

Universitat de Girona  
**Escola Politècnica Superior**

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Mecànica

**Títol:** Disseny d'un conjunt d'alerons davanters d'una MotoGP

**Document:** Resum del treball

**Alumne:** Guillem Pérez Góngora

**Tutor:** Lino Montoro Moreno

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Mecànica de Fluids - Màquines i Motors Tèrmics

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2020

# RESUM DEL TREBALL

En aquest treball de final de grau es busca trobar i comparar els coeficients aerodinàmics d'una motocicleta a la que se li implementen diferents dissenys d'alerons que trobem al mundial de MotoGP d'aquest any 2020, mitjançant un programa de simulació que genera un túnel de vent virtual per obtenir aquests coeficients. Hi ha un total de quatre dissenys diferents: un d'ells és una motocicleta sense afegits aerodinàmics i els altres tres dissenys són implementacions de diferents alerons reals a la motocicleta estudiada inicialment. Els dissenys són extrets de les marques Honda, Yamaha i Ducati i cada un d'aquests s'ha estudiat a diferents velocitats per observar si presenten un comportament molt diferent a baixes i altes velocitats. Una vegada trobats els coeficients, s'han extret les conclusions de quin disseny ha plantejat millors qualitats aerodinàmiques i perquè i en quin tipus de circuit seria millor incorporar cada disseny.

Inicialment trobem explicada la història de l'aerodinàmica aplicada al món del motociclisme, de com aquesta ha evolucionat al llarg dels anys, inicialment cap a la direcció del *Dustbin* (anys cinquanta), quan, mitjançant carenats amb poca superfície d'impacte amb el vent frontal s'aconseguien grans velocitats i alts rendiments amb motoritzacions de petit cubicatge. La FIM (Federació Internacional de Motociclisme) va obligar a abandonar aquesta direcció quan va observar que aquests carenats provocaven moltes turbulències que afectaven negativament al pilot, desencadenant fàcils pèrdues de control i augmentant el cansament causat pel pilotatge. Anys més tard (anys seixanta i setanta) es van anar recuperant els dissenys abandonats per millorar-los i així disminuir els desavantatges que presentaven reduint les dimensions del carenat i procurant reduir la superfície contra vents laterals.

En segon lloc, trobem explicada la part més recent de la història d'aquest camp del món de la competició de motocicletes, amb els problemes de disseny que es van presentar pocs anys enrere i com es van corregir fins a arribar als dissenys actuals i que hem estudiat en aquest projecte.

Després d'aquesta introducció, per entrar en context, hi ha plantejat l'objecte del projecte, quins objectius hi ha amb l'estudi, les especificacions a tenir presents i quin abast tindrà l'estudi.

A continuació entrem a la part inicial de l'estudi, la part de disseny amb Solidworks, on s'expliquen tots els punts a tenir en compte a l'hora de dissenyar la motocicleta per simular-la considerant que s'ha disposat de programari limitat en versió estudiant. En aquesta part es pot veure la simplificació que s'ha anat produint sobre el disseny inicial de la motocicleta per, finalment, poder ser simulada i, un cop simplificada, hem vist com introduir aquest disseny al programa de simulació ANSYS Workbench. A la part de simulació s'ha mirat d'explicar pas a pas com es realitza una simulació, amb cadascun dels paràmetres a tenir en compte, la importància que tenen i com introduir-los de manera correcta. Aquests paràmetres recullen múltiples eines com ara la de fer el mallat, introduir velocitats de l'aire, rugositats del terra, cares de simetria, etc. A més, s'explica, un cop la simulació ha estat completada, com extreure la informació rellevant i necessària per a l'estudi, tant en forma visual amb línies de flux o de pressió com en forma numèrica amb el valor de la força d'arrossegament total d'un disseny.

Finalment es comparen els resultats de manera simplificada recollint-los en taules en les que s'avaluen els resultats obtinguts i es mira de trobar una finalitat a cada disseny. El disseny extret de Yamaha presenta una càrrega i eficiència aerodinàmica molt superior a la resta de dissenys, essent aquest força idíl·lic per a quasi qualsevol mena de circuit, ja sigui una pista ràpida o una que tingui més corbes. El disseny d'Honda presenta un coeficient d'arrossegament inferior a la resta de dissenys i una càrrega aerodinàmica suficient per reduir la pèrdua de tracció de la roda davantera. Aquest sistema d'alerons encaixaria a la perfecció en un circuit amb molta recta i poca corba, on la velocitat punta i l'acceleració tinguin més importància que el pas per corba. Per últim, el disseny de Ducati tot i presentar una càrrega aerodinàmica considerable no l'esculliríem ja que el coeficient d'arrossegament és molt alt, i per tant la seva eficiència aerodinàmica és baixa.

Els estudis han resultat satisfactoris i amb resultats propers a la realitat, on s'ha pogut demostrar que l'implementació d'alerons aporta més tracció a la part davantera de la motocicleta, tant a baixes com altes velocitats.

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Mecànica

**Títol:** Disseny d'un conjunt d'alerons davanters d'una MotoGP

**Document:** Memòria i Annexos

**Alumne:** Guillem Pérez Góngora

**Tutor:** Lino Montoro Moreno

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Mecànica de Fluids - Màquines i Motors Tèrmics

