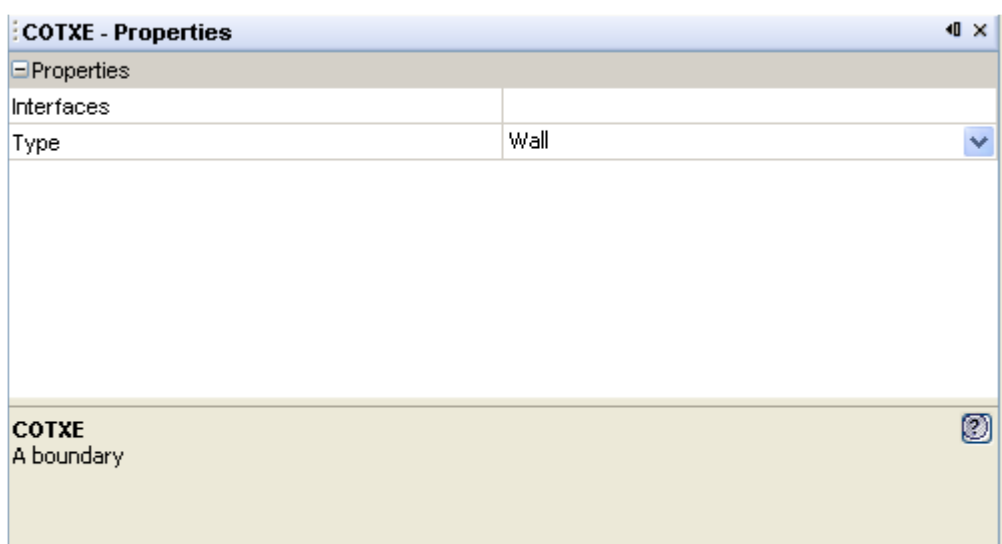


Figura 42: propietats de la interfície

Per la resta de interfícies es faran amb les característiques que s'esmenten a la taula 2

Superfície	Condió de contorn
Cotxe	Wall
Apèndixs	Wall
Túnel/inlet	Velocity inlet
Túnel/outlet	Pressure outlet
Túnel/terra	Wall
Túnel/parets	Wall
La resta de superfícies	Wall

Taula 2: condicions de contorn

S'han de tenir en compte les següents característiques

- La velocitat d'entrada s'ha de col·locar a *VELOCITY INLET*, a l'apartat de constants físiques i posar-hi que la velocitat sigui de 11,11 m/s.
- La pressió de sortida s'ha de posar a *PRESSURE OUTLET* a l'apartat de constants físiques i dir-li que la pressió estàtica serà de 0,0 Pa, normalment ve per defecte.
- Les parets són lliscants, *TUNEL/PARETS*, a l'apartat de condicions físiques i a *Shear stress specification*, a propietats marquem com a *slip*.
- El terra serà no lliscant, aquesta opció ve per defecte.

Totes aquestes propietats es poden veure a la figura 43.

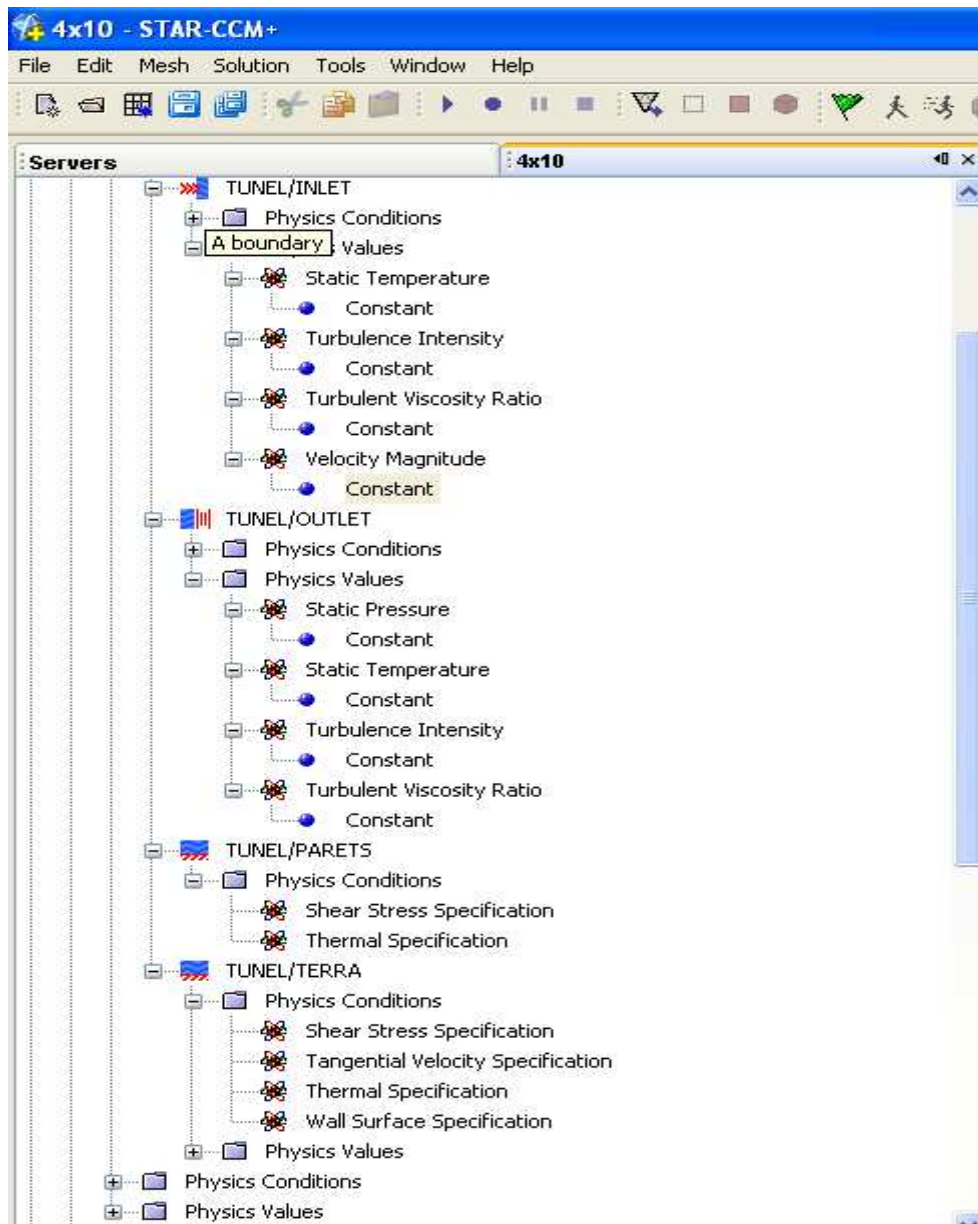


Figura 43: condicions inicials

El següent pas és augmentar la màxima ratio de viscositat, a l'apartat de *solver a k-epsilon turbulent viscosity*, per defecte surt 100000 i si no es canvia a mitja simulació es penja. Cal augmentar-lo com a mínim fins a valors de $1 \cdot 10^8$, com es veu a la figura 44.

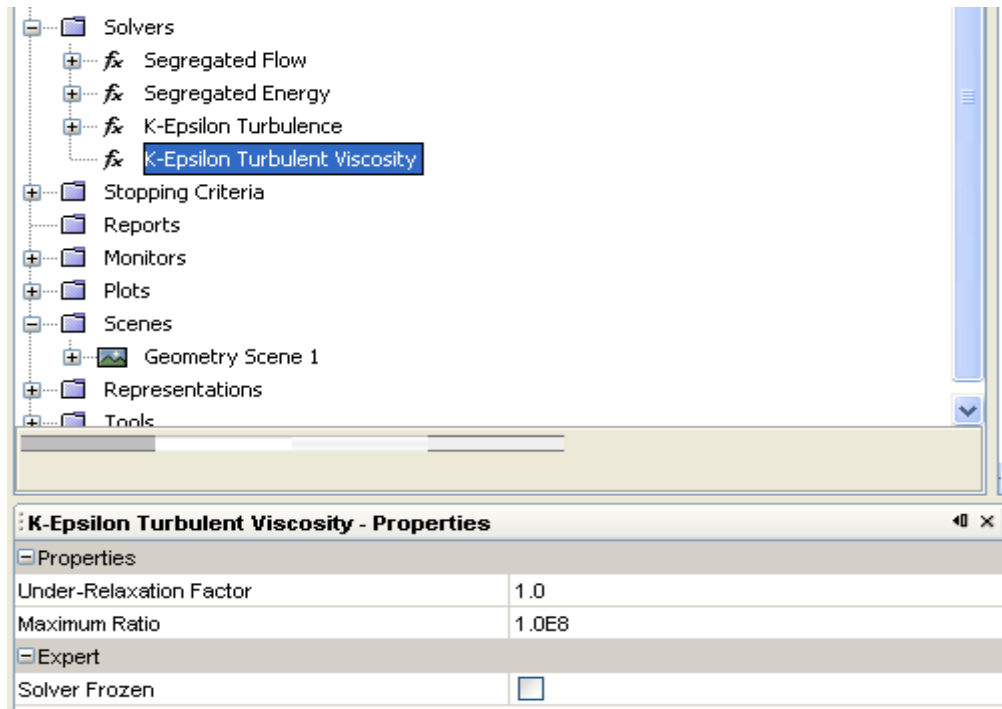


Figura 44: augmentar la ratio de viscositat

El pròxim pas és acotar el paràmetres de la solució, establir el nº màxim d'iteracions. A l'apartat de màxims passos dins la carpeta de criteris de parada com es mostra a la figura 45.

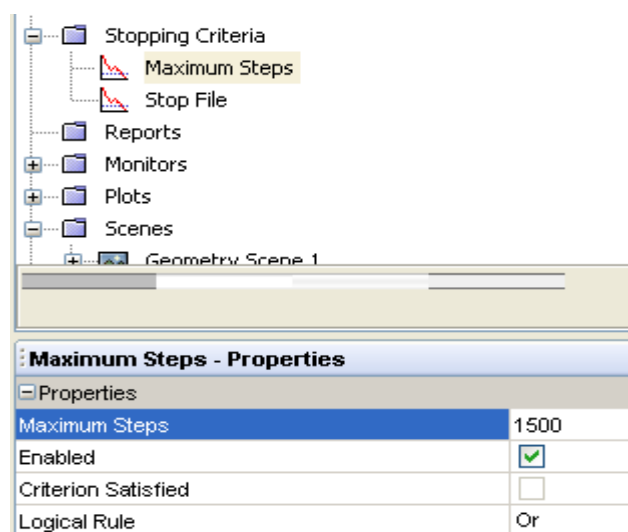


Figura 45: criteris de parada

Per trobar el n^o ideal d'iteracions entre un resultat òptim i un temps de càlcul no massa llarg primer es va fer les simulacions amb 850 iteracions, tal com s'havia fet en el projecte "Redisseny aerodinàmic de la carrosseria del vehicle de baix consum "Àliga"". Daniel Vilavedra Vilà. *Projecte de fi de carrera, Enginyeria Industrial.2007.* Però es va veure que els residuals, figura 46, de les operacions no s'estavilitzaven i per això es va creure necessari fer-ne més es va decidir de fer-ne 1500. Com es pot veure a la figura 46, corresponent al cas en que els apèndixs es troben a 1.3 m de la punta, a 850 iteracions no estan estabilitzats. Tot i que es podia haver ajustat una mica més que 1500, el temps de càlcul unes 20 hores, de mitja, no era excessivament llarg.

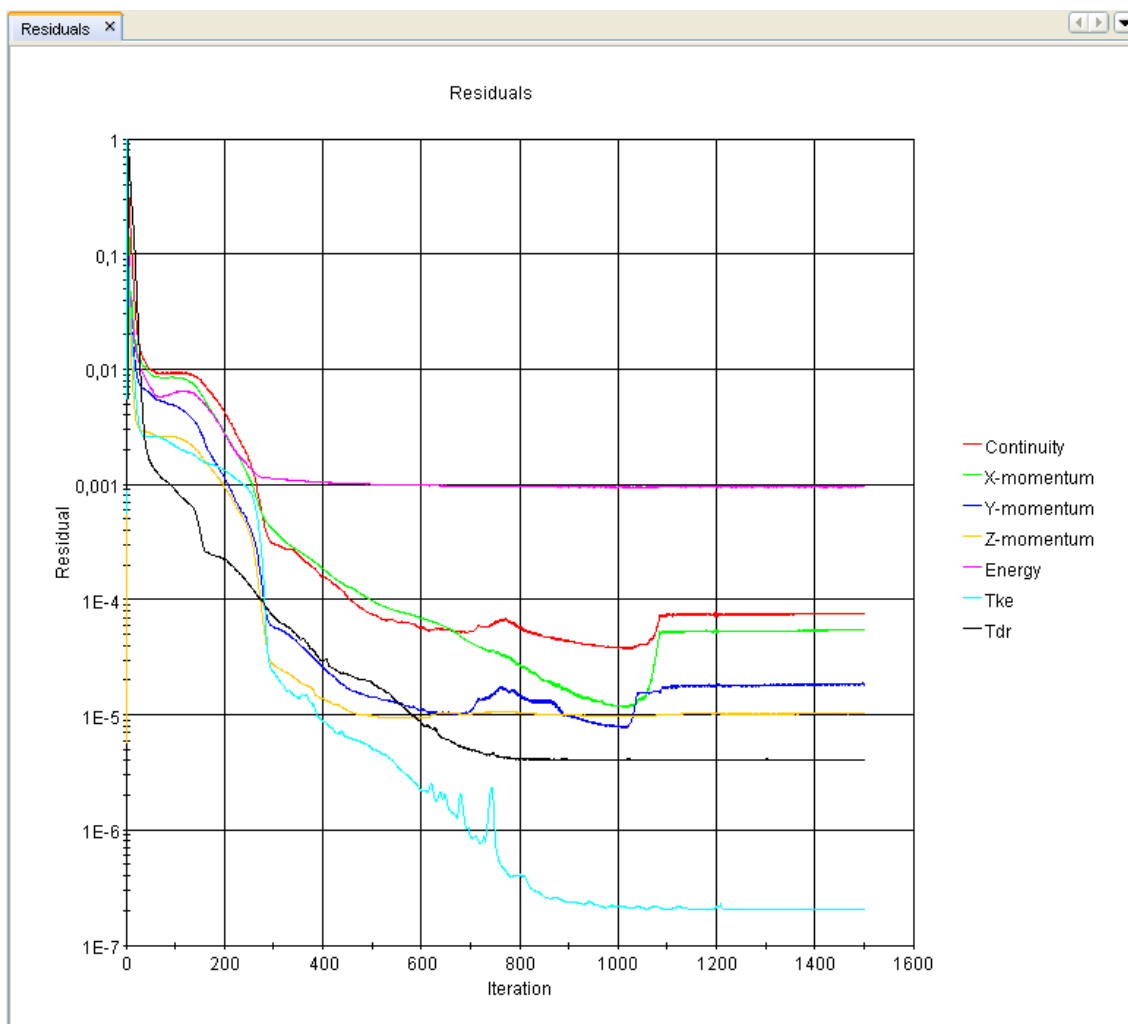


Figura 46: residuals

Ara la simulació esta preparada, però no donaria els valors del C_x i del C_L .

S'ha d'anar a l'opció *Reports* i seleccionar l'opció *Force coefficient*. Figura 47, Aquest paràmetre correspon al C_x o al C_L , depenent de com s'apliqui.

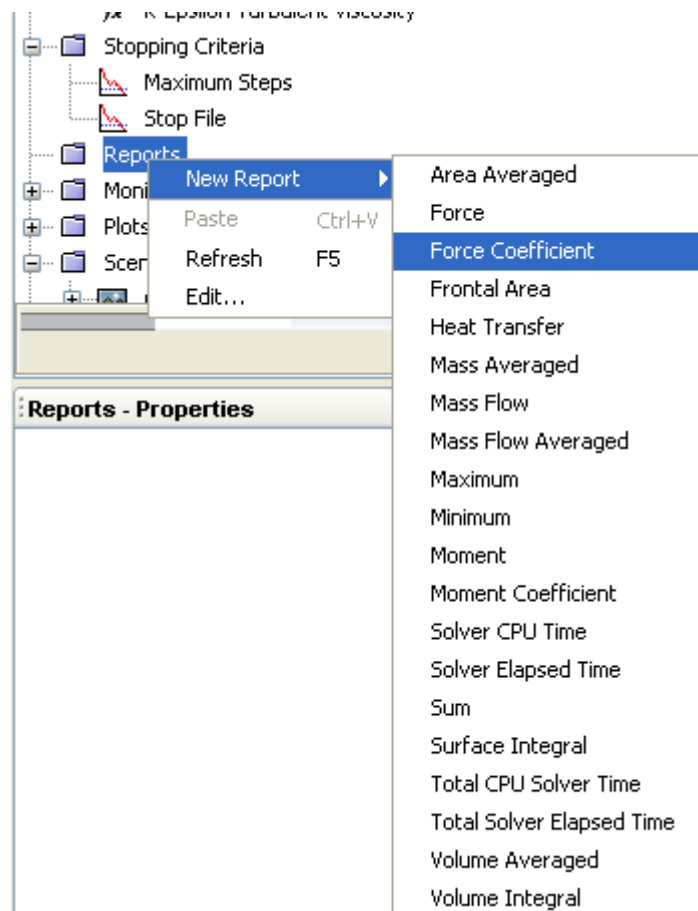


Figura 47: new Report

Amb el node Force Coefficient 1 seleccionat, es poden definir les propietats a la finestra *Properties* que apareix a la pantalla, com les de la figura 48.

Completarem la finestra de la següent manera:

- Reference Density: 1.277kg/m^3
- Reference Velocity: 11.11m/s
- Reference Area: 0.3538697m^2
- Force option: Pressure & Shear
- Direction: [1.0, 0.0, 0.0]
- Reference Pressure: 0.0 Pa
- Parts: cotxe i apèndixs

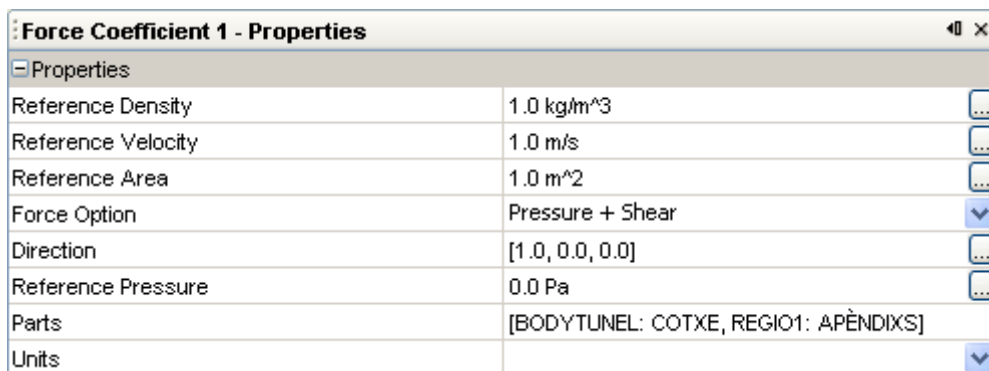


Figura 48: propietats del Force Coefficient 1

La casella *Direction* és la que marca el coeficient que es vol, és a dir, si es vol el Cx, com que és el coeficient provocat per les forces que van paral·leles al cos, serà en l'eix de les X, per això es posa un 1 en la direcció X. Si es vol visualitzar el resultat s'ha de continuar amb algunes accions més. Així, el següent pas serà generar un Monitor i un plot o gràfic per poder visualitzar els resultats. Per fer-ho, tal i com es mostra a la figura 49. Crear monitor, premerem el botó dret del ratolí. S'obrirà un diàleg del que seleccionarem *Create Monitor and Plot from Report*.

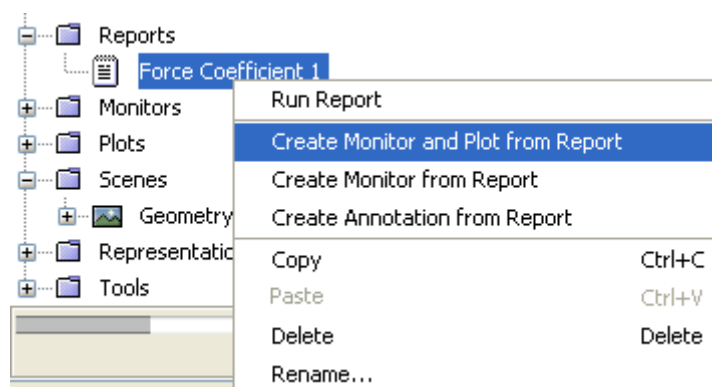


Figura 49: crear monitor i plot

Ens apareix una nova pestanya l'arbre de monitors i un altre a l'arbre de plot . Figura

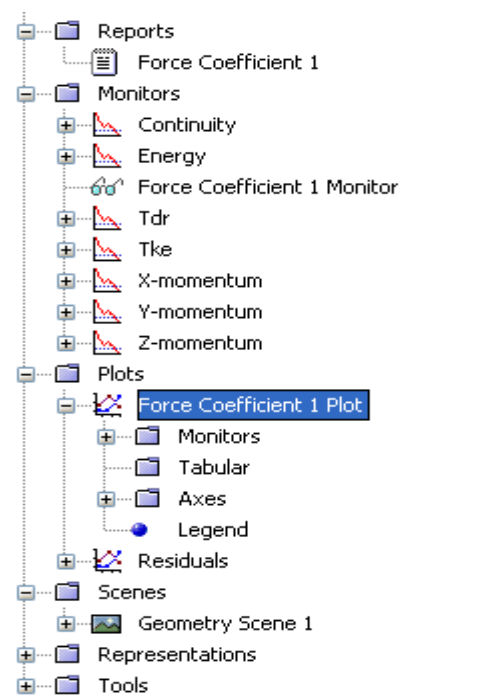


Figura 50: node del gràfic creat

Per poder veure el gràfic, s'ha clicat sobre el node *Force Coefficient 1 Monitor Plot*, i apareix per pantalla un gràfic com el de la figura 51.

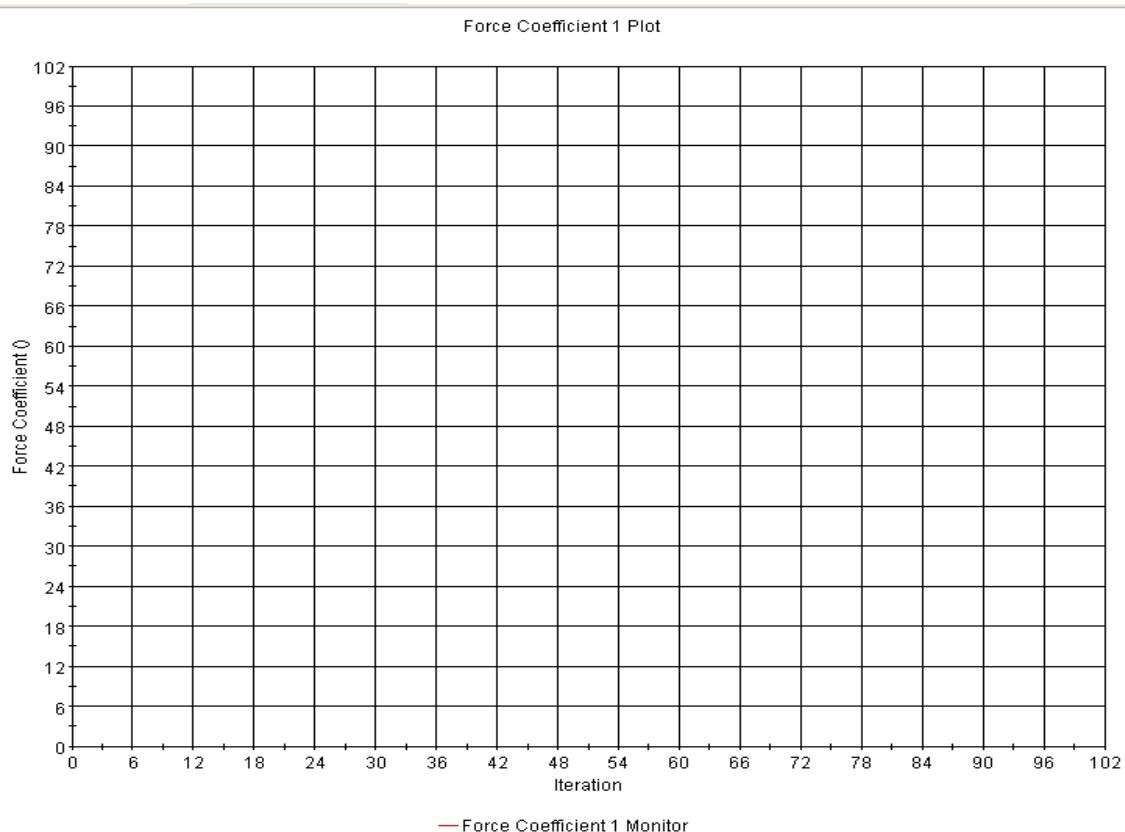
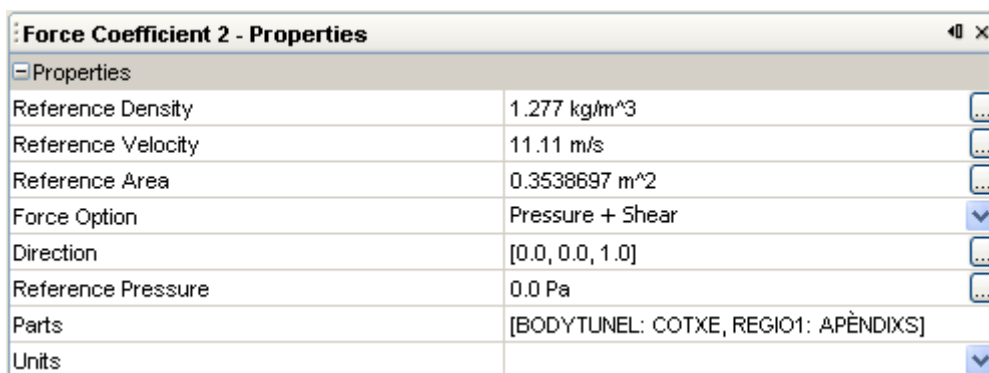


Figura 51: gràfic de l'evolució del Cx en blanc

Ara s'ha de fer el mateix que s'ha fet amb el C_x , per crear el C_L . Es farà tot exactament igual, excepte a la hora de complimentar la finestra *Properties*, un cop creat un nou Report, anomenat *Force Coefficient 2*, com la de la Figura 52

Completarem la finestra de la següent manera:

- Reference Density: 1.277kg/m³
- Reference Velocity: 11.11m/s
- Reference Area: 0.3538697m²
- Force option: Pressure & Shear
- Direction: [0.0, 0.0, 1.0]
- Reference Pressure: 0.0 Pa
- Parts: cotxe i apèndixs



Force Coefficient 2 - Properties	
[-] Properties	
Reference Density	1.277 kg/m ³
Reference Velocity	11.11 m/s
Reference Area	0.3538697 m ²
Force Option	Pressure + Shear
Direction	[0.0, 0.0, 1.0]
Reference Pressure	0.0 Pa
Parts	[BODYTUNEL: COTXE, REGIO1: APÈNDIXS]
Units	

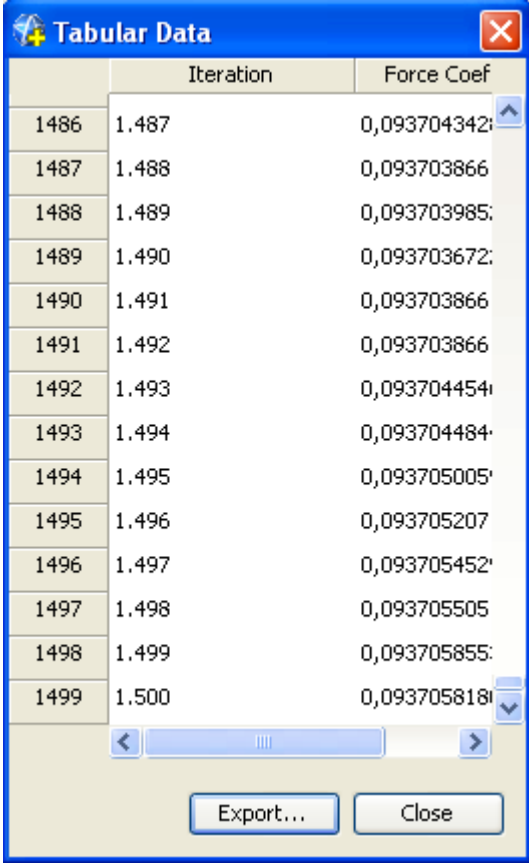
Figura 52: propietats del Force Coefficient 2

La casella *Direction* és la que marca el coeficient que volem, és a dir, si es vol el C_L , com que és el coeficient provocat per les forces que van del terra cap al cos, serà en l'eix de les Z, per això es posa un 1 en la direcció Z.

Ara ja es pot començar la simulació.

A mesura que es van calculant les iteracions es van generant les gràfiques dels Residuals, així com les creades del C_x i del C_L .

Si es volen veure els valors numèrics de cada iteració feta, un cop acabat a l'opció de *tabulate* que hi ha a la pestanya de *plot*, es pot veure a la figura 53.



	Iteration	Force Coef
1486	1.487	0,093704342
1487	1.488	0,093703866
1488	1.489	0,093703985
1489	1.490	0,093703672
1490	1.491	0,093703866
1491	1.492	0,093703866
1492	1.493	0,093704454
1493	1.494	0,093704484
1494	1.495	0,093705005
1495	1.496	0,093705207
1496	1.497	0,093705452
1497	1.498	0,093705505
1498	1.499	0,093705855
1499	1.500	0,093705818

Figura 53: taula de valors numèrics

S'ha de fer el mateix per veure els valors numèrics del C_L , però amb *Force Coefficient 2 Monitor Plot*.

Per calcular el valor de la força del drag o del lift s'ha d'utilitzar la opció *Force*, depenent del que ens interessa calcular s'ha li ha de donar les coordenades, igual que en el cas del *Force coefficient*, i ens dona el resultat en Newtons.

B.5 RUGOSITAT

Un cop obtinguts els valors numèrics de la rugositat, tal com s'explica l'annex C, s'ha d'anar a cada una de les superfícies amb les que hi haurà rugositat, el cotxe i els apèndixs i dir-los el valor.. Fins ara s'havia considerat la opció de que la superfície era llisa i no tenia rugositat. Ara se li diu que la superfície és rugosa, per fer-ho s'ha d'anar a les condicions físiques (Physics conditions) i a *Wall surface specification*, i activar l'opció rugosa (rough). Després s'ha d'anar a valors físics i especificar-li la rugositat(Roughness Height), com es veu a la figura 54.

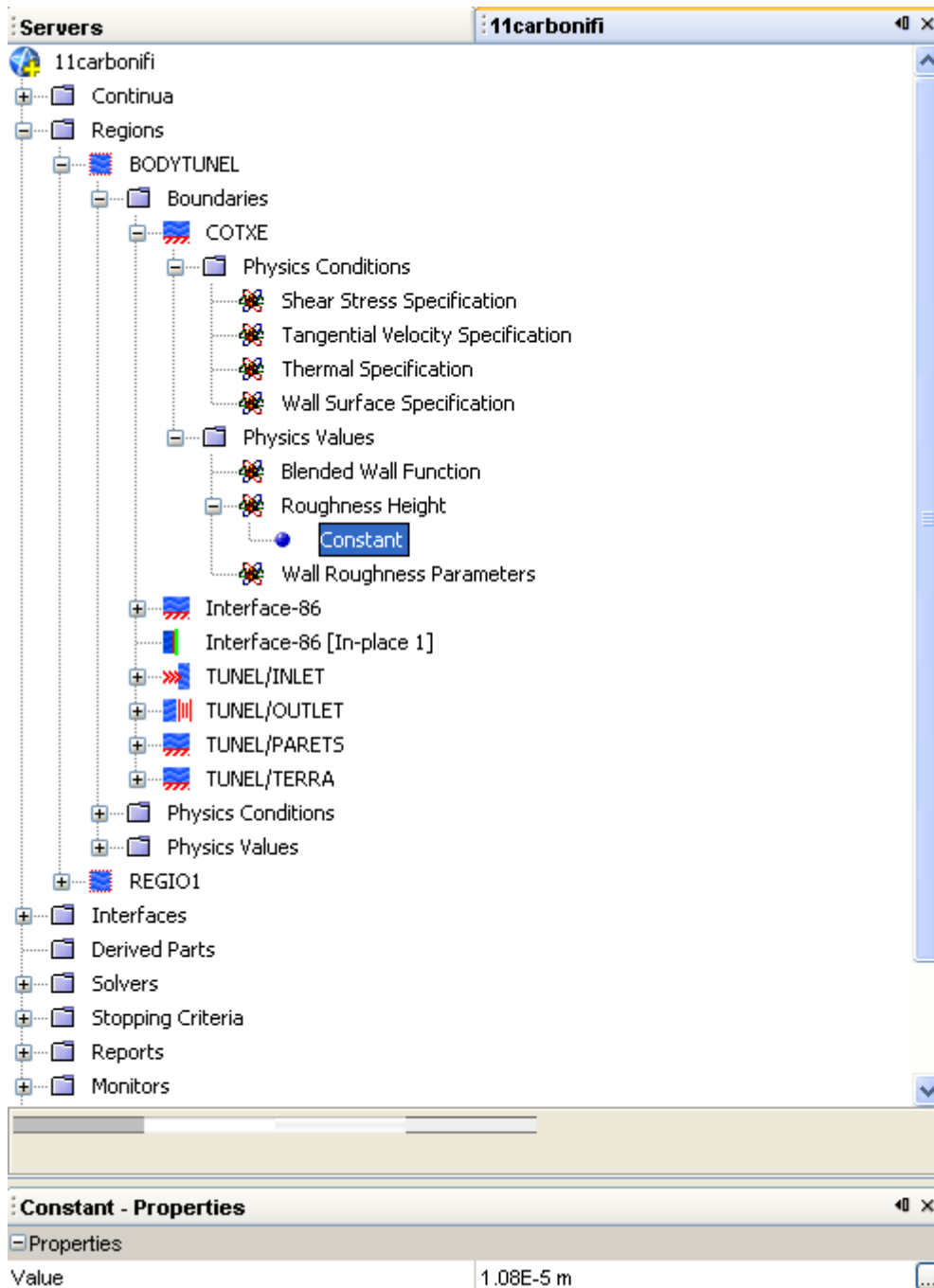


Figura 54: rugositat

El programa agafa per la rugositat una altura constant i un longitud entre crestes constant.

Si es vulgués crear una rugositat de la mateixa altura però de longitud entre crestes molt més gran, s'hauriam de fer a través del dibuix, és a dir que el dibuix tingués la forma de la rugositat.

B.6 PROBLEMS DE MALLAT EN EL PROGRAMA "STAR-CCM+"

A l'"Star ccm+" per norma general només hi ha una manera de procedir, però si que en el cas particular de la forma en que s'exportaen els apèndixs, amb unes superfícies que els envoltem, figura 55, hi ha diferents alternatives.

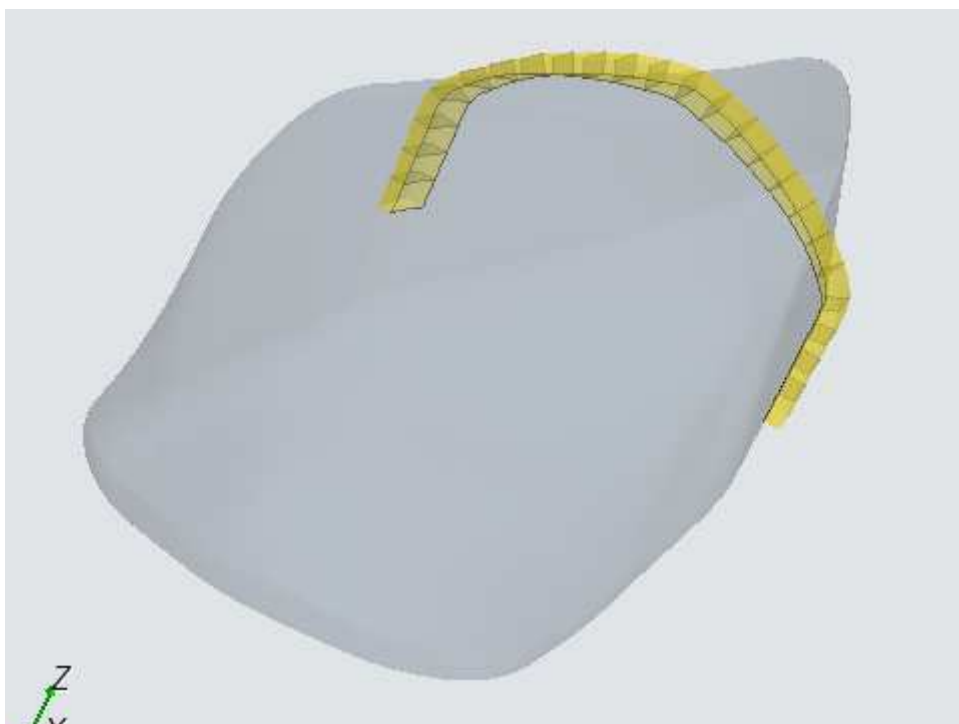


Figura 55: imatge geometria exportada a l'"Star ccm+"

Aquestes superfícies s'havien d'eliminar per fer la simulació perquè sinó donaria uns resultats que no ens serviren.

Abans del procediment explicat a l'apartat anterior es va provar de fondre les superfícies sobrants amb l'opció *Fuse*.

El procediment era en primer lloc ajuntar tots els apèndixs i les regions en una de sola,

com hem explicat a l'apartat B.4. I un cop fet això ajuntar les dues regions que ens queden en una de sola, la *BODYTUNEL*. Llavors ja es poden fondre. El procediment es mostra a la figura 56 i els resultats a la figura 57.

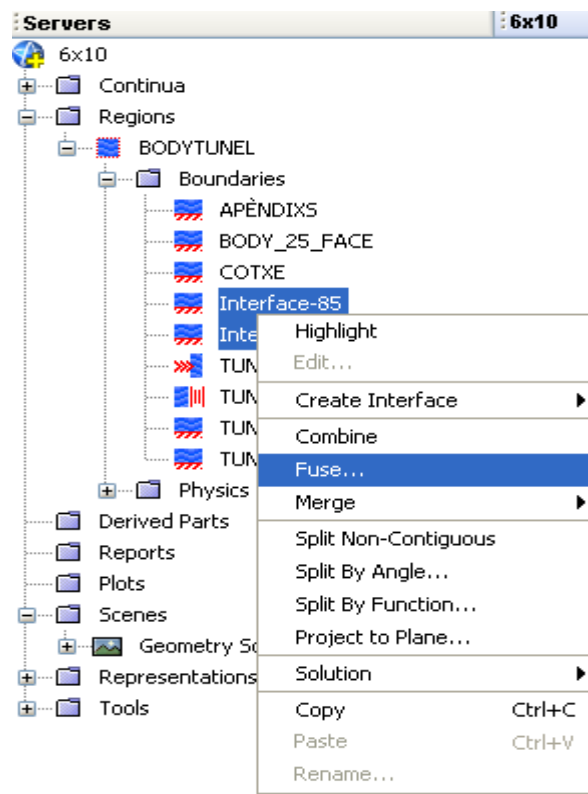


Figura 56: fondre les superfícies.

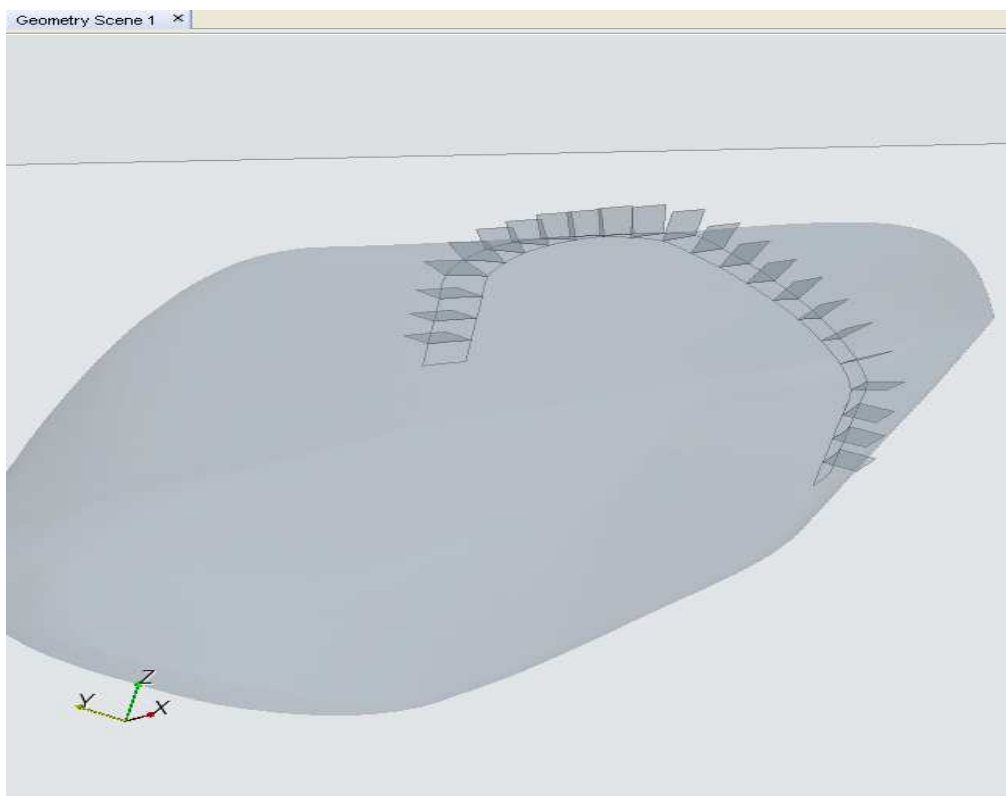


Figura 57: superfícies eliminades

Aquesta opció 3 semblava en principi que funcionava bé però al moment d'anar a simular sortia un error. Aquest error era degut a que en aquest procés es modifica la malla. Per tant per simular s'hauria de tornar a mallar.