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2020

**Memòria**

<b>1. Introducció</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedents	3
1.2. Objecte del projecte	7
1.3. Especificacions i abast	8
1.3.1. Especificacions	8
1.3.2. Abast	8
<b>2. Descripció de la motocicleta</b>	<b>9</b>
2.1. Motocicleta inicial	9
2.2. Adaptació de la motocicleta per l'estudi	11
2.3. Dissenys a estudiar	13
2.3.1. Motocicleta original sense alerons	13
2.3.2. Motocicleta original amb alerons de carenat estil Honda RC-213V 2020	14
2.3.3. Motocicleta original amb alerons de carenat estil Yamaha M1 2020	16
2.3.4. Motocicleta original amb alerons de carenat estil Ducati Desmosedici GP20	19
<b>3. Metodologia de treball</b>	<b>22</b>
3.1. Introducció	22
3.2. Disseny dels alerons	22
3.3. Mètode per la simulació	22
<b>4. Resultats</b>	<b>40</b>
4.1. Introducció	40
4.2. Resultats de les simulacions a 90 km/h	40
4.3. Resultats de les simulacions a 270 km/h	40
<b>5. Conclusions</b>	<b>42</b>
<b>6. Relació de documents</b>	<b>43</b>
<b>7. Bibliografia</b>	<b>44</b>
<b>8. Glossari</b>	<b>46</b>
<b>ANNEX A: PLÀNOLS</b>	<b>48</b>
GPG_TFG_001	49
GPG_TFG_002	50
GPG_TFG_003	51
GPG_TFG_004	52
<b>ANNEX B: INTRODUCCIÓ A L'AERODINÀMICA I A LA MECÀNICA DE FLUIDS</b>	<b>53</b>
B. AERODINÀMICA I MECÀNICA DE FLUIDS	54
Introducció	54

Conservació de l'energia	54
Equació de Bernoulli	54
Capa límit	55
Perfil alar	56
Angle d'atac	56
Perfil alar NACA 0025 d'atac	57
Coeficients aerodinàmics	58
Eficiència aerodinàmica	59
<b>ANNEX C: TAULA RESUM DELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ</b>	<b>60</b>
<b>ANNEX D: RESULTATS DE LES SIMULACIONS DEL MODEL 1</b>	<b>62</b>
Introducció	63
Resultats de les simulacions	63
Velocitat de 90 km/h:	63
Velocitat de 270 km/h:	65
<b>ANNEX E: RESULTATS DE LES SIMULACIONS DEL MODEL 2</b>	<b>68</b>
Introducció	69
Resultats de les simulacions	69
Velocitat de 90 km/h:	69
Velocitat de 270 km/h:	71
<b>ANNEX F: RESULTATS DE LES SIMULACIONS DEL MODEL 3</b>	<b>74</b>
Introducció	75
Resultats de les simulacions	75
Velocitat de 90 km/h:	75
Velocitat de 270 km/h:	77
<b>ANNEX G: RESULTATS DE LES SIMULACIONS DEL MODEL 4</b>	<b>80</b>
Introducció	81
Resultats de les simulacions	81
Velocitat de 90 km/h:	81
Velocitat de 270 km/h:	83

# 1. Introducció

## 1.1. Antecedents

En el món de la competició automobilística sempre s'ha intentat trobar la perfecció i la màxima eficiència per poder vèncer als oponents. El camp de l'aerodinàmica no va ser trepitjat fins que no es van arribar als límits del moment d'altres camps com ara el dels motors, dels xassís o de les rodes. Al voltant dels anys 30, la marca automobilística BMW va començar a experimentar amb carenats amb millor rendiment aerodinàmic per les seves motocicletes de competició, ja que trobaven que mecànicament havien tocat sostre per la tecnologia de l'època. L'any 1934 van presentar oficialment la primera motocicleta amb carenat "aero" del moment: la BMW R7. El disseny estava inspirat en la sensació de velocitat i en els avions de l'època, els quals a causa de la II Guerra Mundial estaven en un moment de màxima expansió. Buscant fer referència a l'aerodinàmica, van anomenar aquest estil "Streamline" que, traduït, seria **línia de corrent**.



*Figura 1 BMW R7 any 1934*

Aquest model de BMW va ser modificat per Orley Ray Courtney, dissenyador de la marca Henderson (marca de motocicletes d'alt rendiment entre els anys 1912 i 1931). L'any 1935 Henderson ja no es dedicava a la producció de motocicletes a causa del Crac del 29. No obstant, l'empresa va presentar la 1930 Henderson KJ Streamline, una BMW modificada com una obra d'art sobre rodes. Tot i ser considerada una obra d'art, es tractava d'una motocicleta tetracilíndrica amb un total de 1.300 cc i 40 CV de potència màxima capaç d'assolir els 165km/h.



*Figura 2 1930 Henderson KJ Streamline any 1935*



Aquest disseny *Streamline* va servir de font d'inspiració més endavant on, passada la guerra i en un moment on les competicions entre motocicletes començaven a tenir fama i protagonisme entre la societat dels anys 60, les marques del moment com ara Ducati i Guzzi van començar a presentar motocicletes de competició amb dissenys d'aquest tipus, inspirats en l'*Streamline*, anomenats "*Dustbins*".

Seguint la línia futurista i de disseny aerodinàmic plantejat per Henderson però donant-li una volta de rosca més, les marques presents en campionats mundials i estatals van presentar motocicletes amb aquests dissenys *Dustbins*, amb un carenat fet d'alumini i conformat a mà, on tota la part davantera de la motocicleta quedava recollida dins d'aquest. Aquests dissenys van ser molt populars en observar que amb motors de baixa cilindrada i potència es podien aconseguir grans velocitats. La motocicleta del moment va ser la Moto Guzzi V8 de l'any 1957, la qual era propulsada per un motor V8 de 500cc refrigerat per aigua. D'aquesta hi havia dues versions: la de carrer, que entregava 78 CV de potència a 12000 rpm, presentava una transmissió de 4 marxes, un pes contingut de 148 kg, una aerodinàmica a l'estil *Dustbin* i aconseguia velocitats punta de 275 km/h i, la versió de competició, amb una transmissió de 6 marxes i pes rebaixat a 135 kg, que en condicions favorables va arribar a marcar 301 km/h.



**Figura 3 Moto Guzzi V8 any 1957**

Les impressionants xifres aconseguides per aquesta motocicleta estaven justificades per la baixíssima resistència a l'avanç ( $C_d$ ) que tenien. En el cas de la Moto Guzzi V8 presentava un  $C_d$  de 0,186 m<sup>2</sup>, un valor inferior a les motocicletes de MotoGP que trobem avui en dia competint.