Una altra opció era en el moment de fondre clicar l'opció de *fuse conformal faces only*, com es veu a la figura 58.

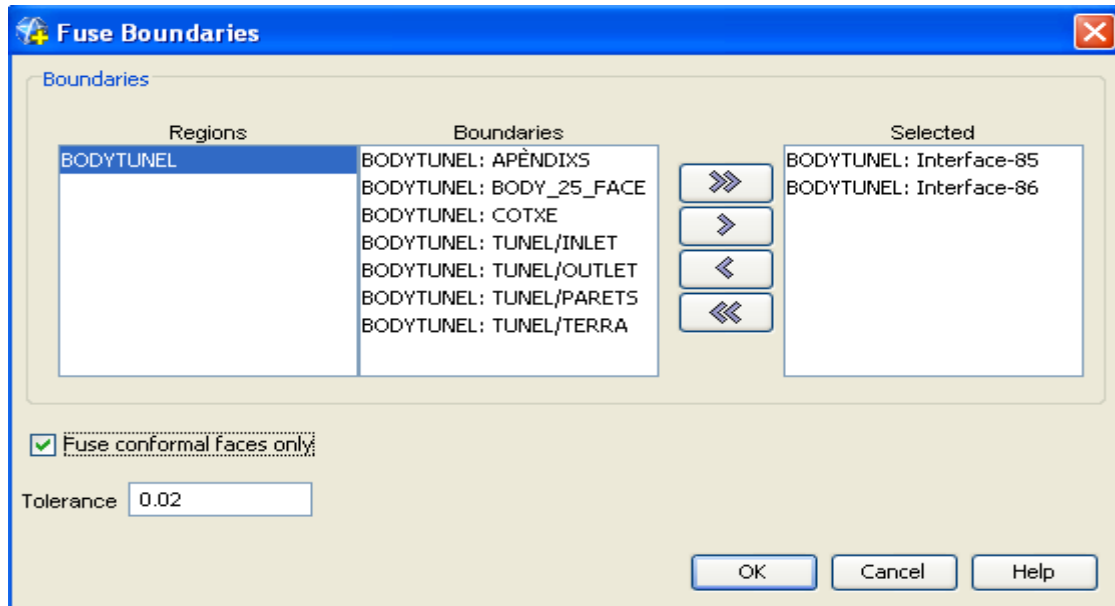


Figura 59: clicar a *conformal faces only*

Però llavors sortien les superfícies com esparracades com es veu a la figura 60.

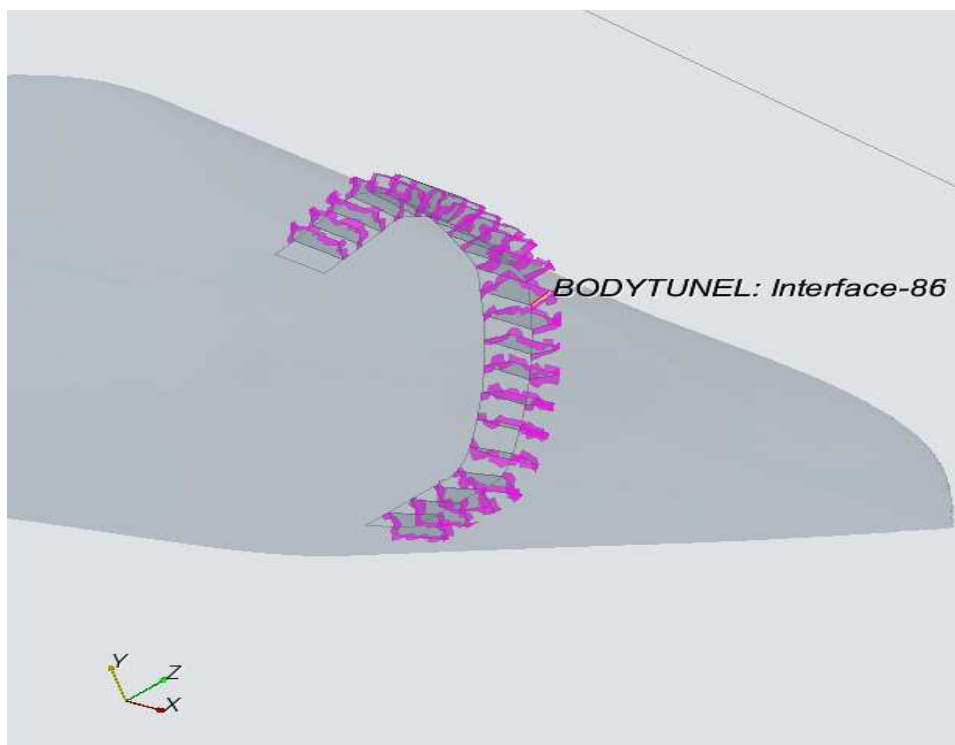


Figura 60: superfícies esparracades

ANNEX C

ANNEX C: ESTUDI DE LES GEOMETRIES

En un procés de disseny aerodinàmic es poden arribar a generar infinitat de geometries fins assolir el disseny òptim. Aquest disseny òptim queda acotat mitjançant les especificacions donades pel client i mitjançant els coneixements teòrics assolits o adquirits.

En aquest apartat es detallaran els diferents casos que s'han estudiat dividint-los en subapartats. Es mirarà en primer lloc les diferents posicions en que s'han situat els apèndixs, en el segon subapartat es mirarà els casos en que els resultats són millors respecte el cotxe sense apèndixs amb un mallat més fi, en el tercer es miraran diferents mides i diferents distàncies entre els apèndixs i per últim s'exposarà l'estudi de les diferents rugositats

C.1 ESTUDI DE LES DIFERENTS POSICIONS

Per l'estudi de les diferents posicions s'entén les diferents proves que s'han fet només variant la distància dels apèndixs respecte la part davantera del cotxe. Mantinent la mida dels apèndixs i la distància entre ells. Al final d'aquest annex hi ha una taula resum de tots els resultats igual que a la memòria.

C.1.2 PRIMERES ITERACIONS

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,015 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,015m
- Altura màxima dels elements: 0,01m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s

- Àrea: $0,3538697\text{m}^2$
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: $24 \times 5 \times 4\text{m}$
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 18 hores

Abans d'exposar els resultats obtinguts es mostraran els resultats que es van obtenir de la prova amb el cotxe sense apèndixs, figura 61, per agafar-lo com a patró respecte els altres.

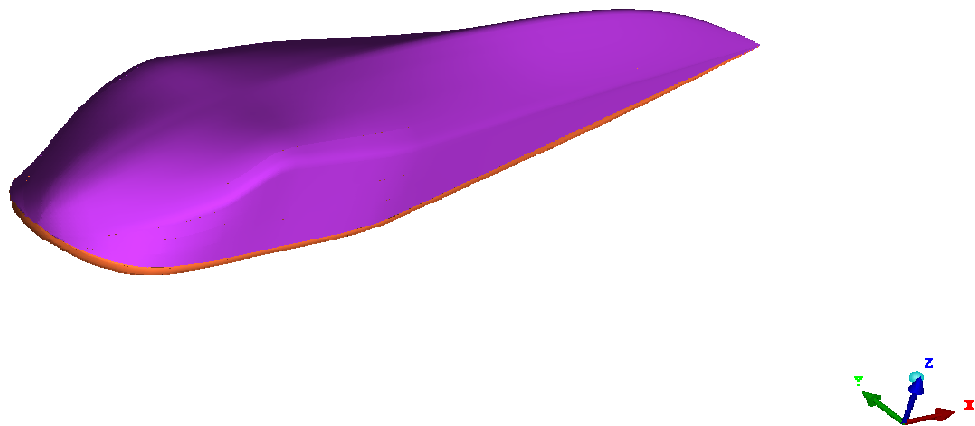


Figura 61: cotxe sense apèndixs

Aquí es mostren el resultats obtinguts amb els gràfics de C_x , figura 62 i C_L , figura 63 i les taules corresponents, Taules 3 i Taula 4.

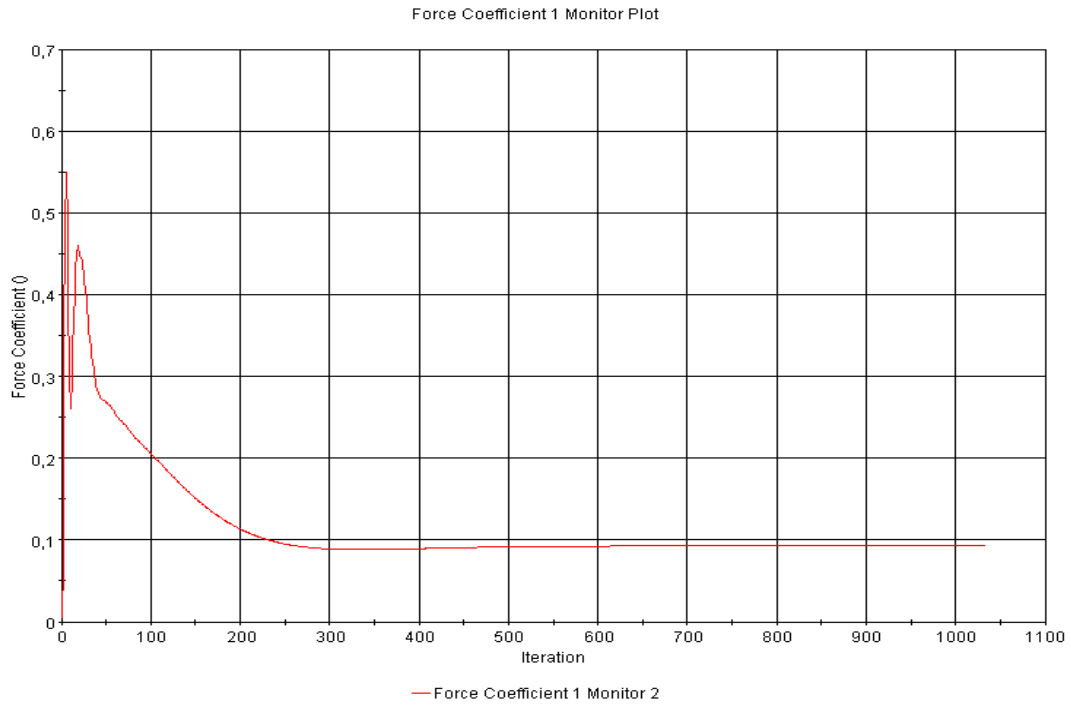


Figura 62: gràfic de l'evolució del C_x

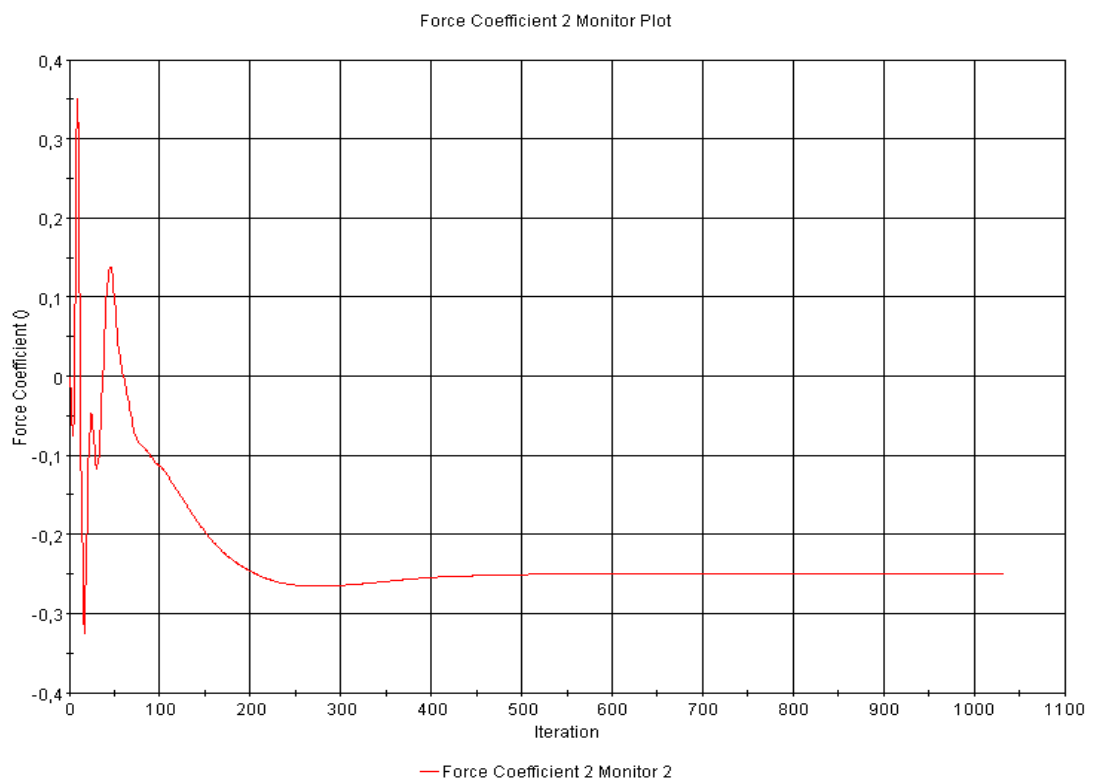


Figura 63: gràfic de l'evolució del C_L

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.005720758811	1496	0.09262347221
2	0.07059589028	1497	0.09262416512
3	0.3417734206	1498	0.09262441844
4	0.4828849435	1499	0.09262535721
5	0.549864769	1500	0.09262579679

Taula 3: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.001021276228	1496	-0.2490981966
2	-0.02736190334	1497	-0.2490980625
3	-0.0518210493	1498	-0.2490985096
4	-0.07512442023	1499	-0.2490962595
5	-0.04485078901	1500	-0.2490951866

Taula 4: taula de resultats del C_L

Per la quantitat de casos estudiats i per les petites diferències que hi ha entre ells no s'exposaran tots els gràfics ni tots els dibuixos, es mostrarà un gràfic i un dibuix, el del cas que en ha donat millor resultat, i de la resta de casos s'exposaran només els resultats.

Cas 1

Els apèndixs es troben a 1,1 metres de la punta davantera, com mostra la figura 64

Nº d'apèndixs: 23

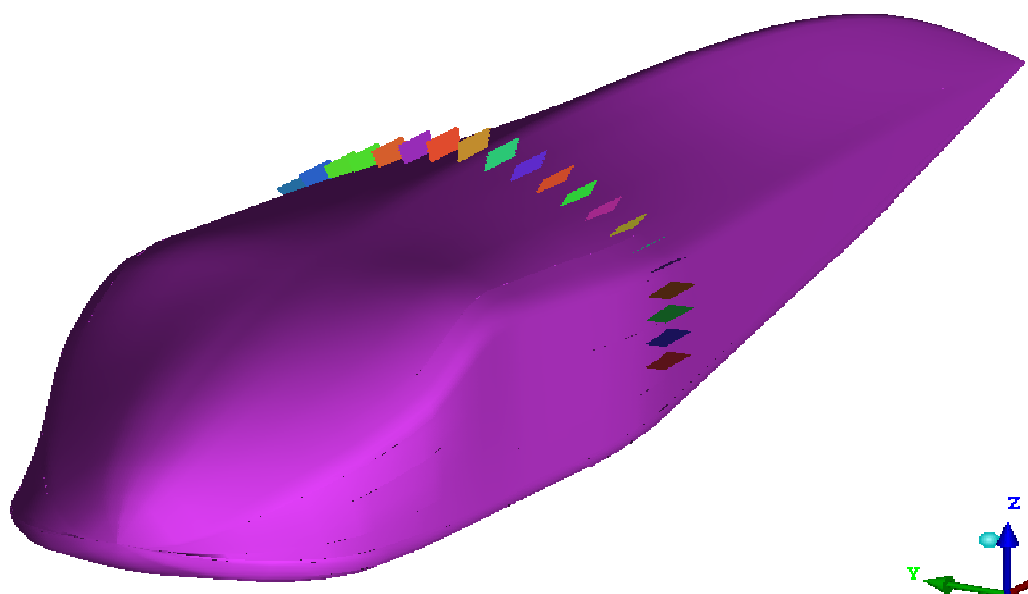


Figura 64: apèndixs a 1,1 metre de la punta

Després de realitzar la simulació, s'han obtingut els gràfics de la figura 65 i de la figura 66 i el valors numèrics de la taula 5 i la taula 6.

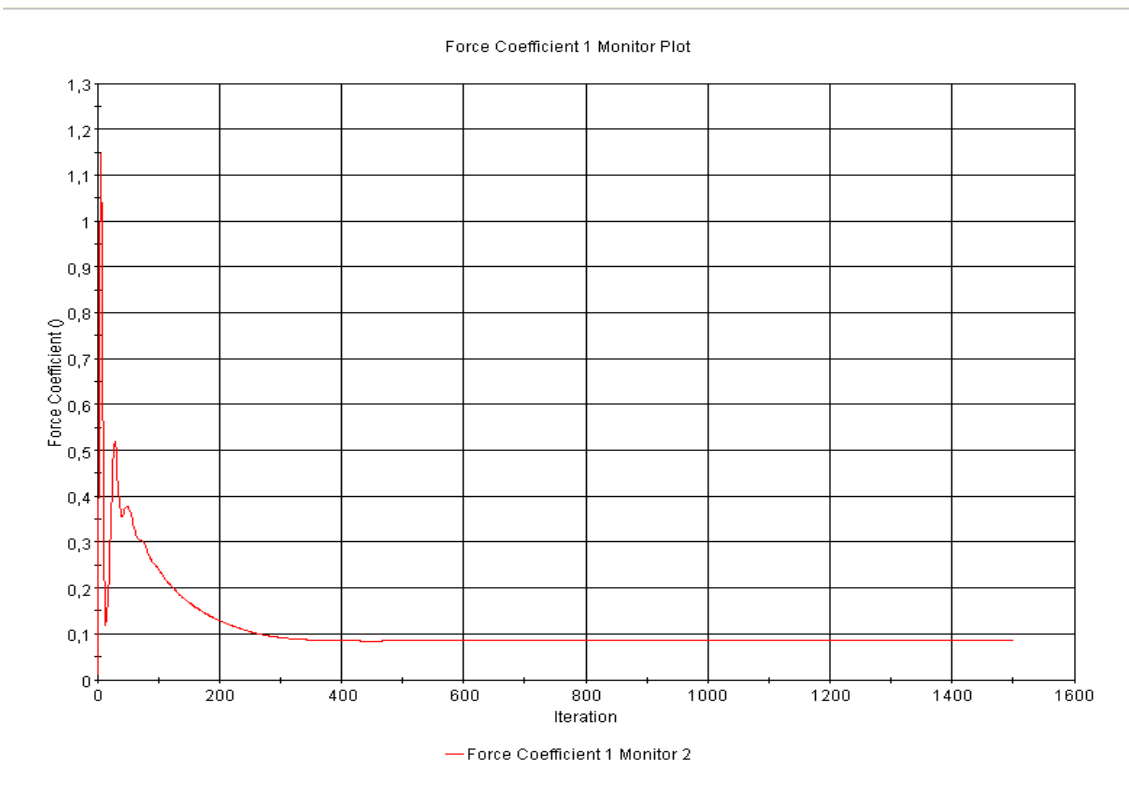


Figura 65: gràfic del C_x cas 1

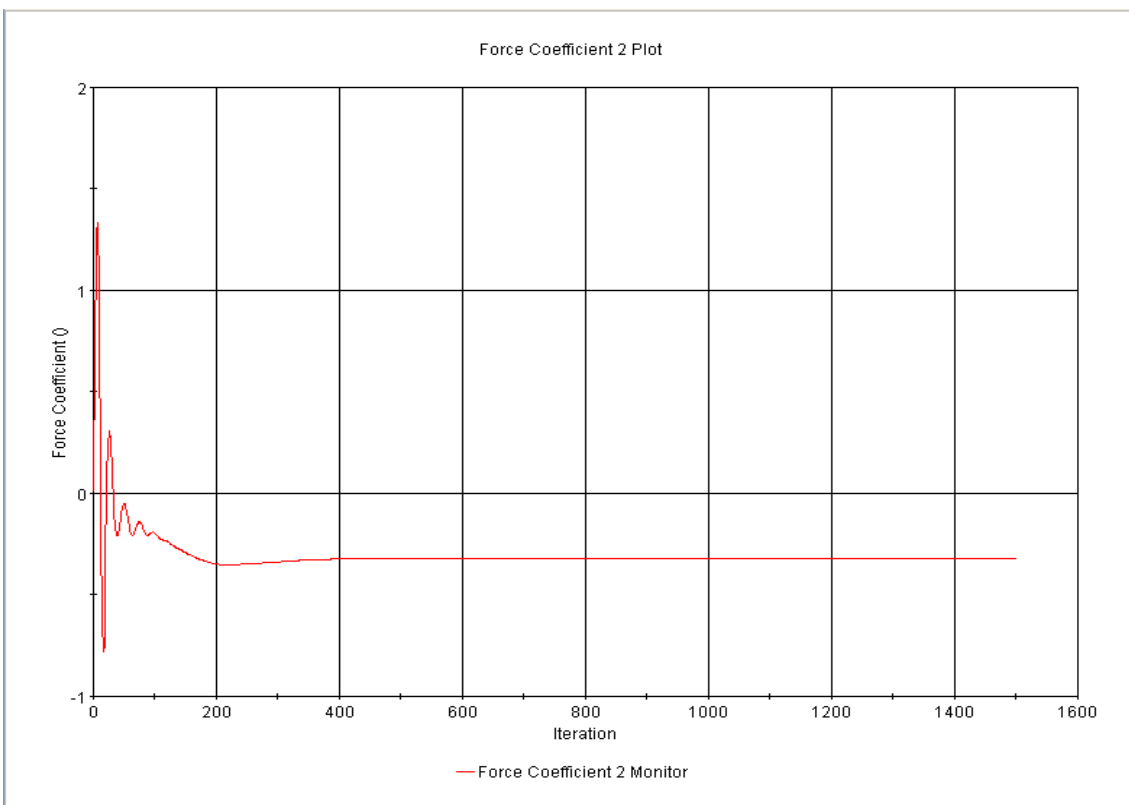


Figura 66: gràfic del C_L cas 1

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01091898978	1496	0.08510170877
2	0.2236752063	1497	0.08510150015
3	0.565890789	1498	0.08510105312
4	0.9175767899	1499	0.08510065079
5	1.081439137	1500	0.08510025591

Taula 5: taula de resultats del C_x cas 1

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007487832103	1496	-0.3208496273
2	0.220545575	1497	-0.3208493888
3	0.4909371734	1498	-0.3208489418
4	0.8567502499	1499	-0.3208494782
5	1.044206142	1500	-0.3208489716

Taula 6: taula de resultats del C_L cas 1**Cas 2**

A partir d'aquest cas els resultats s'exposaran amb ordre numèric perquè es vegi l'evolució. N^o apèndixs: 22

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 0,5 metres de la punta.

Els resultats es mostren a les taules 7 i 8

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.006095099729	1496	0.1300372332
2	0.07223021239	1497	0.1300374717
3	0.265132606	1498	0.1300375313
4	0.4470735788	1499	0.1300379336
5	0.489112615	1500	0.130038172

Taula 7: taula de resultats del C_x cas 2

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007284787484	1496	-0.3946783543
2	0.2774862647	1497	0.3946796954
3	0.7300969958	1498	-0.3946782947
4	1.100685358	1499	-0.3946805894
5	1.413618565	1500	-0.3946810663

Taula 8: taula de resultats del C_L cas 2

Cas 3

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 0,6 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 9 i 10. N^o apèndixs: 23

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.008314870298	1496	0.10771963
2	0.1882327348	1497	0.1077195406
3	0.4568070471	1498	0.1077194661
4	0.7134242058	1499	0.1077193692
5	0.8896215558	1500	0.1077192575

Taula 9: taula de resultats del C_x cas 3

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.008000764064	1496	-0.3889961243
2	0.2447070181	1497	-0.388995856
3	0.5638308525	1498	-0.3889960945
4	0.9631121159	1499	-0.388995558
5	1.297710538	1500	-0.388995856

Taula 10: taula de resultats del C_L cas 3**Cas 4**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 0,7 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 11 i 12. N^o apèndixs: 23

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.008782550693	1496	0.0973765403
2	0.1861497313	1497	0.0973765552
3	0.5162518024	1498	0.09737677127
4	0.9093285799	1499	0.09737673402
5	1.055416822	1500	0.09737677127

Taula 11: taula de resultats del C_x cas 4

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007837624289	1496	0.3388255239
2	0.2500831783	1497	-0.3388230503
3	0.5472527742	1498	-0.3388251066
4	0.9348284006	1499	-0.3388223052
5	1.292589426	1500	-0.3388236761

Taula 12: taula de resultats del C_L cas 4

Cas 5

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 0,8 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 13 i 14. N^o apèndixs: 23

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01000570506	1496	0,0.09606476128
2	0.1571244746	1497	0.09606456757
3	0.4366763234	1498	0.09606414288
4	0.6744263768	1499	0.09606382996
5	0.9186730385	1500	0.09606356174

Taula 13: taula de resultats del C_x cas 5

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.009038965218	1496	-0.3167927861
2	0.1308474541	1497	-0.316791445
3	0.3614115715	1498	-0.3167908788
4	0.6212230325	1499	-0.3167924583
5	1.024297595	1500	-0.3167935908

Taula 14: taula de resultats del C_L cas 5**Cas 6**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 0,9 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 15 i 16. N^o apèndixs: 23

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01054305118	1496	0.09501242638
2	0.1508869082	1497	0.0950120762
3	0.4204396307	1498	0.09501224011
4	0.641761601	1499	0.09501215816
5	0.9098309875	1500	0.0950121358

Taula 15: taula de resultats del C_x cas 6

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.009337439202	1496	-0.3105970323
2	0.1440713406	1497	-0.3105969727
3	0.363389641	1498	-0.310598433
4	0.6158409715	1499	-0.310598582
5	0.95643121	1500	-0.3105987608

Taula 16: taula de resultats del C_L cas 6

Cas 7

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,0 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 17 i 18. N° apèndixs: 23

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.006466250867	1496	0.09370520711
2	0.1422583461	1497	0.09370545298
3	0.5827211142	1498	0.09370550513
4	0.6718022823	1499	0.09370585531
5	0.6866207719	1500	0.09370581806

Taula 17: taula de resultats del C_x cas 7

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.005832029972	1496	-0.3075277507
2	0.2694037259	1497	-0.3075285852
3	1.053398013	1498	-0.3075277209
4	1.277846813	1499	-0.3075274527
5	1.355184793	1500	-0.3075249493

Taula 18: taula de resultats del C_L cas 7**Cas 8**

A partir d'aquest cas i durant 9 casos s'han fet simulacions cada 5cm per poder determinar amb més precisió la zona més òptima.

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,05 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 19 i 20. N° apèndixs: 23

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01009849086	1496	0.08813873678
2	0.2336467803	1497	0.08813884854
3	0.75891155	1498	0.08813878894
4	1.167977691	1499	0.08813855797
5	1.286798477	1500	0.08813858777

Taula 19: taula de resultats del C_x cas 8

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007066195365	1496	-0.3252434134
2	0.2496493161	1497	-0.3252440989
3	0.7100436687	1498	-0.3252462149
4	1.120068789	1499	-0.3252477348
5	1.455925345	1500	-0.3252491355

Taula 20: taula de resultats del C_L cas 8

El següent cas hauria de ser quan els apèndixs es troben a 1,1 metres de la punta però ja està explicat al començament

Cas 9

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,15 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 21 i 22. N° apèndixs: 23

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.007648132276	1496	0.08601144296
2	0.1235936657	1497	0.08601132375
3	0.450437218	1498	0.08601152492
4	0.656468451	1499	0.08601145041
5	0.774430573	1500	0.08601148021

Taula 21: taula de resultats del Cx cas 9

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.004140925594	1496	-0.3049487174
2	0.1291068494	1497	-0.3049481213
3	0.4629344642	1498	-0.3049488068
4	0.6329872608	1499	-0.3049480319
5	0.7393837571	1500	-0.3049494028

Taula 22: taula de resultats del lift cas 9

Cas 10

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,2 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 23 i 24. N° apèndixs: 22

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.009919434786	1496	0.09265122563
2	0.255766809	1497	0.09265143424
3	0.8556491137	1498	0.09265127778
4	1.295128226	1499	0.0926515907
5	1.395594835	1500	0.09265193343

Taula 23: taula de resultats del Cx cas 10

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.005092072766	1496	-0.3145287931
2	0.1813485771	1497	-0.3145278692
3	0.6162319183	1498	-0.3145284653
4	1.041253209	1499	-0.3145277798
5	1.238875151	1500	-0.3145282567

Taula 24: taula de resultats del C_L cas 10

Cas 11

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,25 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 25 i 26. N^o apèndixs: 22

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01113935653	1496	0.08899758756
2	0.2022764683	1497	0.08899765462
3	0.6200051308	1498	0.08899742365
4	1.123415589	1499	0.08899751306
5	1.358063698	1500	0.08899748325

Taula 25: taula de resultats del C_x cas 11

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.006488675717	1496	-0.3071082532
2	0.1967816651	1497	-0.307107687
3	0.3996306658	1498	-0.3071077168
4	0.8012520075	1499	-0.3071064949
5	1.077399492	1500	-0.3071065545

Taula 26: taula de resultats del C_L cas 11**Cas 12**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,3 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 27 i 28. N^o apèndixs: 21

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01076416206	1496	0.09024762362
2	0.2757768333	1497	0.09024719149
3	0.8844379187	1498	0.09024769068
4	1.307480693	1499	0.09024756402
5	1.4903754	1500	0.09024836868

Taula 27: taula de resultats del C_x cas 12

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.005832155701	1496	-0.3024921119
2	0.2101640403	1497	-0.3024913371
3	0.5654960275	1498	-0.3024916053
4	0.8928964138	1499	-0.3024916351
5	1.184298873	1500	-0.3024914563

Taula 28: taula de resultats del C_L cas 12

Cas 13

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,35 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 29 i 30. N^o apèndixs: 21

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.007660883944	1496	0.09016660601
2	0.1165375337	1497	0.09016615897
3	0.4025803208	1498	0.09016620368
4	0.6178448796	1499	0.09016563743
5	0.7553566098	1500	0.09016581625

Taula 29: taula de resultats del C_x cas 13

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.003396069165	1496	-0.2845745981
2	0.1030931771	1497	-0.2845748663
3	0.3361268342	1498	-0.2845736444
4	0.477003485	1499	-0.2845728397
5	0.5898008347	1500	-0.2845711708

Taula 30. taula de resultats del C_L cas 13**Cas 14**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,4 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 31 i 32 . N^o apèndixs: 19

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.0017660683944	1496	0,09190676
2	0.1365355337	1497	0,09190694
3	0.4225803208	1498	0,09190712
4	0.6178446796	1499	0,0919073
5	0.7853569098	1500	0,09190748

Taula 31: taula de resultats del C_x cas 14

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.004396065165	1496	-0,30033448
2	0.1230956771	1497	-0,30033281
3	0.35619658342	1498	-0,30033115
4	0.5077053485	1499	-0,30032948
5	0.59896208347	1500	-0,30032781

Taula 32: taula de resultats del C_L cas 14

Cas 15

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,45 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 33 i 34. N° apèndixs: 19

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.007607739884	1496	0.09190151095
2	0.1209092289	1497	0.09190157056
3	0.4355245531	1498	0.0919014439
4	0.6430704594	1499	0.09190162271
5	0.7713916302	1500	0.09190154821

Taula 33: taula de resultats del Cx cas 15

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.004396065165	1496	-0,30033448
2	0.1230956771	1497	-0,30033281
3	0.35619658342	1498	-0,30033115
4	0.5077053485	1499	-0,30032948
5	0.59896208347	1500	-0,30032781

Taula 34: taula de resultats del C_L cas 15**Cas 16**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,5 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 35 i 36. N° apèndixs: 19

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01122877095	1496	0.09276154637
2	0.2294633687	1497	0.09276266396
3	0.5945289135	1498	0.09276151657
4	1.018558621	1499	0.09276251495
5	1.288763046	1500	0.09276118129

Taula 35: taula de resultats del Cx cas 16

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.004998577293	1496	-0.2885457277
2	0.1717285067	1497	-0.2885458767
3	0.3697765768	1498	-0.2885442376
4	0.6155365705	1499	-0.2885439396
5	0.846947968	1500	-0.2885422707

Taula 36: taula de resultats del C_L cas 16

Cas 17

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,6 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 37 i 38. N^o apèndixs: 19

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01077668369	1496	0.09332540631
2	0.2700391412	1497	0.09332551807
3	0.8209781647	1498	0.09332562238
4	1.2416749	1499	0.09332597256
5	1.439424276	1500	0.09332589805

Taula 37: taula de resultats del C_x cas 17

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.004044114146	1496	-0.2821448147
2	0.1620975584	1497	-0.2821454704
3	0.4534289837	1498	-0.2821451724
4	0.7357318401	1499	-0.2821454108
5	0.9933585525	1500	-0.2821446359

Taula 38: taula dels resultats del C_L cas 17**Cas 18**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,7 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 39 i 40. N^o apèndixs: 19

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.007486972958	1496	0.09361398965
2	0.124814257	1497	0.09361398965
3	0.4745487869	1498	0.09361360967
4	0.6413142681	1499	0.09361341596
5	0.7361572385	1500	0.09361291677

Taula 39: taula de resultats del C_x cas 18

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.00213403115	1496	-0.2632266879
2	0.06673468649	1497	-0.2632257938
3	0.2651907504	1498	-0.2632238269
4	0.3966617286	1499	-0.263222158
5	0.4916867018	1500	-0.263219893

Taula 40: taula de resultats del C_L cas 18

Cas 19

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,8 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 41 i 42. N^o apèndixs: 19

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.008854386397	1496	0.09549385309
2	0.08905299753	1497	0.09549247473
3	0.2312144041	1498	0.0954907462
4	0.4369987845	1499	0.09548854828
5	0.6444779038	1500	0.09548661858

Taula 41: taula de resultats del C_x cas 19

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.00345282699	1496	-0.2553885877
2	0.05541230366	1497	-0.2553926706
3	0.1273989379	1498	-0.2553962171
4	0.2549335361	1499	-0.2553993464
5	0.3945108056	1500	-0.2553988099

Taula 42: taula de resultats del C_L cas 19**Cas 20**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,9 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 43 i 44. N^o apèndixs: 19

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.007569812238	1496	0.0951159969
2	0.1249735504	1497	0.09511604905
3	0.4589045048	1498	0.09511632472
4	0.5905606747	1499	0.09511630982
5	0.6927802563	1500	0.09511625767

Taula 43: taula de resultats del C_x cas 20

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.002460164716	1496	-0.2577966452
2	0.07305922359	1497	-0.2577975988
3	0.2594451904	1498	-0.2578002214
4	0.3634505868	1499	-0.2578005791
5	0.4574454725	1500	-0.2578022182

Taula 44: taula de resultats del C_L cas 20

Cas 21

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 2,0 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 45 i 46. N^o apèndixs: 13

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	CX
1	0.01055410411	1496	0,09436444
2	0.2051381469	1497	0,09436448
3	0.5613324046	1498	0,09436452
4	1.001707673	1499	0,09436455
5	1.245766997	1500	0,09436459

Taula 45: taula de resultats del Cx cas 21

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.002503779717	1496	-0,25713451
2	0.08898695558	1497	-0,25713201
3	0.1935944706	1498	-0,25712951
4	0.3270142674	1499	-0,257127
5	0.4630508721	1500	-0,2571245

Taula 46: taula de resultats del C_L cas 21**Cas 22**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 2,1 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 47 i 48. N^o apèndixs: 13

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01049807481	1496	0.09402074665
2	0.2219713628	1497	0.09402057528
3	0.5911256075	1498	0.09402047098
4	0.9920805097	1499	0.09402046353
5	1.223245621	1500	0.09402047843

Taula 47: taula de resultats del Cx cas 22

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.00192832062	1496	-0.2564388812
2	0.07701680064	1497	-0.2564406097
3	0.1554572433	1498	-0.2564429939
4	0.2865124345	1499	-0.2564447224
5	0.396555692	1500	-0.2564467788

Taula 48: taula de resultats del C_L cas 22

Cas 23

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 2,2 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 49 i 50. N° apèndixs: 9

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.007116626948	1496	0.09343004972
2	0.1187328473	1497	0.09343052655
3	0.4181110561	1498	0.09343054891
4	0.6247105002	1499	0.09342993051
5	0.734175086	1500	0.09343013167

Taula 49: taula de resultats del Cx cas 23

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	5.22622955E-4	1496	-0.2387779951
2	0.03551079333	1497	-0.2387784272
3	0.1405385882	1498	-0.2387791574
4	0.1850800961	1499	-0.238780424
5	0.243905291	1500	-0.2387804389

Taula 50: taula de resultats del C_L cas 23**Cas 24**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 2,3 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 51 i 52 . N° apèndixs: 9

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01035904232	1496	0.09438277036
2	0.2248698175	1497	0.09438305348
3	0.5250731111	1498	0.09438303858
4	0.9463220239	1499	0.09438311309
5	1.230346084	1500	0.09438316524

Taula 51: taula de resultats del Cx cas 24

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	9.12471849E-4	1496	-0.2449348718
2	0.0369431749	1497	-0.2449354529
3	0.08693993092	1498	-0.244934842
4	0.2100922912	1499	-0.2449351996
5	0.2844831049	1500	-0.2449341267

Taula 52: taula de resultats del C_L cas 24

Cas 25

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 2,4 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 53 i 54. N° apèndixs: 9

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01049807481	1496	0,09861328
2	0.2219713628	1497	0,09861333
3	0.5911256075	1498	0,09861339
4	0.9920805097	1499	0,09861344
5	1.223245621	1500	0,09861349

Taula 53: taula de resultats del Cx cas 25

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.00192832062	1496	-0,27141064
2	0.07701680064	1497	-0,27140957
3	0.1554572433	1498	-0,2714085
4	0.2865124345	1499	-0,27140742
5	0.396555692	1500	-0,27140635

Taula 54: taula de resultats del C_L cas 25**Cas 26**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 2,5 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 55 i 56. N° apèndixs: 9

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01018772647	1496	0.09402074665
2	0.226697728	1497	0.09402057528
3	0.5878999829	1498	0.09402047098
4	1.003813624	1499	0.09402046353
5	1.111957431	1500	0.09402047843

Taula 55: taula de resultats del Cx cas 26

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	-2.776369365E-5	1496	-0.2564388812
2	0.008586957119	1497	-0.2564406097
3	0.00693231402	1498	-0.2564429939
4	0.08007632941	1499	-0.2564447224
5	0.1266613901	1500	-0.2564467788

Taula 56: taula de resultats del C_L cas 26

C.1.1.1 RESUM DE RESULTATS

Per veure amb més claredat els resultats, si un cas comporta una millora o una pèrdua s'ha la taula següent.