Aquest disseny *Dustbin* presentava un gran benefici aerodinàmic per vèncer el vent frontal que xocava contra la motocicleta, però també presentava alguns desavantatges. Els impediments observats van ser principalment dos. El primer era que aquest carenat produïa grans turbulències en desplaçar tot l'aire frontal, de manera que el pilot era qui patia aquestes turbulències i a qui provocaven més desgast físic i psicològic. El segon desavantatge es devia a que la motocicleta quedava molt exposada i vulnerable als vents laterals, ja que la  $C_d$  era molt superior. A causa d'aquesta gran superfície ocupada pels laterals de la moto quan hi havia ràfegues o cops de vent laterals, el pilot havia de fer molt esforç per poder controlar la motocicleta i, a vegades, era fins i tot impossible de controlar. Si aquests dos desavantatges eren perillosos, en conjunt, encara ho eren més; tant, que van ser causants de gran nombre d'accidents durant l'època.

La era d'aquestes motocicletes amb carenat *Dustbin* va finalitzar l'any 1958, quan la Federació Internacional de Motociclisme (FIM) va prohibir-les per ser altament perilloses.

Els carenats van tornar a ser molt menys voluminosos, incorporant forats per no oposar tanta resistència lateral i l'avanç en el camp aerodinàmic va passar a un segon lloc a causa de les restriccions de la FIM.



*Figura 4* Honda RC181 any 1966

L'únic disseny que intentaven millorar les marques va ser el de la cúpula, intentant no produir turbulències al casc del pilot per reduir la fatiga produïda pel xoc frontal del vent. Per aconseguir-ho, les escuderies han incorporat al llarg del anys diferents solucions aerodinàmiques, la majoria heretades de la indústria aeroespacial. Poc a poc es van anar implementant múltiples tecnologies com ara aletes, generadors de turbulències o alerons que aconseguien desviar aquestes turbulències lluny del pilot. Aquestes tecnologies, tot i ser exitosament implementades, es contradeien amb l'aerodinàmica vista fins al moment, ja que es buscava augmentar el  $C_d$  amb l'objectiu d'aconseguir que el pilot es trobés en una zona sense turbulències i, per tant, no patís tant desgast físic.

L'any 2016 l'escuderia de MotoGP Ducati va presentar un carenat amb alerons desmuntables que, segons les característiques del circuit on es competís, s'utilitzaven d'una manera o d'una altra. Aquests produïen sobre el tren davant de la moto una força vertical cap al terra que millorava les prestacions de la motocicleta. Ducati va ser l'única marca que va implementar aquesta tecnologia i, per tant, va ser l'única que es va poder beneficiar del gran avantatge que suposava: l'*anti-wheelie*, una reducció de l'aixecament de la roda del davant. Això permetia al pilot accelerar de manera més contundent sense patir tant la pèrdua de tracció a la roda davantera, de manera que tant per maniobrar com per frenar, permetia fer-ho amb més seguretat i aplom.

Aquests alerons, situats sota la cúpula de la motocicleta, es poden observar a continuació:



**Figura 5 Ducati Desmosedici GP16**

Després d'un seguit de Gran Premis on Ducati va presentar un rendiment en cursa superior a les altres marques i d'un contacte entre Marc Márquez i un dels alerons de la motocicleta d'Andrea Dovizioso enmig d'un avançament, els equips i els aficionats van pressionar la FIM perquè procedís a la prohibició d'aquests alerons catalogats com a perillosos.



**Figura 6 Marc Márquez i Andrea Dovizioso al GP Argentina 2016**

La temporada 2017 de MotoGP va ser una temporada en la que cap de les motocicletes portava alerons com els que havia presentat Ducati l'any anterior, i les motos tenien molta semblança amb les de la temporada 2015.

A finals de la temporada 2017, els equips van començar a provar les motocicletes per la propera temporada, i es van començar a observar uns carenats aerodinàmics molt desenvolupats. Aquests, incorporaven més alerons que els de la temporada 2016 però més ben col·locats i integrats al carenat. Les marques, després d'haver estudiat el reglament, van trobar un buit legal a l'hora de definir les ajudes aerodinàmiques, ja que no es permetien els alerons però no es parlava de fer els carenats més aerodinàmics amb alerons integrats en ells i sense arestes pronunciades o perilloses. Així doncs, els alerons eren tancats i ben integrats, els beneficis aerodinàmics eren majors i la FIM no podia oposar-s'hi degut al buit legal.

A partir de la temporada 2018 es van anar observant millores aerodinàmiques en els carenats de MotoGP i la FIM va dir públicament que estaven molt a favor d'aquests progressos ja que les marques estaven arribant al límit en alguns camps com ara l'electrònica o la motorització.



**Figura 7 Ducati Desmosedici GP16 i Ducati Desmosedici GP18**

Els tres dissenys d'alerons utilitzats per les tres escuderies capdavanteres en el campionat de motociclisme aquest any 2020 serviran com a guia per a desenvolupar els models a estudiar. Aquests, extrets dels dissenys reals, han de complir amb la normativa que marca el reglament tècnic del campionat. Les tres grans escuderies de les que s'ha parlat en aquest paràgraf es mostren a continuació, a la *Figura 8*, on veiem la Honda RC-213V 2020, la Ducati Desmosedici GP20 i la Yamaha M1 2020.



**Figura 8 Honda RC-213V 2020, Ducati Desmosedici GP20 i la Yamaha M1 2020**

## 1.2. Objecte del projecte

L'objecte del projecte és l'obtenció dels coeficients aerodinàmics de càrrega aerodinàmica (CL) i de resistència a l'avanç (CD) de cadascun dels quatre dissenys (motocicleta sense alerons i els tres models d'alerons). Aquests coeficients s'estudiaran a dues velocitats diferents per tal de fer un balanç més precís dels avantatges i desavantatges de cada disseny. La velocitat mitjana en una carrera del mundial de motociclisme és aproximadament de 170 km/h i la velocitat màxima pot arribar a ser d'uns 350 km/h. Amb aquestes dades sobre la taula es poden establir dues velocitats per a fer l'estudi. Així doncs,

les velocitats a estudiar per a cada disseny seran de 90 km/h (velocitat per simular l'entrada en corba) i de 270 km/h (velocitat per simular la motocicleta al 75% de la recta principal).