- Taula que mostra la relació del drag i lift, els valors inferiors a 100 milloren la geometria inicial. Taula 56:

DISTÀNCIA RESPECTE LA PART DAVANTERA (m)	DRAG	LIFT	RELACIÓ DRAG %	RELACIÓ LIFT %
Cotxe sense apèndixs	0,0926258	-0,24909519	100	100
0,5	0,13003817	-0,39468107	140,390881	158,445882
0,6	0,10771932	-0,38899171	116,295158	156,161875
0,7	0,09737698	-0,33882368	105,129438	136,021768
0,8	0,09606335	-0,31679529	103,711222	127,178407
0,9	0,09501214	-0,31059876	102,576322	124,690792
1	0,09370582	-0,30752495	101,166005	123,456801
1,05	0,08813859	-0,32524914	95,1555515	130,572228
1,1	0,08510026	-0,32084897	91,8753294	128,805769
1,15	0,08601148	-0,3049494	92,8590989	122,42284
1,2	0,09265193	-0,31452826	100,028217	126,2683
1,25	0,08899748	-0,30710655	96,0828261	123,288835
1,3	0,09024837	-0,30249146	97,4332981	121,436091
1,35	0,09016582	-0,28457117	97,3441734	114,241939
1,4	0,09190748	-0,30032781	99,2244947	120,567487
1,45	0,09190155	-0,28055409	99,2180919	112,629268
1,5	0,09276118	-0,28854227	100,146163	115,836149
1,6	0,0933259	-0,28214464	100,755838	113,267799
1,7	0,09361292	-0,26321989	101,065707	105,670405
1,8	0,09548662	-0,25539881	103,08858	102,530608
1,9	0,09511626	-0,25780222	102,688734	103,495464
2	0,09436459	-0,2571245	101,877223	103,223392
2,1	0,09402048	-0,25644678	101,505716	102,951318
2,2	0,09343013	-0,23878044	100,86837	95,859114
2,3	0,09438317	-0,24493413	101,897278	98,3295302
2,4	0,09861349	-0,27140635	106,464391	108,956883
2,5	0,10284381	-0,29787856	111,031494	119,584231

Taula 56: Taula de relació de C_x i C_L en %

A continuació es mostren els gràfics de l'evolució del C_x i del C_L en les diferents posicions. Figura 66 i Figura 67

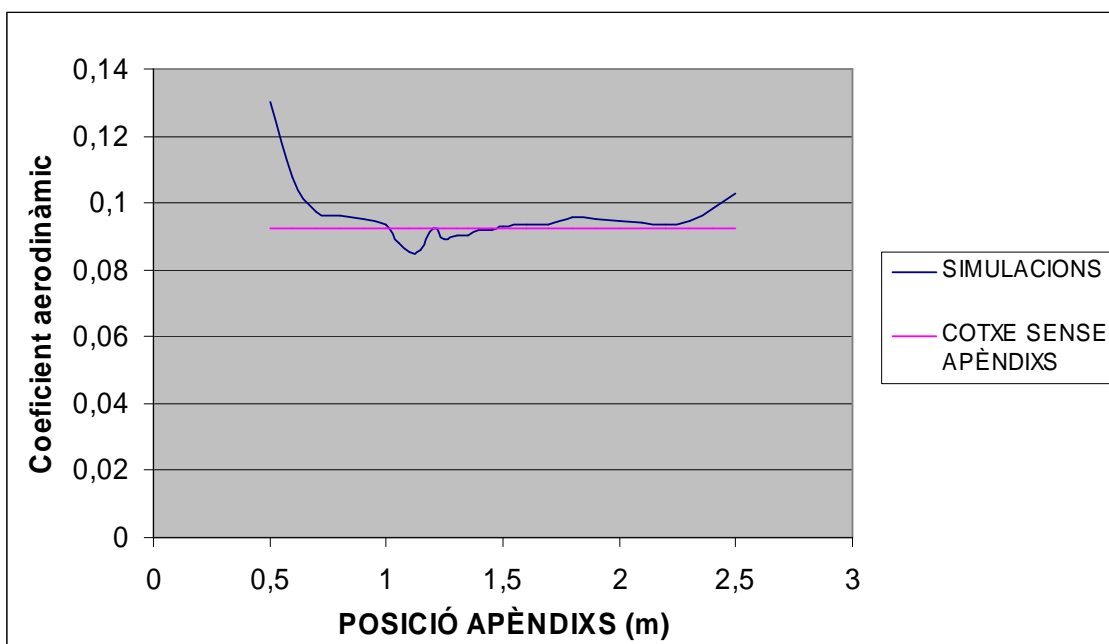


Figura 66: Evolució del C_x

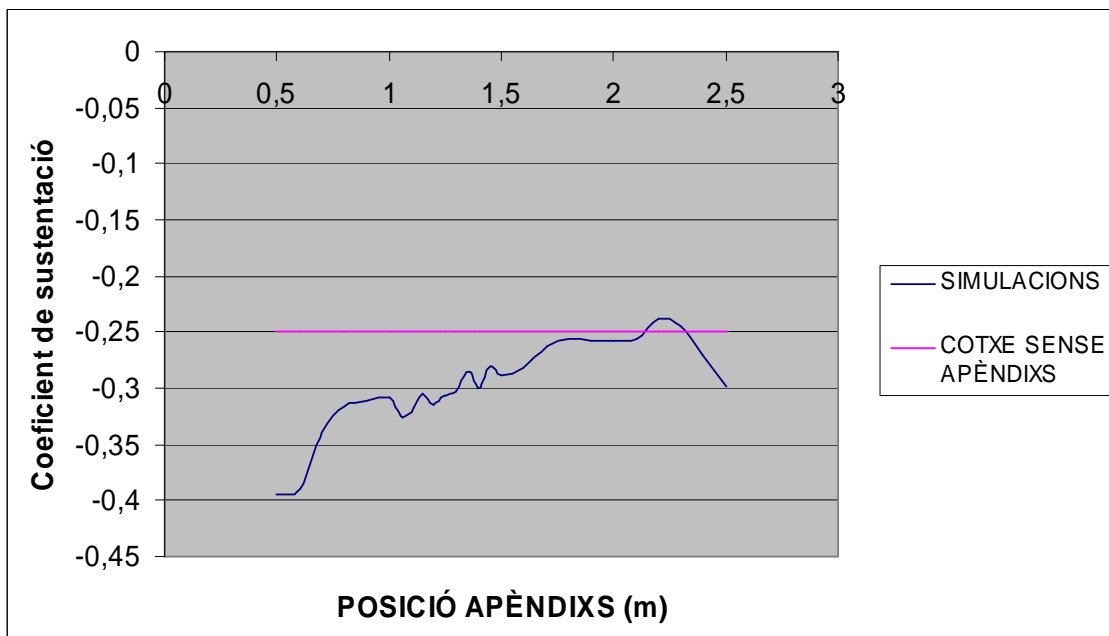


Figura 67: Evolució del C_L

En aquests resultats es pot veure que a la zona entre 1 i 1,5, la que s'ha mirat amb més precisió és a la zona a on hi ha una major disminució del C_x .

Pel que fa al C_L , ens interessa que sigui el més proper a 0 possible, a les zones a on més disminueix el C_x el C_L ha augmentat. Més endavant es farà un estudi més precís de l'efecte d'aquest augment del C_L .

C.1.2 REFINAMENT DE LA MALLA

S'ha fet un estudi més detallat dels casos en que els resultats de drag eren millors que en el cas del cotxe sense apèndixs.

S'han considerat els casos que van des de 1 metre de la punta fins a 1,5 metres de la punta amb intervals de 5cm. I amb un mallat de 10mm a la superfície del cotxe.

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,005m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements: 2.000.000

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores

Com en el cas anterior primer s'ha fet una prova amb aquest mallat en el cotxe sense apèndixs per tenir un patró.

Aquí es mostren el resultats obtinguts amb els gràfics de C_x , figura 68 i C_L , figura 69 i les taules corresponents, Taules 57 i Taula 58.

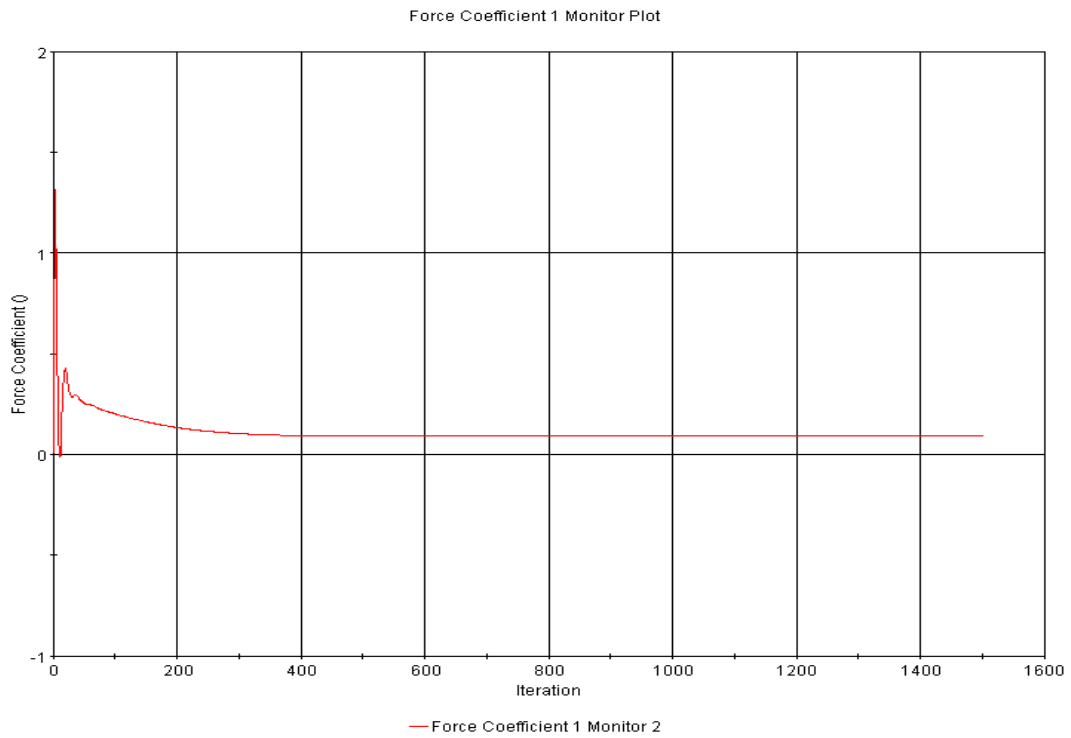


Figura 68: evolució del drag amb mallat de 10mm

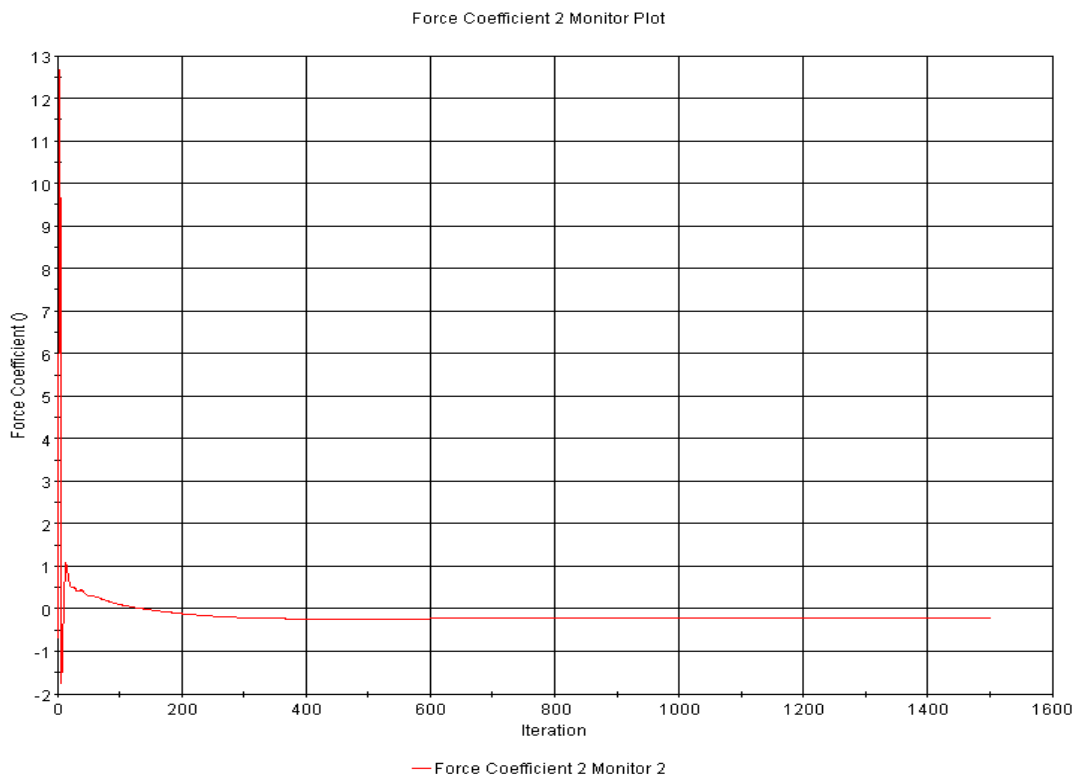


Figura 69: evolució del lift amb el mallat de 10mm

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.005720758811	1496	0.09142186493
2	0.07059589028	1497	0.09142201394
3	0.3417734206	1498	0.09142208099
4	0.4828849435	1499	0.09142219275
5	0.549864769	1500	0.09142207354

Taula 57: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.001021276228	1496	-0.2301477641
2	-0.02736190334	1497	-0.2301490456
3	-0.0518210493	1498	-0.2301485986
4	-0.07512442023	1499	-0.230146423
5	-0.04485078901	1500	-0.2301439643

Taula 58: taula de resultats del C_L

Per la quantitat de casos estudiats i per les petites diferències que hi ha entre ells no s'exposaran tots els gràfics ni tots els dibuixos, es mostrarà un gràfic i un dibuix, el del cas que en ha donat millor resultat, i de la resta de casos s'exposaran només els resultats.

Cas 1

Com a primer cas es ficarà el que ha donat un millor resultat, el de a 1,1 metres de la punta.

Després de realitzar la simulació, s'han obtingut els gràfics de la figura 70 i de la figura 71 i el valors numèrics de la taula 59 i la taula 60.

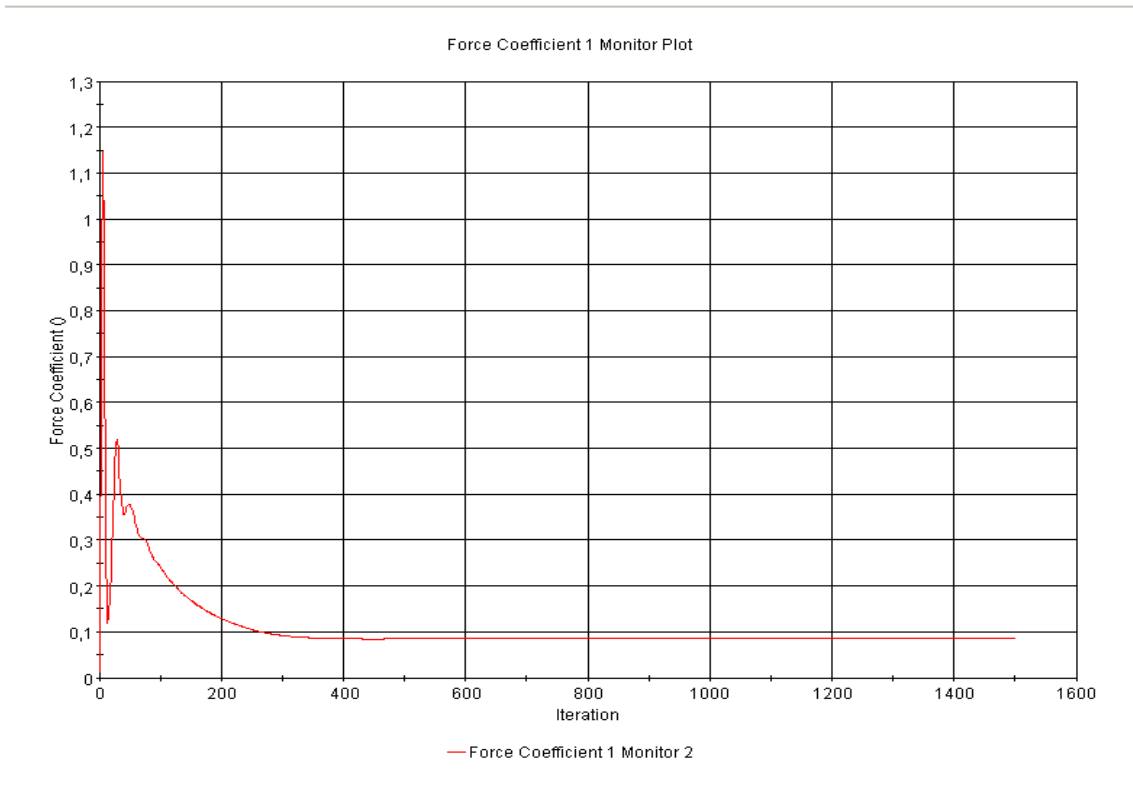


Figura 70: gràfic de l'evolució del C_x cas 1

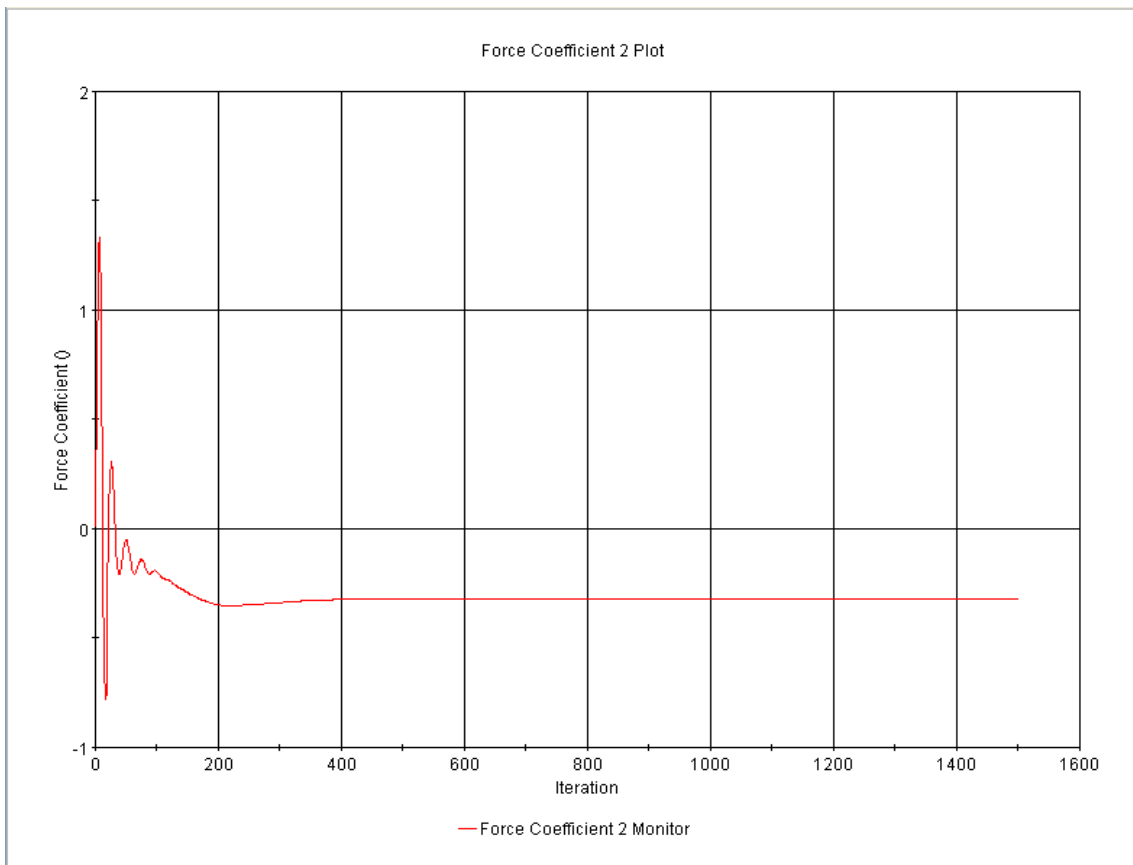


Figura 71: gràfic de l'evolució del C_L cas 1

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01215050742	1496	0.08285692334
2	0.6571973562	1497	0.08285713941
3	1.666223407	1498	0.08285708725
4	1.551540732	1499	0.08285719156
5	1.325507879	1500	0.08285696805

Taula 59: taula de resultats del C_x cas 1

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.009111795574	1496	-0.2928266823
2	0.7804989815	1497	-0.2928268909
3	7.645257473	1498	-0.2928285897
4	7.867917061	1499	-0.2928293645
5	6.880336285	1500	-0.2928318381

Taula 60: taula de resultats del C_L cas 1

Cas 2

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,0 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 61 i 62

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.010414836	1496	0.09111466259
2	0.482988894	1497	0.09111467004
3	1.338032484	1498	0.09111464769
4	1.199297071	1499	0.09111466259
5	1.010376453	1500	0.09111458063

Taula 61: taula de resultats del C_x cas 2

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.009101178497	1496	-0.2906275094
2	0.630559206	1497	-0.2906271219
3	10.08685207	1498	-0.2906263471
4	9.739510536	1499	-0.2906254828
5	8.082084656	1500	-0.2906253934

Taula 62: taula de resultats del C_L cas 2

Cas 3

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,05 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 63 i 64

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01129872724	1496	0.08623749763
2	0.733684957	1497	0.08623738587
3	1.569765687	1498	0.08623772115
4	1.393563509	1499	0.08623757958
5	1.159414172	1500	0.08623779565

Taula 63: taula de resultats del C_x cas 3

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.008164410479	1496	-0.2970547378
2	0.9196586013	1497	-0.2970554829
3	14.02480412	1498	-0.2970550358
4	13.6052618	1499	-0.2970546186
5	10.27878571	1500	-0.2970546484

Taula 64: taula de resultats del C_L cas 3**Cas 4**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,15 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 65 i 66

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.008439321071	1496	0.08326226473
2	0.08960992098	1497	0.08326226473
3	0.312451154	1498	0.08326242864
4	0.5107579231	1499	0.08326217532
5	0.6791375279	1500	0.08326247334

Taula 65: taula de resultats del C_x cas 4

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.004976047669	1496	-0.29025352
2	0.09947044402	1497	-0.2902497351
3	0.3121771216	1498	-0.2902484238
4	0.4624615312	1499	-0.2902444005
5	0.5740673542	1500	-0.2902429998

Taula 66: taula de resultats del C_L cas 4

Cas 5

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,2 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 67 i 68

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01247744728	1496	0.08564585447
2	1.010221243	1497	0.08564629406
3	1.587437391	1498	0.08564657718
4	1.535049081	1499	0.0856468603
5	1.411300778	1500	0.08564707637

Taula 67:taula de resultats del Cx cas 5

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007404709235	1496	-0.2849726975
2	0.8929716349	1497	-0.2849726379
3	0,12.43916607	1498	-0.2849743962
4	12.10150528	1499	-0.2849739194
5	8.644477844	1500	-0.2849746346

Taula 68: taula de resultats del C_L cas 5**Cas 6**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,25 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 69 i 70

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01277182531	1496	0.08771131933
2	0.7938776016	1497	0.08771115541
3	1.581643462	1498	0.08771067858
4	1.5302068	1499	0.0877102837
5	1.364799857	1500	0.08770996332

Taula 69: taula de resultats del Cx cas 6

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007427917793	1496	-0.2781753242
2	0.7526245713	1497	-0.2781749666
3	8.820134163	1498	-0.278175205
4	8.756285667	1499	-0.2781755328
5	6.949424744	1500	-0.2781755626

Taula 70: taula de resultats del C_L cas 6

Cas 7

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,3 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 71 i 72

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.0124316467	1496	0.08767851442
2	0.8899914622	1497	0.0876788646
3	2.040348291	1498	0.0876783058
4	1.845513701	1499	0.08767866343
5	1.548420072	1500	0.08767828345

Taula 71: taula de resultats del Cx cas 7

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007427917793	1496	-0.2781753242
2	0.7526245713	1497	-0.2781749666
3	8.820134163	1498	-0.278175205
4	8.756285667	1499	-0.2781755328
5	6.949424744	1500	-0.2781755626

Taula 72: taula de resultats del C_L cas 7**Cas 8**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,35 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 73 i 74

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.008403954096	1496	0.08968103677
2	0.1048499346	1497	0.08968117833
3	0.3068874776	1498	0.08968151361
4	0.501517415	1499	0.08968193829
5	0.6492186189	1500	0.08968214691

Taula 73: taula de resultats del Cx cas 8

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.003956055269	1496	-0.2697502077
2	0.100734964	1497	-0.2697505653
3	0.2632380128	1498	-0.2697497606
4	0.4112904072	1499	-0.2697504163
5	0.5364688039	1500	-0.269748807

Taula 74: taula de resultats del C_L cas 8

Cas 9

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,4 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 75 i 76

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01320617273	1496	0.08937252313
2	0.4635808766	1497	0.08937231451
3	1.445835471	1498	0.08937205374
4	1.429180026	1499	0.08937211335
5	1.315284133	1500	0.08937211335

Taula 75: taula de resultats del Cx cas 9

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.006581455003	1496	-0.2711463273
2	0.3060698509	1497	-0.2711459994
3	5.162204742	1498	-0.2711440623
4	5.105978012	1499	-0.2711451948
5	4.420641899	1500	-0.2711462379

Taula 76: taula de resultats del C_L cas 9**Cas 10**

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,45 metres de la punta. Els resultats es mostren a les taules 77 i 78

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.008447739296	1496	0.0910935998
2	0.09830950946	1497	0.09109351039
3	0.3148438036	1498	0.0910935998
4	0.5159265995	1499	0.09109333158
5	0.6683576107	1500	0.09109306335

Taula 77: taula de resultats del Cx cas 10

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.003366080811	1496	-0.2681033909
2	0.07916691154	1497	-0.2681007385
3	0.2020264417	1498	-0.2680988908
4	0.335831821	1499	-0.2680984139
5	0.4598995447	1500	-0.2680976987

Taula 78: taula de resultats del C_L cas 10

Cas 11

En aquest cas s'ha estudiat amb una posició dels apèndixs de 1,5 metres de la punta.
Els resultats es mostren a les taules 79 i 80

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01266936492	1496	0.09111771733
2	0.746696651	1497	0.09111705422
3	1.815433025	1498	0.09111702442
4	1.688731909	1499	0.09111643583
5	1.460990548	1500	0.0911160931

Taula 79: taula de resultats del C_x cas 11

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.005298786797	1496	-0.2618237436
2	0.3909742832	1497	-0.2618255913
3	9.197101593	1498	-0.261826843
4	8.941745758	1499	-0.2618274689
5	7.324244976	1500	-0.2618270814

Taula 80: taula de resultats del C_L cas 11

C.1.2.1 RESUM DE RESULTATS

Per veure amb més claredat si un cas comporta una millora o una pèrdua s'ha creat la taula següent:

- Taula que mostra la relació del Drag, els valors inferiors a 100 milloren la geometria inicial. Taula 81:

DISTÀNCIA RESPECTE LA PART DAVANTERA (m)	C _x	C _L	RELACIÓ C _x %	RELACIÓ C _L %
Cotxe sense apèndixs	0.09142207	-0.23014396	100	100
1	0.09111458	-0.29062539	99.6636557	126.279824
1,05	0.0862378	-0.29705465	94.329293	129.073404
1,1	0.08285697	-0.29283184	90.63125	127.238548
1,15	0.08326247	-0.290243	91.074803	126.11367
1,2	0.08564708	-0.28497463	93.6831479	123.824509
1,25	0.08770996	-0.27817556	95.9395909	120.87024
1,3	0.08767828	-0.27817556	95.9049386	120.87024
1,35	0.08968215	-0.26974881	98.09682	117.208725
1,4	0.08937211	-0.27114624	97.7576967	117.815924
1,45	0.09109306	-0.2680977	99.6401195	116.491301
1,5	0.09111609	-0.26182708	99.6653101	113.766651

Taula 81: Taula de relació de C_x i C_L en %

A continuació es mostren els gràfics de l'evolució del drag i del lift en les diferents posicions. Figura 72 i figura 73.

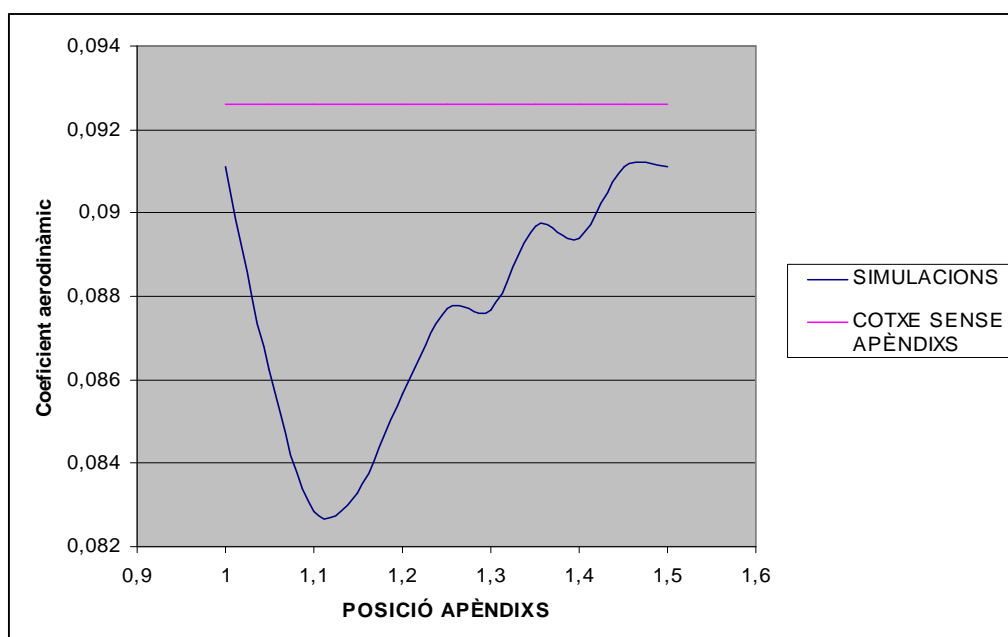


Figura 72: evolució del Cx

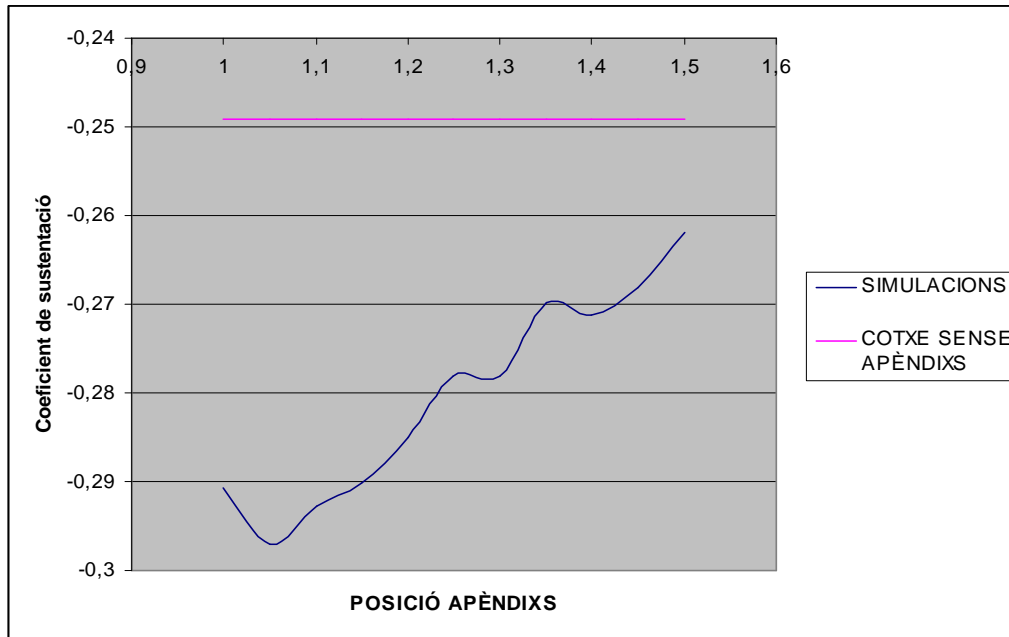


Figura 73: evolució del C_L

Com a conclusió d'aquests resultats es pot observar que amb el refinament de mallat es segueix el mateix patró que a les proves de l'apartat anterior. Aquest refinament servirà però per aconseguir uns resultats més precisos per poder calcular el guany de manera més precisa.

C.3 MIDES I COL·LOCACIÓ DELS APÈNDIXS

Un cop s'ha aconseguit la posició òptima pels apèndixs, ara es passa a fer un estudi per diferents mides dels apèndixs i per diferent col·locació d'aquests. Per a diferent col·locació s'entén la distància que hi ha entre ells. Fins ara s'han fet totes les simulacions mantenint la mida de 5x10cm. dels apèndixs i la distància de 5cm entre ells.

Cas 1

En aquest cas s'ha estudiat una mida dels apèndixs de 4 x 10 cm. figura 74 i figura 75. Els resultats es mostren a les taules 81 i 82. Cal esmentar que a la realitat l'apèndixs tindrà forma de "T" invertida i que s'enganxarà a la carrosseria per les ales.



Figura 74: Apèndixs de 4 x 10 cm

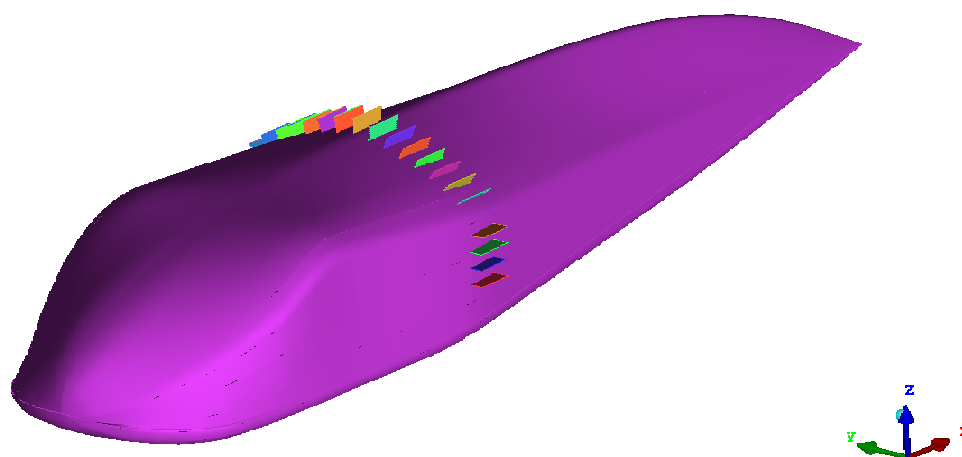


Figura 75: Cotxe amb apèndixs de 4 x 10 cm.

Estudi amb mallat de 15mm a la superfície:

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,015 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,015m
- Altura màxima dels elements: 0,01m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 18 hores

Aquí es mostren el resultats obtinguts a, taula 81 i taula 82.

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0,01059807	1496	0,08084571
2	0,26309761	1497	0,08084584
3	0,86574382	1498	0,08084609
4	1,22370219	1499	0,08084653
5	1,40003014	1500	0,08084664

Taula 81: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007014615927	1496	-0.2836568952
2	0.237925753	1497	-0.283655256
3	0.7448781133	1498	-0.2836529315
4	1.229257226	1499	-0.2836513817
5	1.545971274	1500	-0.283649236

Taula 82: taula de resultats del C_L

Estudi amb mallat de 10mm a la superfície

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,005m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid

- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taules 83 i taula 84.

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01216657273	1496	0.08076824248
2	0.7161631584	1497	0.08076818287
3	1.445649981	1498	0.08076823503
4	1.38170886	1499	0.08076816052
5	1.260854959	1500	0.08076853305

Taula 83: taula de resultats del C_x

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.008422718383	1496	-0.282384038
2	0.8296883702	1497	-0.2823829651
3	9.979261398	1498	-0.2823849022
4	10.04668713	1499	-0.2823846042
5	8.4731493	1500	-0.2823856175

Taula 84: taula de resultats del C_L

Cas 2

En aquest cas s'ha estudiat una mida dels apèndixs de 6 x 10 cm. figura 76 i figura 77.

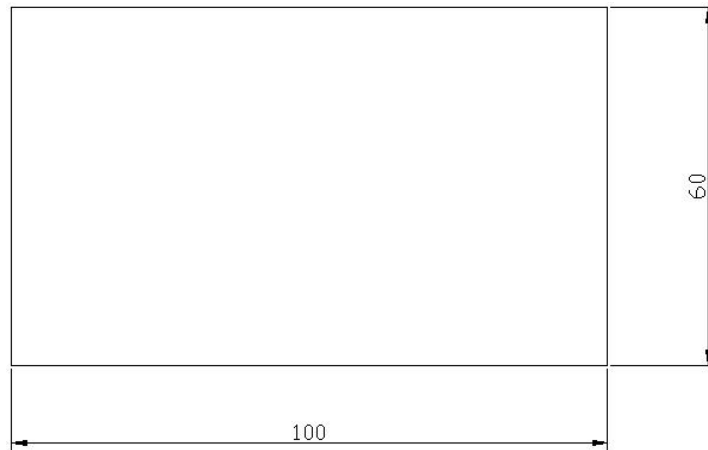


Figura 76: mides de l'apèndix

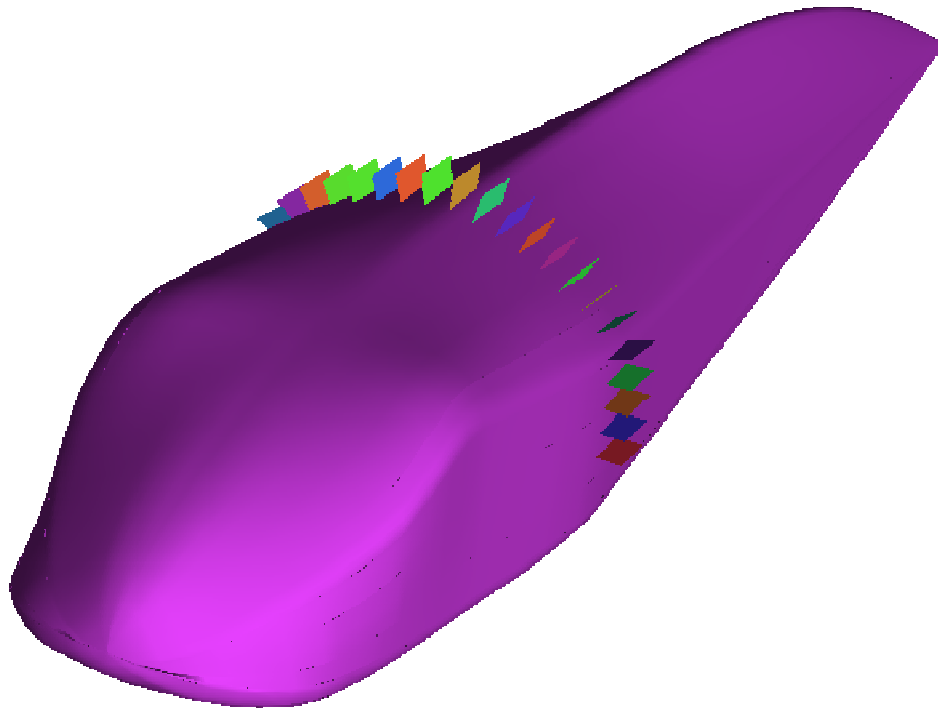


Figura 77: cotxe amb apèndixs de 6 x 10 cm.

Estudi amb mallat de 15mm a la superfície:

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,015 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,015m
- Altura màxima dels elements: 0,01m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 18 hores

Els resultats es mostren a les taules 85 i 86.

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01083714701	1496	0.08588736504
2	0.2420356423	1497	0.08588751405
3	0.8096237183	1498	0.08588752151
4	1.195358038	1499	0.08588726074
5	1.368383765	1500	0.08588699996

Taula 85: taula de resultats del C_x

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007032623049	1496	-0.3322500288
2	0.2396757305	1497	-0.3322480321
3	0.6646502614	1498	-0.3322481215
4	1.038793802	1499	-0.332244873
5	1.353868484	1500	-0.3322452307

Taula 86: taula de resultats del C_L.

Estudi amb mallat de 10mm a la superfície

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,005m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taulas 87 i taula 88.

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0,01245936	1496	0,08352225
2	0,60816741	1497	0,08352136
3	1,44928253	1498	0,08352219
4	1,41096473	1499	0,08352142
5	1,28826535	1500	0,08352219

Taula 87: taula de resultats del C_x

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0,00823762	1496	-0,30395037
2	0,52953076	1497	-0,30395147
3	7,31338692	1498	-0,30395225
4	7,14953709	1499	-0,30395216
5	6,04735184	1500	-0,30395108

Taula 88: taula de resultats del C_L

Cas 3

Un cop estudiat els dos casos anteriors es pot comprobar que si es fan els apèndixs més petits es millora encara una mica més. En aquest cas es comprovarà si disminuint més les mides s'aconsegueix encara una millora més gran.

En aquest cas s'ha estudiat una mida dels apèndixs de 3 x 10 cm. figura 78 i figura 79.



Figura 78: apèndix de 3x10cm

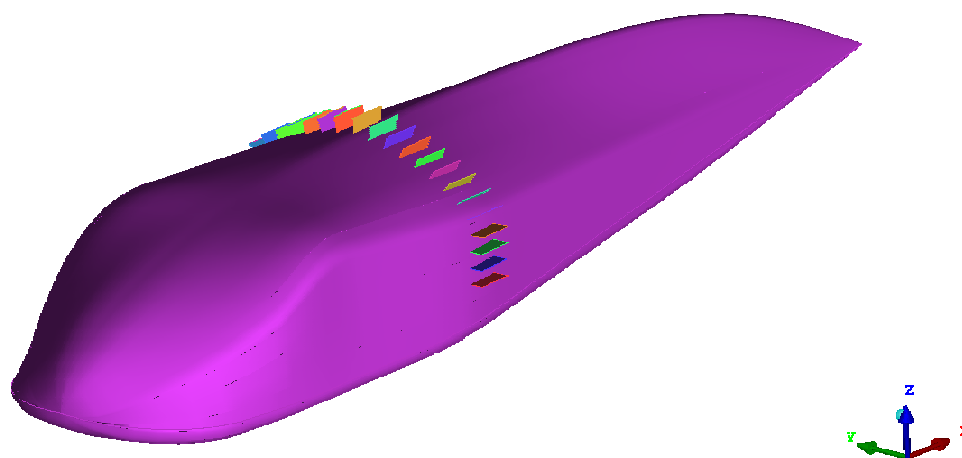


Figura 79. cotxe amb apèndixs de 3x10cm

Estudi amb mallat de 15mm a la superfície:

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,015 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,015m
- Altura màxima dels elements: 0,01m

- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 18 hores

Els resultats es mostren a les taules 89 i 90.

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0,00738961	1496	0,08307263
2	0,11136901	1497	0,08307276
3	0,41178107	1498	0,08307283
4	0,58994871	1499	0,08307302
5	0,71023721	1500	0,0830733

Taula 89: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C_L	Número d'iteració	C_L
1	0,00440358	1496	-0,30445623
2	0,11801998	1497	-0,30445382
3	0,41194421	1498	-0,30445528
4	0,58002275	1499	-0,30445266
5	0,70100719	1500	-0,30445442

Taula 90: taula de resultats del C_L .

Estudi amb mallat de 10mm a la superfície

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,005m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 2.000.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taulas 91 i taula 92.

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.008139362559	1496	0.08222969621
2	0.09051602334	1497	0.08222944289
3	0.328389883	1498	0.08222934604
4	0.5103939176	1499	0.08222886175
5	0.663898468	1500	0.08222854882

Taula 91: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.005217141472	1496	-0.2890186608
2	0.09966079891	1497	-0.2890186608
3	0.2850428522	1498	-0.2890175283
4	0.4590415061	1499	-0.2890181839
5	0.6054024696	1500	-0.2890180051

Taula 92: taula de resultats del C_L

Cas 5

En aquest cas s'estudiarà un col·locació dels apèndixs amb una distància de 2,5 cm entre ells, com es mostra a la figura 80.