Un cop recollits tots els resultats s'avaluarà quin disseny presenta un millor pas per corba i quin afavoreix més l'aplom de la motocicleta a altes velocitats.

## 1.3. Especificacions i abast

### 1.3.1. Especificacions

Requeriments de cada disseny:

- Els alerons han de ser estructures tancades per complir la normativa del reglament.
- La semblança del disseny estudiat amb el disseny original de cada escuderia ha de ser el més exacte possible per a obtenir un resultat més real.
- En cap cas es poden sobrepassar les mesures màximes permeses pel reglament. (ho trobarem en la *Taula 1* de l'apartat *2.1 Motocicleta inicial*)

### 1.3.2. Abast

El disseny de la motocicleta original, a la qual després s'hi afegirà el disseny d'alerons propis de cada escuderia, es realitzarà mitjançant programes de dibuix 3D com SOLIDWORKS®. El disseny dels alerons també es farà mitjançant aquesta eina. L'anàlisi aerodinàmic de cada disseny es farà mitjançant el mòdul CFX de ANSYS®, un software capaç de generar una simulació d'un túnel de vent. Per la recollida de les dades, l'avaluació de cada disseny i concloure l'estudi s'usarà una eina d'Office, l'Excel, on es compararan els resultats.

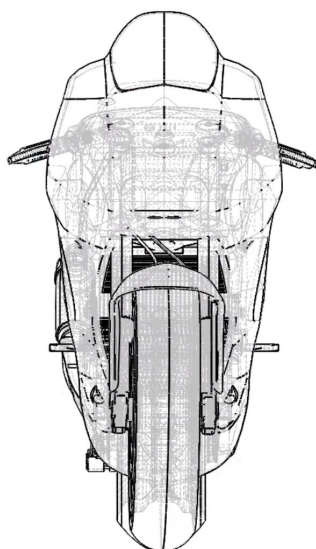
## 2. Descripció de la motocicleta

### 2.1. Motocicleta inicial

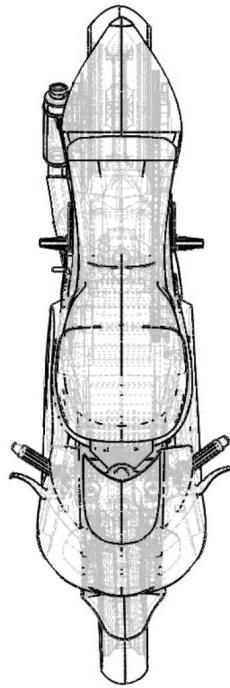
El model inicial en el que s'ha inspirat la base de les motocicletes per l'estudi és una Yamaha YZR-M de la temporada 2010 de MotoGP, pilotada en aquell moment per Valentino Rossi i Jorge Lorenzo. Aquesta motocicleta era la que presentava millor rendiment aerodinàmic en aquella època, fet que va contribuir a que Jorge Lorenzo es proclamés guanyador de la categoria després de les divuit carreres que va tenir aquella temporada. En les següents figures es pot observar un esbós de la motocicleta en qüestió en diferents vistes:



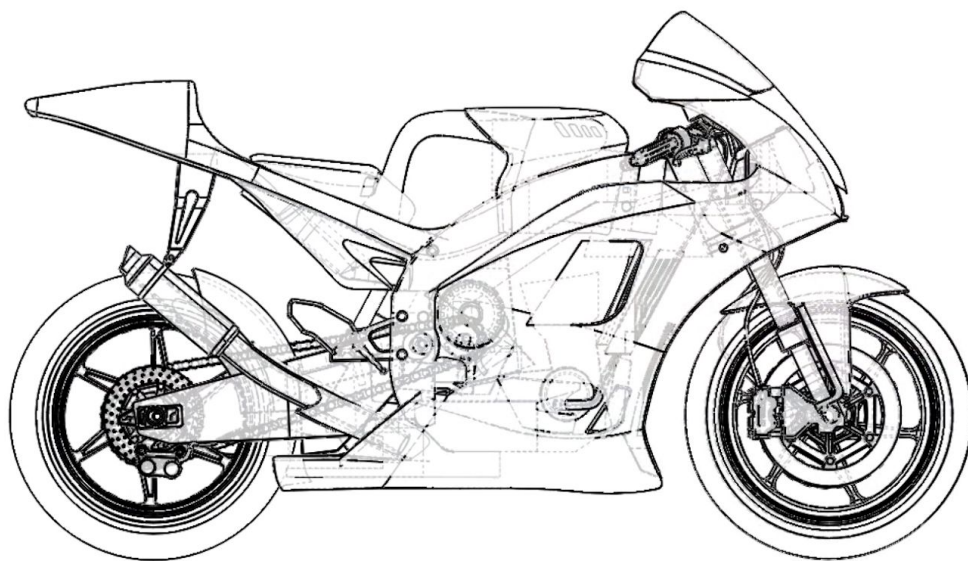
*Figura 9 Vista en perspectiva de la Yamaha YZR-M 2010*



*Figura 10 Alçat de la Yamaha YZR-M 2010*



**Figura 11 Planta de la Yamaha YZR-M 2010**



**Figura 12 Perfil de la Yamaha YZR-M 2010**

Totes les motocicletes del campionat han de complir les característiques que es resumeixen en la següent taula:

Cilindrada del motor	1.000 cc
Nombre de cicles del motor	Quatre temps (4T)
Nombre de cilindres	4
Vàlvules per cilindre	4
Refrigeració	Líquida
Tipus de transmissió	Per cadena
Longitud màxima	2.052 mm
Amplada màxima	645 mm
Altura màxima	1.110 mm
Distància entre eixos	1.435 mm
Diàmetre de llanta davantera	17"
Diàmetre de llanta posterior	17"
Sistema de frenada davanter	Doble disc de carboni amb pinces de quatre pistons
Sistema de frenada posterior	Un disc d'acer mossegat per una pinça de doble pistó

**Taula 1 Característiques que han de complir les motocicletes de MotoGP en la temporada 2020**

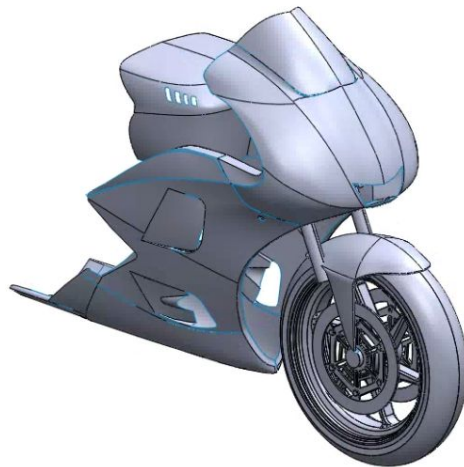
## 2.2. Adaptació de la motocicleta per l'estudi

Treballant amb la versió Student de Ansys CFX, disposava d'un programa limitat, amb una capacitat de càlcul reduïda respecte la versió professional. Amb el model inicial plantejat ens vam trobar que sobrepassavem els 512.000 nodes disponibles d'aquesta versió, i per tant s'hauria de reduir i simplificar el model per poder fer les simulacions corresponents.

El primer intent de simplificar el model de partida es centrava en reduir al mínim el nombre d'elements de la nostra motocicleta de manera que només ens quedéssim amb el carenat, la forquilla de la suspensió davantera i la roda del davant.

A fi de poder-nos fer una idea més clara de l'objectiu d'aquesta simplificació, a continuació s'adjunta la *Figura 13*, una representació 3D extreta directament del Solidworks.

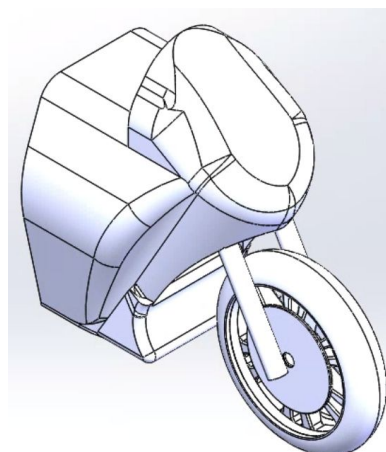




**Figura 13 3D de la primera simplificació**

Tot i reduir pràcticament a la meitat el nostre model, no complíem els requisits de la llicència d'estudiant. Per mirar de solucionar aquesta situació, consultar al Dr. Fernando Julián Pérez i Dr. Xavier Espinach, experts en el departament de disseny de la Universitat de Girona, semblava la millor opció per poder mirar d'adaptar l'arxiu de la motocicleta a un format i mida que ANSYS reconegués correctament. Tots dos experts van mirar, sense èxit, com fer aquesta adaptació i, finalment, es va arribar a la conclusió que mirar de fer la motocicleta sense superfícies complexes ni gran nombre d'obertures en el carenat era la solució al problema present durant aquelles setmanes d'estudi i recerca per correcta l'adaptació del model. També van recomanar eliminar del conjunt elements com ara el parafang davanter, els radis dels discos de fre i les entrades d'aire del carenat.

El nou disseny del model amb les recomanacions dels dos experts es va dur a terme satisfactòriament sempre mirant de conservar el màxim possible del disseny original de la motocicleta. Aquest segon intent de simplificar el nostre model de partida, mostrat a continuació, a la *Figura 14*, va ser reconegut exitosament pel programa de simulació.

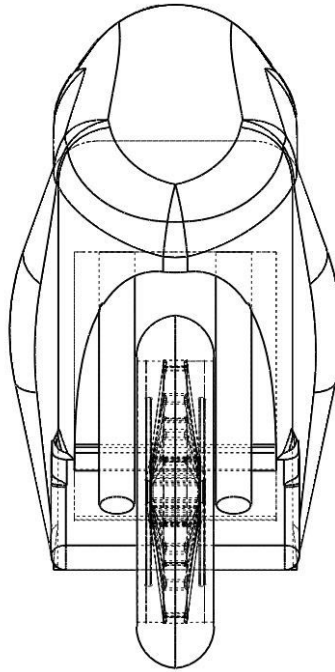


**Figura 14 3D per simulació (segona simplificació)**

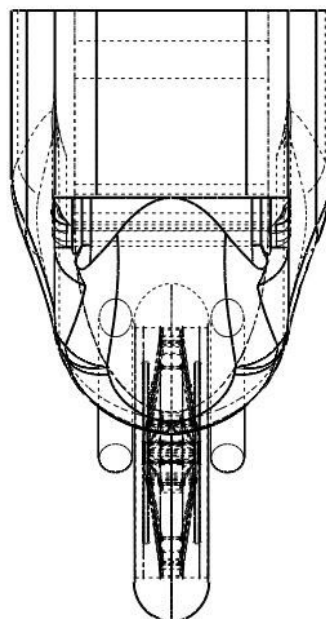
## 2.3. Dissenys a estudiar

### 2.3.1. Motocicleta original sense alerons

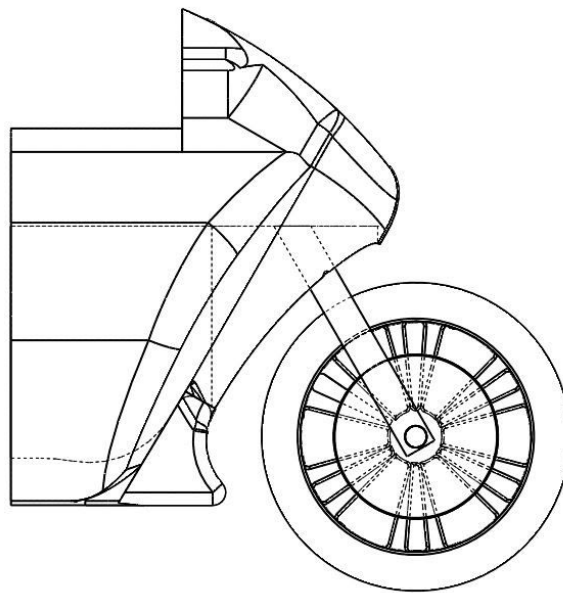
Tal i com es va especificar prèviament, el primer disseny a estudiar és el de la nostra motocicleta de sèrie i sense alerons. Aquest disseny es pot observar a les següents figures (15, 16 i 17) en forma d'esbós i en el plànol (GPG\_TFG\_001) que hi ha a l'ANNEX 1: PLÀNOLS, on s'hi indiquen les cotes més rellevants.