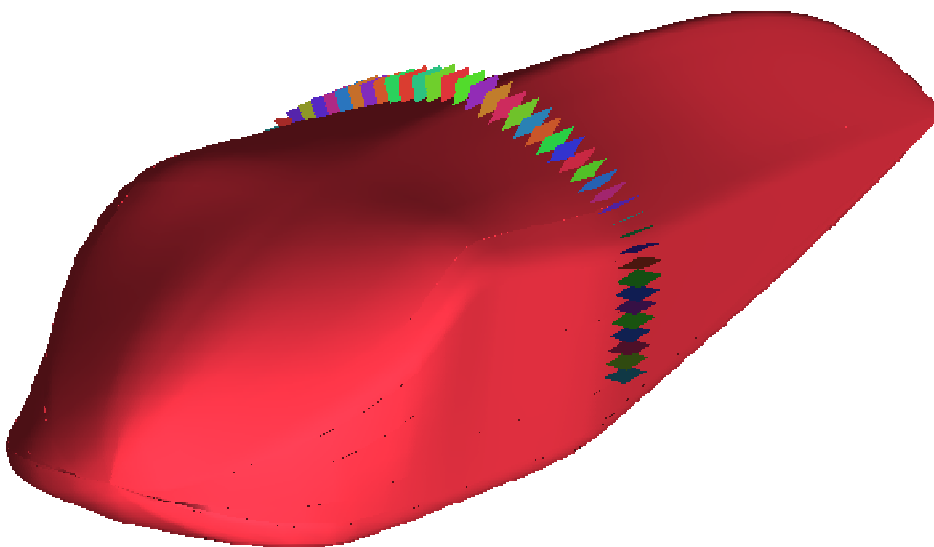


Figura 80: cotxe amb apèndixs cada 2,5 cm.

Estudi amb mallat de 15mm a la superfície:

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,015 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,015m
- Altura màxima dels elements: 0,01m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 18 hores

Aquí es mostren el resultats obtinguts a, taula 93 i taula 94.

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.007529857568	1496	0.08821099997
2	0.1238426566	1497	0.08821106702
3	0.499956876	1498	0.08821120113
4	0.6657276154	1499	0.088211447
5	0.7712742686	1500	0.0882113874

Taula 93: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C_L	Número d'iteració	C_L
1	0.00419499632	1496	-0.3117614985
2	0.1328727007	1497	-0.311760515
3	0.435801208	1498	-0.3117619455
4	0.5930381417	1499	-0.3117635548
5	0.6865395904	1500	-0.311766088

Taula 94: taula de resultats del C_L

Estudi amb mallat de 10mm a la superfície

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,005m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m

- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taula 95 i taula 96.

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01247744728	1496	0.08588736504
2	1.010221243	1497	0.08588751405
3	1.587437391	1498	0.08588752151
4	1.535049081	1499	0.08588726074
5	1.411300778	1500	0.08588699996

Taula 95: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	Lift	Número d'iteració	Lift
1	0.007014615927	1496	-0.3117614985
2	0.237925753	1497	-0.311760515
3	0.7448781133	1498	-0.3117619455
4	1.229257226	1499	-0.3117635548
5	1.545971274	1500	-0.311766088

Taula 96: taula de resultats del C_L

Cas 4

En aquest cas s'estudiarà un col·locació dels apèndixs amb una distància de 10 cm entre ells, com es mostra a la figura 81.

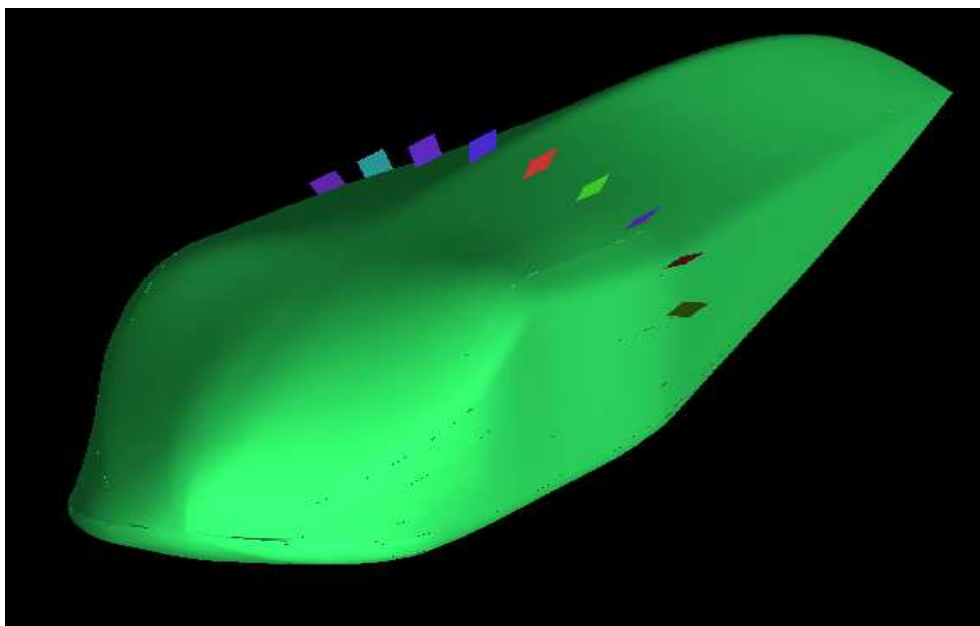


Figura 81: configuració dels apèndixs amb distàncies de 10cm

Estudi amb mallat de 15mm a la superfície:

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,015 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,015m
- Altura màxima dels elements: 0,01m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 18 hores

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taula 97 i taula 98.

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.008519745432	1496	0.08583120257
2	0.0890629068	1497	0.08582898974
3	0.22912696	1498	0.08582695574
4	0.4387213588	1499	0.08582563698
5	0.7932127714	1500	0.08582398295

Taula 97: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C_L	Número d'iteració	C_L
1	0.005399727263	1496	-0.3016864061
2	0.06944503635	1497	-0.3016872108
3	0.1876235753	1498	-0.3016915023
4	0.3687392175	1499	-0.3016912937
5	0.6855995655	1500	-0.3016943336

Taula 98: taula de resultats del C_L

Estudi amb mallat de 10mm a la superfície

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,001m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 900.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taula 99 i taula 100.

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01247744728	1496	0.08285692334
2	1.010221243	1497	0.08285713941
3	1.587437391	1498	0.08285708725
4	1.535049081	1499	0.08285719156
5	1.411300778	1500	0.08285696805

Taula 99: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.007014615927	1496	-0,30033448
2	0.237925753	1497	-0,30033281
3	0.7448781133	1498	-0,30033115
4	1.229257226	1499	-0,30032948
5	1.545971274	1500	-0,30032781

Taula 100: taula de resultats del C_L

CONCLUSIONS

- Es pot afirmar que sobre la posició al llarg del cotxe, la zona en que dona millors resultats és quan els apèndixs es troben a 1,1 metres del frontal del cotxe.
- Dels estudis sobre el nombre d'apèndixs a posar, la configuració de 23 apèndixs, amb un apèndix cada 5 cm ha donat els millors resultats.
- L'estudi sobre la mida dels apèndix ha donat que si utilitzem apèndix de 4 x 10 cm dona uns resultats millors que si s'utilitzen apèndixs de major o menor tamany.

C.4 ESTUDI DE LA RUGOSITAT

Els membres de l'equip de l'Àliga els interessava fer un estudi sobre els 3 tipus superfícies en que basicament fan la carrosseria del cotxe.

Les 3 superfícies són :

- Fibra de carboni amb bon acabat.: aquesta part correspon a la part que toca el motlle en el procés de fabricació.
- Fibra de carboni amb mal acabat: la part oposada a l'anterior que no toca al motlle.
- Fibra de plàstic: aquesta fibra correspon a la zona del "vidre" del cotxe i que s'utilitza per simular la carrosseria del cotxe un cop pintada per la seva rugositat molt similar.

L'objectiu d'aquest estudi és saber la disminució del coeficient aerodinàmic que hi ha en pintar la carrosseria o deixar-la nua i la diferència que hi ha en deixar-la amb el carboni amb mal acabat o amb el que té un millor acabat.

S'ha de tenir en compte que la utilització de la pintura suposa pintar el cotxe amb 3 capes: una de base, una de pintura i una última de vernís. Això suposa augmentar el pes del cotxe en uns 10 quilos.

Per altra banda pel procés de fabricació de la carrosseria, la part amb millor acabat és la que toca al motlle interior i la amb pitjor acabat és la que queda a la part exterior. Si es vol que la part millor quedi a l'exterior s'ha de fer a més un motlle exterior, perquè aixís la part que toqui al motlle sigui l'exterior. Amb l'estudi que es va a fer es vol comprovar s'hi ha molta diferència entre la superfície amb bon acabat i amb mal acabat per veure si surt a compte utilitzar el contra motlle perquè la superfície final sigui la més fina possible o si sense fer aquest procediment hi ha una gran pèrdua.

A continuació s'exposarà com s'han aconseguit els valors de la rugositat dels diferents materials i els resultats que s'han obtingut després de fer la simulació.

Per fer les proves es parteix de la configuració següent:

- N° d'apèndixs: 23
- Mida dels apèndixs: 5 x 10cm.
- Distància respecte el frontal: 1,1 metres.
- Distància entre els apèndixs: 5cm.

Obtenció dels valors de la rugositat

Per aconseguir uns valors reals i precisos dels materials que es volia fer l'estudi es va disposar dels equips del grup d'enginyeria proces i producció "GREPP" i de l'ajuda del senyor Jordi Delgado.

L'equip que es va utilitzar és el següent:

Mitutoyo Surftest SV-2000. Figura 82, per més informació consultar CATÀLEG MITUTOYO SURFTEST SV-2000.



Figura 82: Rugosímetre

La màquina el que fa es una passada d'una longitud de 40mm per la superfície del material i descarta els 4 primers i últims mil·límetres, i calcula la rugositat a partir d'aquests 40mm. per fer la prova es van agafar provetes de 60x60mm. A la figura 80 es mostra la punta del rugosímetre amb la que s'agafen els valors.



Figura 80: punta del rugosímetre

Pel correcte funcionament de la màquina en primer lloc s'ha de fer una prova amb un patró per verificar-la, com es mostra a la figura 81.



Figura 81: prova per verificar el rugosímetre

FIBRA CARBONI AMB BON ACABAT

Aquesta va ser la primera superfície en que es va fer la prova. Figura 82



Figura 82: prova amb el carboni fi

De cada material es van fer 3 proves i com a valor final es calcula la mitjana d'aquets valors. En la figura 83 es mostra el perfil de les rugositats per aquest material.

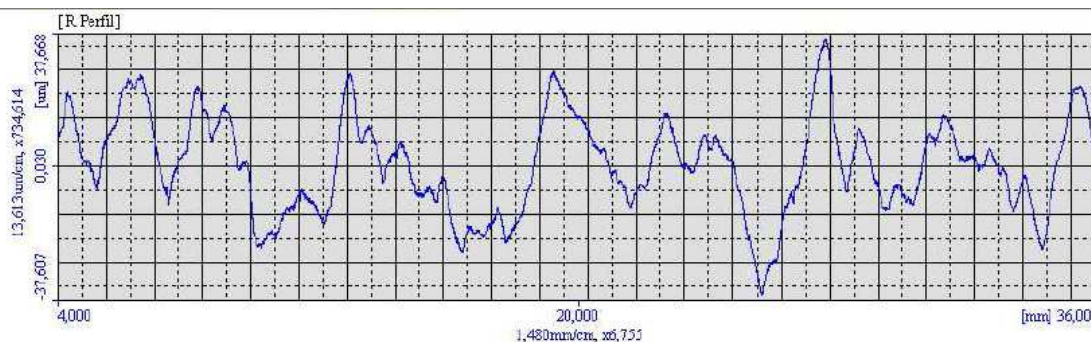


Figura 83: perfil de la rugositat

Els resultats obtinguts són:

1^a prova: 1,08E-05m

2^a prova: 1,08E-05m

3^a prova: 1,08E-05m

Mitjana: 1,08E-05m = 10,8µm

Resultats de la simulació

A causa del petit valor de la rugositat es va decidir fer la simulació amb la malla més fina, de 10mm a la superfície.

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,005m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Pareds laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 2.000.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores
- Altura de la rugositat: 1,08E-05m

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taula 97 i taula 98.

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01215050742	1496	0.08285714686
2	0.6571973562	1497	0.08285705745
3	1.666223407	1498	0.08285725117
4	1.551540732	1499	0.0828570351
5	1.325507879	1500	0.0828569755

Taula 97: taula de resultats del C_x

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.009111795574	1496	-0.2928280532
2	0.7804989815	1497	-0.2928281426
3	7.645257473	1498	-0.2928301096
4	7.867917061	1499	-0.2928313315
5	6.880336285	1500	-0.2928335965

Taula 98: taula de resultats del C_L

FIBRA DE CARBONI AMB MAL ACABAT

La segona prova es va fer amb aquest material, a la figura 84 es mostra el seu aspecte.

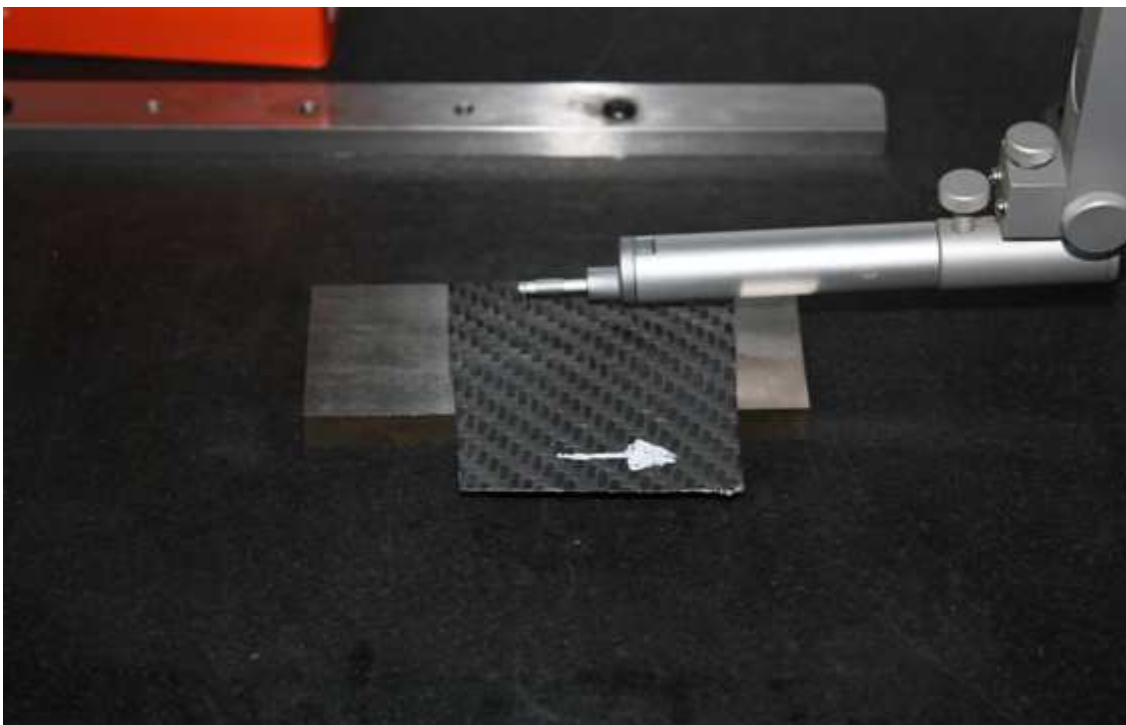


Figura 84: prova amb la fibra de carboni rugosa

A la figura següent es pot apreciar com el rugosímetre ha seguit la forma de la superfície del material. Figura 85.

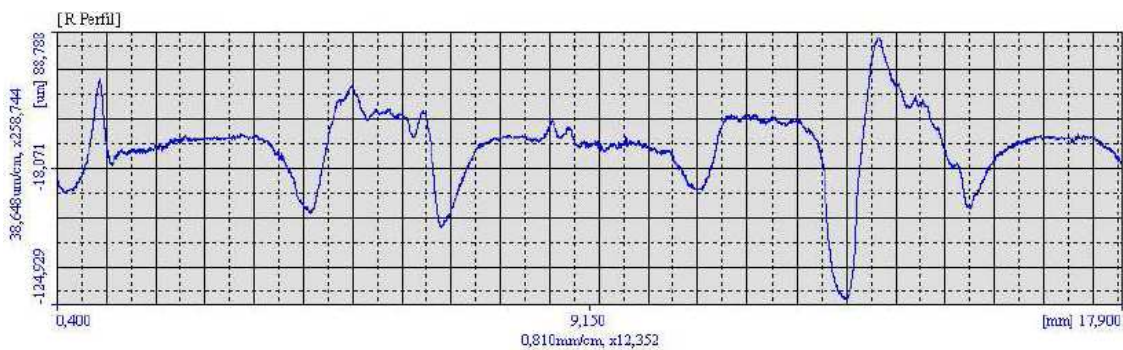


Figura 85: perfil de la rugositat

Els resultats obtinguts són:

1^a prova: 1,90E-05m

2^a prova: 2,00E-05m

3^a prova: 1,90E-05m

Mitjana: 1,93E-05m = 19,3µm

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,005m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 2.000.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant
- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores
- Altura de la rugositat: 1,93E-05m

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taula 101 i taula 102.

Número d'iteració	Cx	Número d'iteració	Cx
1	0.01091898978	1496	0.08510089666
2	0.2236752063	1497	0.0851008743
3	0.565890789	1498	0.08510083705
4	0.9175767899	1499	0.08510086685
5	1.081439137	1500	0.08510063589

Taula 101: taula de resultats del Cx

Número d'iteració	C_L	Número d'iteració	C_L
1	0.007487832103	1496	-0.3208494484
2	0.220545575	1497	-0.3208490312
3	0.4909371734	1498	-0.3208485544
4	0.8567502499	1499	-0.3208491504
5	1.044206142	1500	-0.3208490014

Taula 102:taula de resultats del C_L

FIBRA DE PLÀSTIC

Per a la tercera prova es va utilitzar un plàstic, Figura 86, perquè és el material de la zona per a on la pilot mira i que ocupa gran part de l'àrea frontal del vehicle.

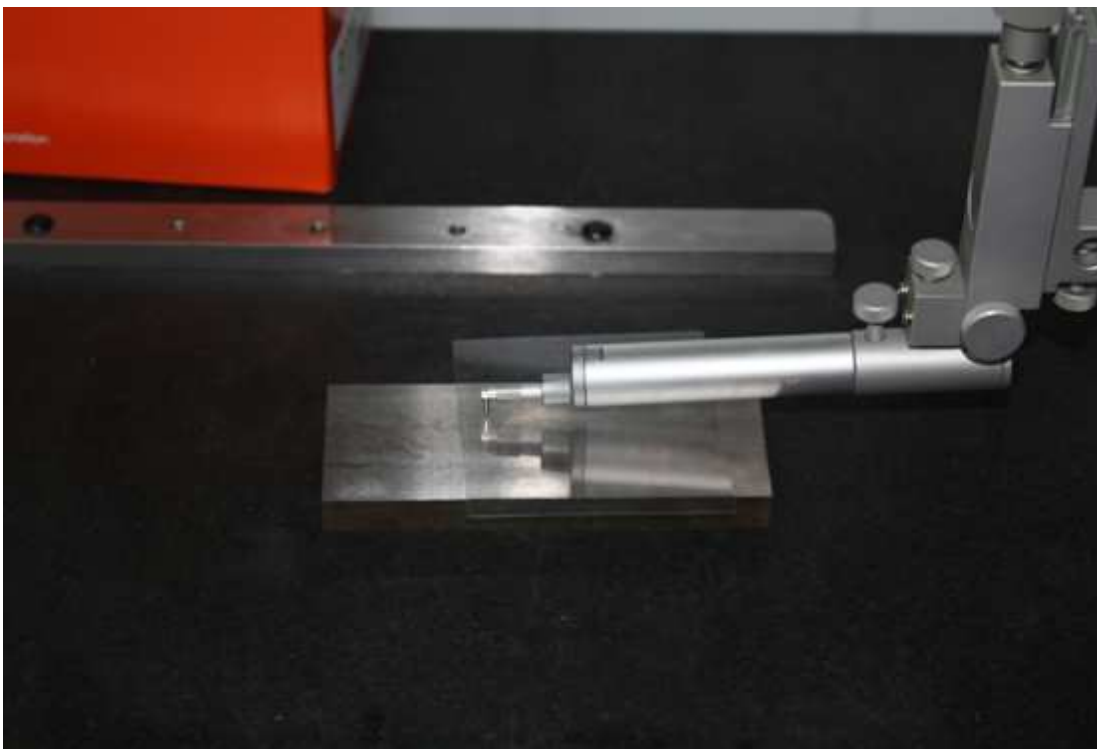


Figura 86: fibra de plàstic

A la figura següent es pot veure el perfil de la rugositat. Figura 87.

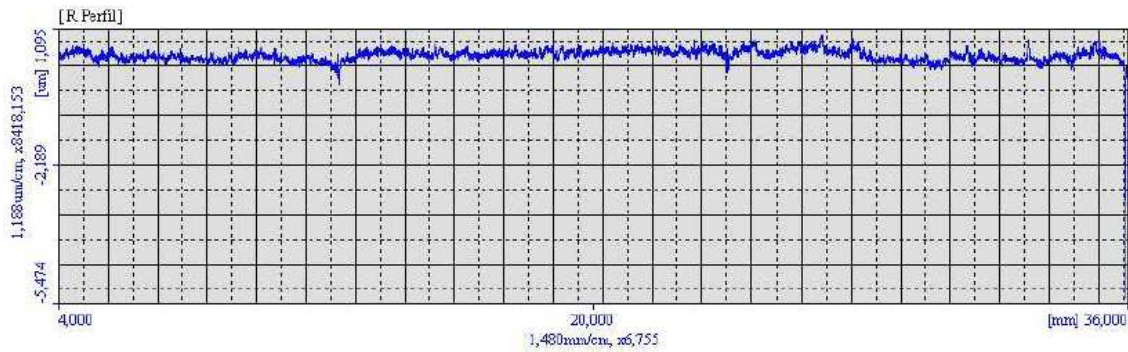


Figura 87: perfil de rugositat

Els resultats obtinguts són:

- 1^a prova: 4,66E-07m
- 2^a prova: 4,68E-07m
- 3^a prova: 4,69E-07m

Mitjana: 4,68E-07m = 0,46µm

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,005m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 2.000.000.

Condicions dels models:

- Densitat del flux d'aire lliure: 1,277 kg/m³
- Velocitat: 11,11 m/s
- Àrea: 0,3538697m²
- Cotxe: Cos sòlid
- Apèndixs: Cos sòlid
- Parets laterals túnel exterior: Paret lliscant

- Paret superior túnel exterior: Paret lliscant
- Terra túnel exterior: Terra lliscant
- Entrada túnel exterior: Entrada de velocitat
- Sortida túnel exterior: Sortida de pressió nul·la
- Dimensions túnel exterior: 24x5x4m
- Número de iteracions: 1500 iteracions
- Duració del càlcul: aproximadament 30 hores
- Altura de la rugositat: 4,68E-07m

Aquí es mostren el resultats obtinguts a taulea 105 i taula 106.

Número d'iteració	C _x	Número d'iteració	C _x
1	0.01215050742	1496	0.08285705745
2	0.6571973562	1497	0.08285725117
3	1.666223407	1498	0.0828570351
4	1.551540732	1499	0.0828569755
5	1.325507879	1500	0.08285675943

Taula 105: taula de resultats del C_x

Número d'iteració	C _L	Número d'iteració	C _L
1	0.009111795574	1496	-0.2928281426
2	0.7804989815	1497	-0.2928301096
3	7.645257473	1498	-0.2928313315
4	7.867917061	1499	-0.2928335965
5	6.880336285	1500	-0.2928345501

Taula 106: taula de resultats del C_L

C.4.1 RESUM DE RESULTATS

Per veure amb més claredat si un cas comporta una millora o una pèrdua s'ha creat un gràfic:

- Gràfic que mostra la relació del Cx, els valors inferiors a 100 milloren la geometria inicial. Taula 103:

	C_x	C_L	RELACIÓ DRAG %	RELACIÓ LIFT %
Fibra de carboni amb bon acabat	0.0828569755	-0.2928335965	100,000009	100,0006
Fibra de carboni amb mal acabat	0.08286242932	-0.2928382456	100,006591	100,002188
Fibra de plàstic	0,08285676	-0,29283455	99,9997482	100,000926

Taula 109: taula de relació de drag i lift en %

C.5 TAULA RESUM GLOBAL

Taula resum global, taula 110, de totes les simulacions que s'han fet, en aquest taula només es mostren els valors del coeficient Cx perquè és el que efecte més.

ESTUDI POSICIÓ APÈNDIXS	Mallat 15mm	Mallat 10mm
Cotxe sense apèndixs	0,0926258	0.09142207
0,5	0,13003817	-
0,6	0,10771932	-
0,7	0,09737698	-
0,8	0,09606335	-
0,9	0,09501214	-
1	0,09370582	0.09111458
1,05	0,08813859	0.0862378
1,1	0,08510026	0.08285697
1,15	0,08601148	0.08326247
1,2	0,09265193	0.08564708
1,25	0,08899748	0.08770996
1,3	0,09024837	0.08767828
1,35	0,09016582	0.08968215
1,4	0,09190748	0.08937211
1,45	0,09190155	0.09109306
1,5	0,09276118	0.09111609
1,6	0,0933259	-
1,7	0,09361292	-
1,8	0,09548662	-
1,9	0,09511626	-
2	0,09436459	-
2,1	0,09402048	-
2,2	0,09343013	-
2,3	0,09438317	-
2,4	0,09861349	-
2,5	0,10284381	-
ESTUDI MIDA APÈNDIXS		
Apèndixs 3x10cm	0,0830733	0.0822285
Apèndixs 4x10cm	0.080846637	0.0807685
Apèndixs 6x10	0.085887	0,08352219
ESTUDI COL·LOCACIÓ APÈNDIXS		
Distància de 2,5cm entre apèndix	0.0882113874	0.08588699996
Distància de 10cm entre apèndix	0.08582398295	0.08564707637
ESTUDI RUGOSITAT		
Fibra de carboni amb bon acabat	-	0.0828569755
Fibra de carboni amb mal acabat	-	0.08286243
Fibra de plàstic	-	0.08286242932

Taula 110: taula resum global

Conclusions:

- Com era de preveure la fibra de plàstic és la que ens ha donat uns valors més baixos de rugositat, seguida de la fibra de carboni amb bon acabat i per últim la fibra de carboni amb pitjor acabat.
- Si es tenen el compte els resultats obtinguts amb la petita diferència que hi ha si no pintem el cotxe no tindrem una pèrdua molt important.
- Pel que fa a la diferència entre utilitzar la superfície amb la fibra de carboni amb bon acabat i amb mal acabat, la diferència és molt petita. A l'annex D de càlculs tècnics es calcularà el valor d'aquestes millores.

ANNEX D

ANNEX D: CÀLCULS TÈCNICS

Un cop obtinguts els resultats s'ha de comparar la disminució del C_x amb l'increment de pes dels apèndixs i de la rugositat.

En primer lloc per tenir com a referència es mostren els resultats de la geometria sense els apèndixs. S'agafa com a resultat definitiu el de la iteració 1500.

C_x : 0.09142207354

C_L : -0.2301439643

Per mirar la millora obtinguda es mira a través del cas més òptim.

Condicions del cas calculat:

- N° d'apèndixs: 23
- Mida dels apèndixs: 4 x 10cm.
- Distància respecte el frontal: 1,1 metres.
- Distància entre els apèndixs: 5cm.

Condicions de la malla:

- Cotxe: Elements quadrangulars de 0,01 m
- Apèndixs: Elements quadrangulars de 0,01m
- Altura màxima dels elements: 0,001m
- Ratio d'altura: 1,2
- Terra túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Parets laterals túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Paret superior túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Entrada túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Sortida túnel exterior: Elements quadrangulars de 0,5 m
- Nombre aproximat d'elements : 2.000.000.

Per fer els càlculs s'agafaran els valors corresponents a la iteració n° 1500.

C_x : 0.08076853305

C_L : -0.2823856175

VARIACIÓ DE C_x I C_L RESPECTE EL COTXE SENSE APÈNDIXS

Variació del C_x :

$$\frac{0.09142207354 - 0.08076853305}{0.09142207354} \cdot 100 = 11,65\%$$

En el C_x s'ha vist una disminució d'un 11,65% del cas observat respecte de la geometria original.

Variació del C_L :

$$\frac{-0.2301439643 - (-0.2823856175)}{-0.2301439643} \cdot 100 = 22,70\%$$

En el lift per contra s'ha observat una disminució d'un 22,70% del cas observat respecte de l'original. Cal recordar que en el cas de l'Àliga interessa que el valor del C_L sigui tant pròxim com es pugui a 0 per evitar més càrrega i per tant més fregament sobre el terra.

AUGMENT DE PES A CAUSA DELS APÈNDIXS

Per estudiar aquest es partirà de les següents hipòtesis:

- Gruix dels apèndixs: 1mm
- Densitat del material (Fibra de carboni): 1600 kg/m³
- N^o d'apèndixs: 23
- En les simulacions s'ha suposat que els apèndixs tenia la forma d'un rectangle, però a la realitat han de tenir forma de "T" invertida i que seran enganxats a la carrosseria per les ales.

- Dimensions de l'apèndix real. Figura 88:

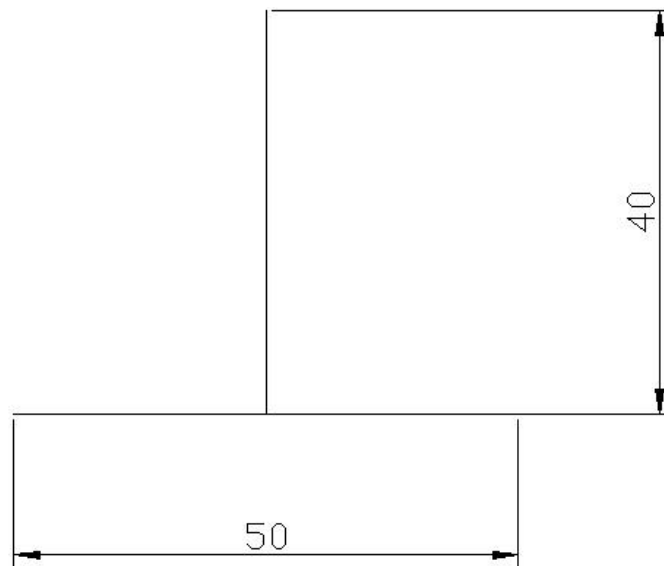


Figura 88: mides apèndix real

- Dimensions de l'apèndix vist de perfil, figura 89.

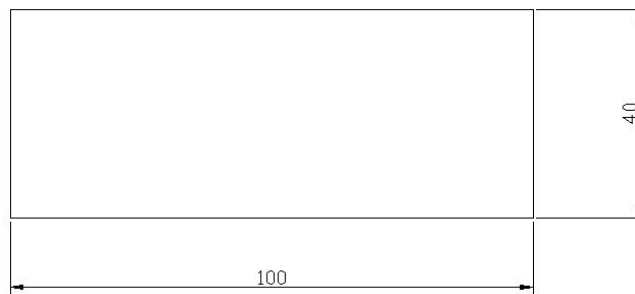


Figura 89: apèndix vist de perfil

Superfície 1 apèndixs

$$0.1 \cdot 0.04 + 0.1 \cdot 0.05 = 0.09 \text{ m}^2$$

Volum 1 apèndix:

$$0.09 \cdot 0.001 = 0.00009 \text{ m}^3$$

Pes 1 apèndix:

$$0.00009 \cdot 1600 = 0.144 \text{ kg}$$

Pes dels 23 apèndixs:

$$0.144 \cdot 23 = 3.312 \text{ kg} = 331,2 \text{ gr.}$$

El pes del cotxe en ordre de marxa és de 81kg en total, 50 corresponen a la pilot i 31 al xassís.

Augment de pes:

Absolut: 81 => 81.3312 kg

Relatiu $\frac{81.3312 - 81}{81} \cdot 100 = 0.409\%$

AUGMENT DE LA FORÇA SOBRE EL TERRA A CAUSA DE LA FORÇA DEL LIFT

A causa de l'inserció d'aquests apèndixs s'ha augmentat la força que es fa sobre el terra a més del pes i del C_L que ja tenien el cotxe en si.

El cotxe sense els apèndixs:

- C_L : -0.2301439643
- Força de lift: -6.418477058 N

Força causada pel lift en el cotxe estudiat:

- C_L : -0.2823856175
- Força de lift: -7.875442982 N

El sentit de la força és el mateix que el del pes.

Augment de la força:

$7.875442982 - 6.418477058 = 1,457 \text{ N} = 0,14867 \text{ kg}$

$81,3312 + 0,14867 = 81,47987 \text{ kg}$

Augment total del pes:

- Absolut: 81 => 81,47987kg
- Relatiu: $\frac{81,47987 - 81}{81} \cdot 100 = 0, = 0.59\%$

Conclusió:

- El guany que s'ha obtingut en el C_x és d'11,65 %, mentre que l'augment de pes ha estat d'un 0.59%. per tant seria interessant incorporar aquests apèndixs a la geometria del cotxe per augmentar el rendiment.

ESTUDI DE LA RUGOSITAT

En aquest apartat es valorarà sobretot la diferència entre els resultats de les simulacions sobre les 3 superfícies estudiades.

El cas estudiat és:

- N° d'apèndixs: 23
- Mida dels apèndixs: 5 x 10cm.
- Distància respecte el frontal: 1,1 metres.
- Distància entre els apèndixs: 5cm.

No s'ha utilitzat la millor configuració perquè en el moment en que es va fer aquesta prova encara no s'havia trobat la idònea. De totes maneres el que interessa veure és la diferència entre els casos per això ja és suficient. Per valorar aquests resultats s'agafarà com a patró el valor de la fibra de carboni amb mal acabat, que és la que ha donat uns valors més grans. Taula 111.

	C_x	C_L	RELACIÓ C_x %	RELACIÓ C_L %
Fibra de carboni amb mal acabat	0.08286242932	-0.2928382456	100	100
Fibra de carboni amb bon acabat	0.0828569755	-0.2928335965	99.99341822	99.9984124
Fibra de plàstic	0,08285676	-0,29283455	99.99315815	99.998738

Taula 111: comparació de resultats

Augment de pes a causa de la pintura:

Per pintar l'Àliga s'utilitzen tres capes: una de base, una de pintura i una última de vernís.

- Gruix de les tres capes de pintura: 200 µm = 0,002m. S'ha obtingut com a valor mitjà dels valors dels gruix de les capes de pintura d'obtinguts a la pàgina web. Paint dry film thickness on car. <http://www.paintcenter.org/rj/nov05q.cfm>, 10 de juny 2008.
- Àrea del cotxe, calculada amb el programa "Rhinceros": 4.71m².
- Densitat de les capes de pintura: 1400 kg/m³.

Volum de pintura: 4,72 m² x 0,002⁻⁴ m = 0.0094m³

Pes de la pintura : 0.0094 m³ x 1400 kg/m³ = 13,21 kg

Augment de pes a causa de la pintura

- Absolut : 81 => 93,21 kg
- Relatiu: $\frac{93,21-81}{81} \cdot 100 = 16,31\%$

El guany de coeficient Cx utilitzant una superfície pintada respecte una de fibra de carboni amb mal acabat és de 0.0068%, mentre que l'augment de pes per la pintura és del 16,31%

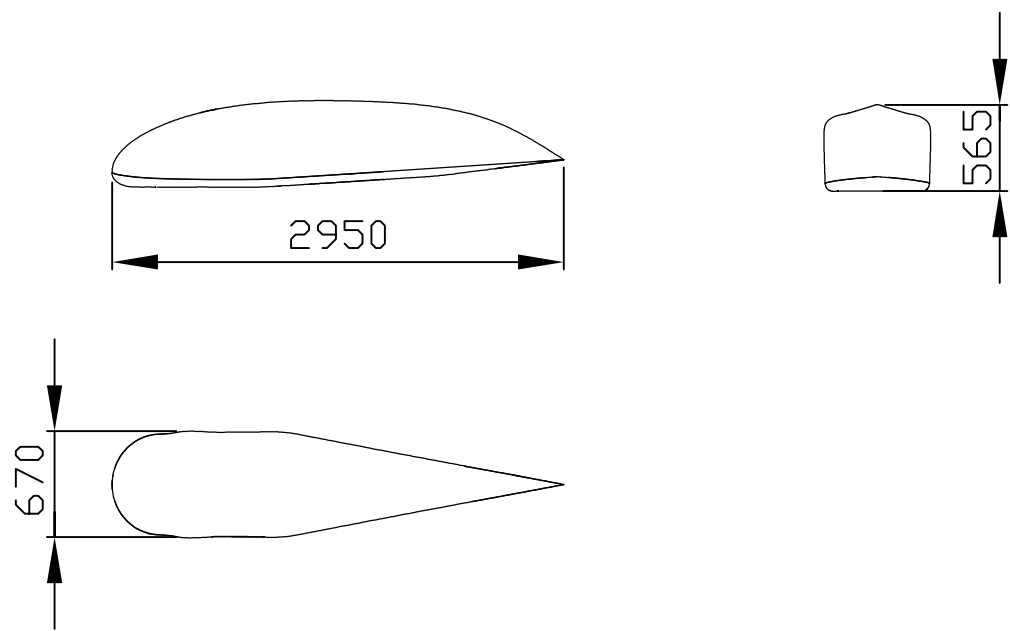
En el cas del guany entre utilitzar una superfície la superfície de fibra de carboni amb bon acabat o mal acabat, el guany utilitzant la superfície més fina és de 0.0065%.


ANNEX E

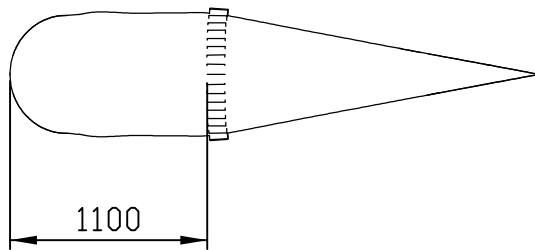
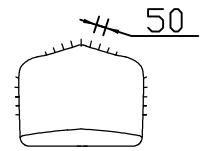
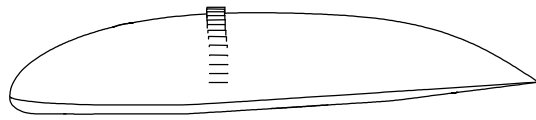
ANNEX E: ESQUEMA DEL PROTOTIP


En aquest annex s'hi adjunta un esquema del model de partida, del model definitiu escollit, amb les cotes principals per a la seva construcció, i un esquema dels apèndixs a col·locar.

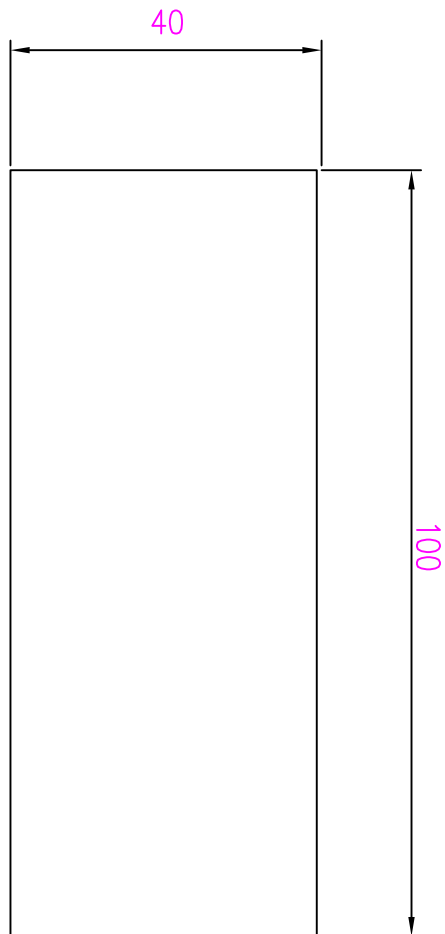
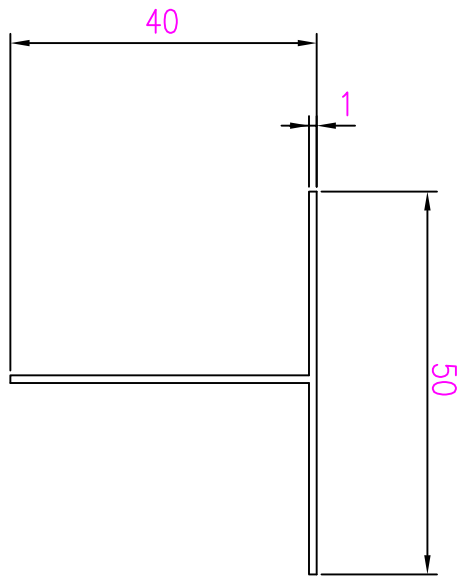
Per qualsevol dubte, consultar l'annex B, en que es troba detallat tot el procés de creació d'aquesta geometria.




	Data	Nom		 UdG	Escola politècnica Superior
Dibuixat	16/6/08	DANIEL	ESTARRIOLA		
Compro.		---	---		
Escala	GEOMETRIA INICIAL			Nº plànol	1
1/50				Substitueix a:	
				Especialitat	ETIM



	Data	Nom		 UdG	Escola politècnica Superior
Dibuixat	16/6/08	DANIEL	ESTARRIOLA		
Compro.		---	---		
Escala	POSICIÓ APÈNDIXS			Nº plànol	2
1/50				Substitueix a:	
				Especialitat	ETIM



	Data	Nom		 UdG	Escola politècnica Superior
Dibuixat	16/6/08	DANIEL	ESTARRIOLA		
Compro.		---	---		
Escala	MIDES APÈNDIXS			Nº plànol	3
1/1				Substitueix a:	
				Especialitat	ETIM