*Figura 15 Alçat del model original*



*Figura 16 Planta del model original*



**Figura 17 Perfil del model original**

### 2.3.2. Motocicleta original amb alerons de carenat estil Honda RC-213V 2020

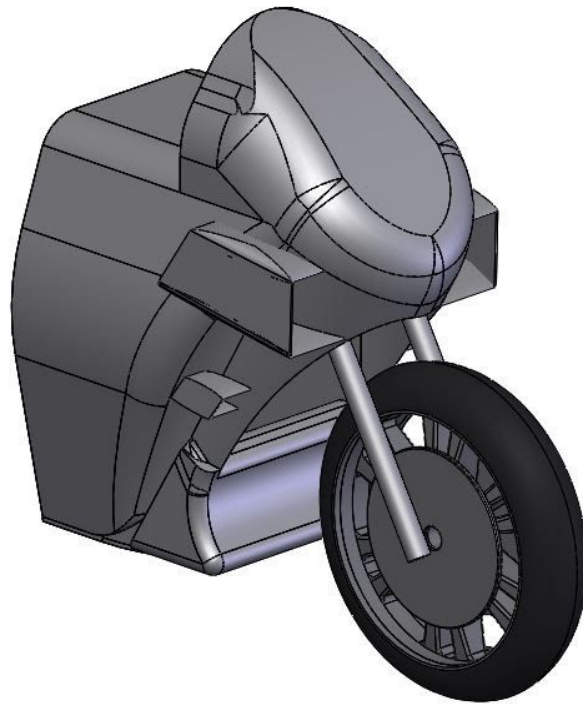
Els primers alerons implementats al disseny inicial van ser els de l'escuderia Honda HRC. Aquests alerons es caracteritzen per estar separats pels superiors, de grans dimensions i situats a cúpula del carenat, i pels inferiors, de reduïdes dimensions i amb més paral·lelisme respecte el terra. En aquest disseny d'alerons es destaca el contrast de mida d'uns alerons amb els altres, així com la similitud geomètrica que tenen.

A continuació es pot observar una imatge real d'aquest sistema d'alerons (*Fig. 18*), seguida de les figures 19, 20, 21 i 22 on en forma d'esbós podem observar el nostre disseny original amb els alerons d' Honda.

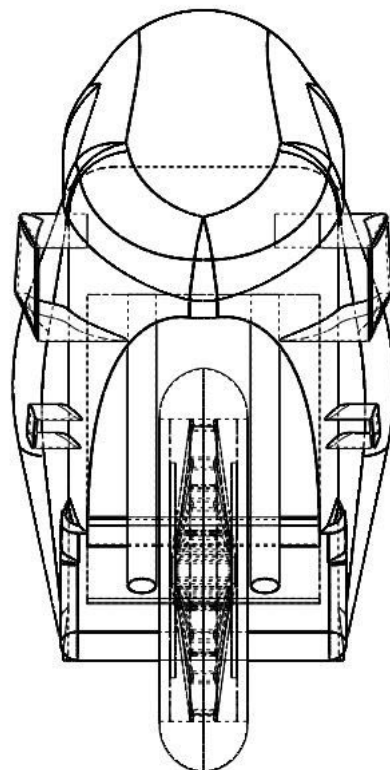
En aquest cas també trobarem a l'ANNEX 1: PLÀNOLS el plànol d'aquest disseny (GPG\_TFG\_002) amb les mides a destacar-hi.



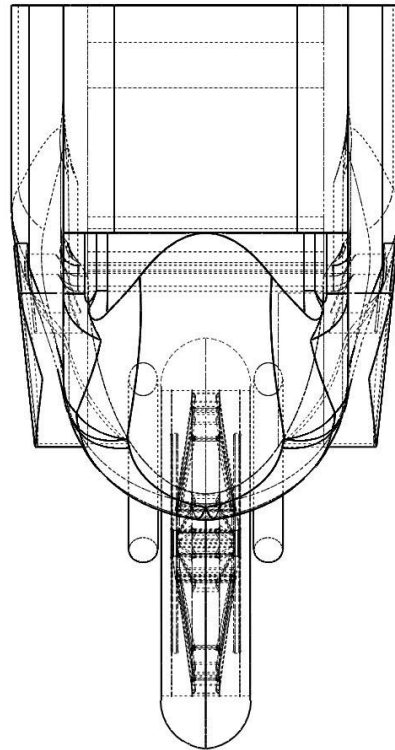
**Figura 18 Sistema aerodinàmic davanter de la Honda RC-213V 2020**



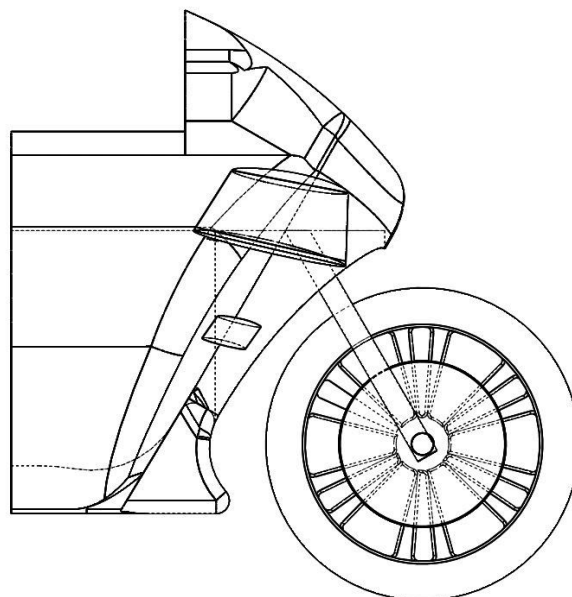
**Figura 19** Vista en perspectiva del model amb alerons de la Honda RC-213V 2020



**Figura 20** Alçat del model amb alerons de la Honda RC-213V 2020



**Figura 21 Planta del model amb alerons de la Honda RC-213V 2020**



**Figura 22 Perfil del model amb alerons de la Honda RC-213V 2020**

### 2.3.3. Motocicleta original amb alerons de carenat estil Yamaha M1 2020

El segon disseny d'alerons implementat al nostre model base fou el de les Yamaha M1 2020, un disseny molt diferent al de la resta de marques de la competició excepte de les Suzuki. Aquest disseny d'alerons constava de dues parts: primerament d'un

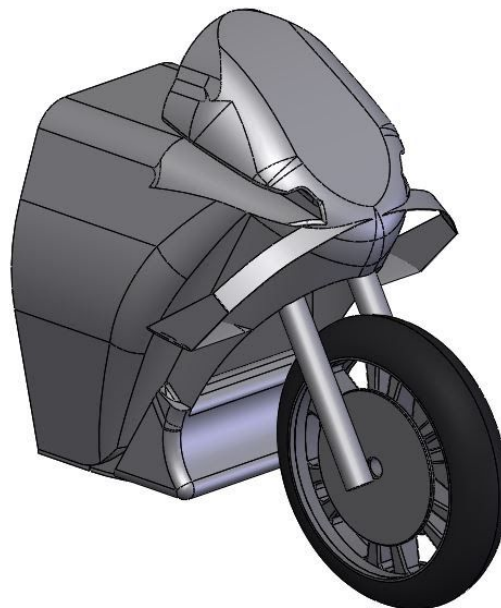
sol aleró que unia la cúpula amb la part mitja del carenat del motor i seguidament d'unes entrades d'aire pels laterals de la cúpula que feien que la motocicleta fos més punxant amb l'aire, com una fletxa.

Aquest disseny va suposar que el model fos el més ample, ocupant la màxima amplitud permesa amb una cota de 645 mil·límetres.

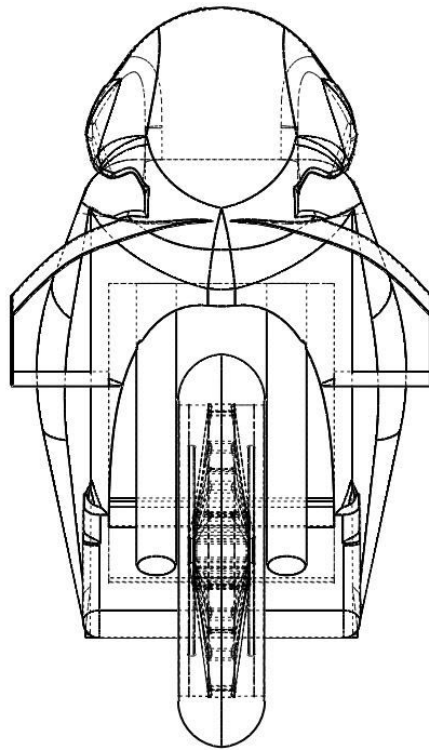
Com en la resta de dissenys, a continuació es presenta la *Figura 23*, on es mostra una fotografia de la part davantera de la Yamaha M1 2020 seguida de les figures 24, 25, 26 i 27 on en forma d'esbós trobem el nostre disseny original amb els alerons corresponents. Juntament amb els altres plànols, a l'*ANNEX 1: PLÀNOLS* hi trobarem el plànol GPG\_TFG\_003 amb cotes genèriques del disseny plantejat.



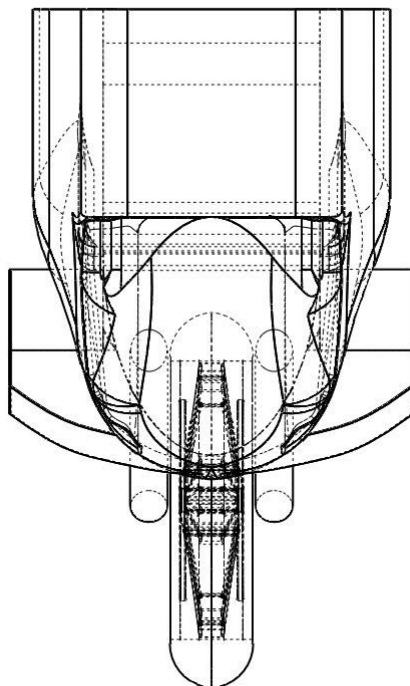
*Figura 23* Sistema aerodinàmic davant de la Yamaha M1 2020



*Figura 24* Vista en perspectiva del model amb alerons de la Yamaha M1 2020



**Figura 25** Alçat del model amb alerons de la Yamaha M1 2020



**Figura 26** Planta del model amb alerons de la Yamaha M1 2020

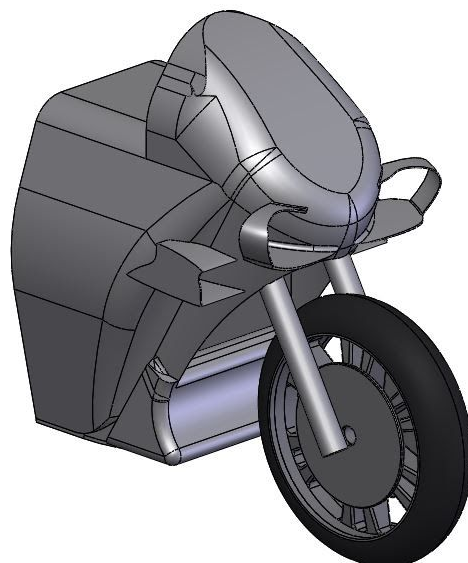
### 2.3.4 Motocicleta original amb alerons de carenat estil Ducati Desmosedici GP20

Finalment hi va haver la implementació del sistema aerodinàmic de Ducati present a la motocicleta de la temporada 2020. Aquest disseny presenta un sistema de doble aleró per costat amb una complexitat superior a dels models anteriors que hem vist. Tal i com es pot veure a continuació (*Figura 27*), els alerons de la part mitja del carenat són de major magnitud respecte als de la Honda, amb una geometria més complexa i irregular. En segon lloc observem uns alerons a la zona de la cúpula amb una part inferior molt més ampla que la superior, inclinats lleugerament cap al terra per augmentar la superfície de contacte amb l'aire que impacta per la part davantera de la motocicleta.



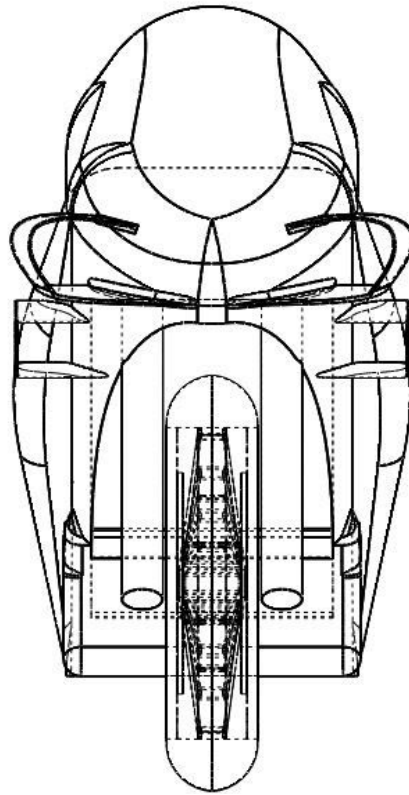
*Figura 27* Sistema aerodinàmic davant de la Ducati Desmosedici GP20

A continuació podem observar les figures 28, 29, 30 i 31 on es veu en forma d'esbós el nostre model amb els alerons d'aquesta Ducati Desmosedici GP20.

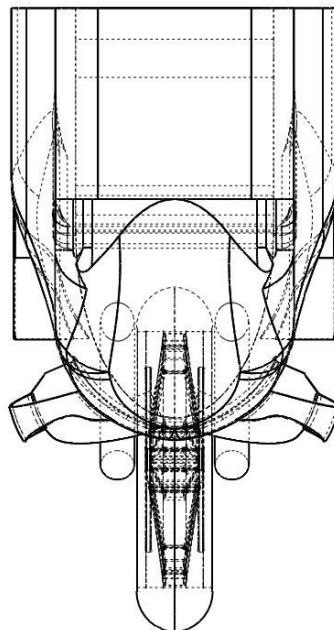


*Figura 28* Vista en perspectiva del model amb alerons de la Ducati Desmosedici GP20

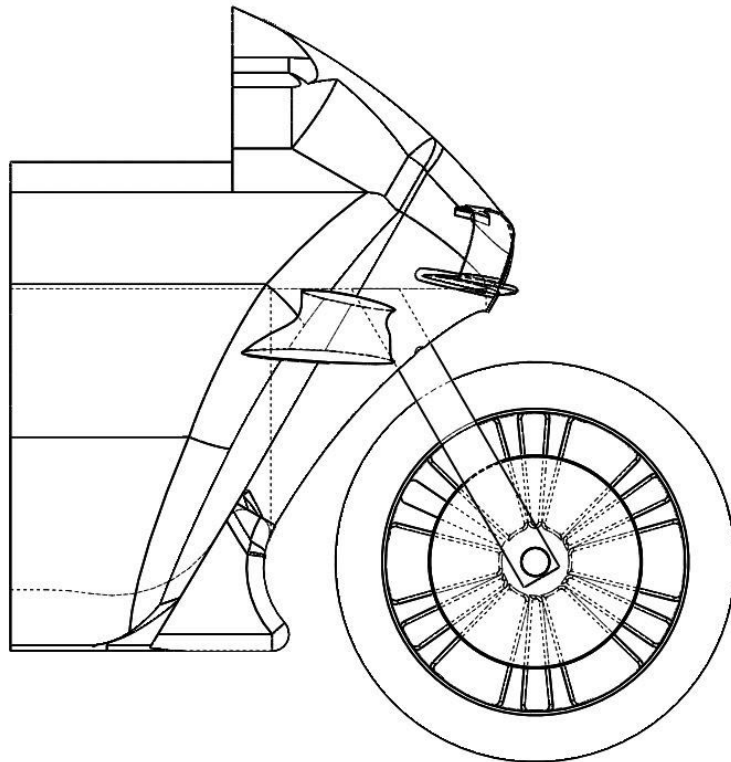




*Figura 29* Alçat del model amb alerons de la Ducati Desmosedici GP20



*Figura 30* Planta del model amb alerons de la Ducati Desmosedici GP20



**Figura 31 Perfil del model amb alerons de la Ducati Desmosedici GP20**

Pel model plantejat en aquest apartat també trobarem el seu plànol corresponent (GPG\_TFG\_004) a l'ANNEX A: PLÀNOLS.

## 3. Metodologia de treball

### 3.1. Introducció

En aquest capítol s'explicarà la metodologia seguida per aconseguir els coeficients aerodinàmics, l'objecte del projecte, partint dels tres dissenys d'alerons presentats en l'apartat anterior i implementant un perfil alar amb variacions dimensionals en funció de cada equip.

### 3.2. Disseny dels alerons

Amb la implementació dels sistemes aerodinàmics de cada marca al nostre model ens vam assegurar que s'ajustessin a la normativa pròpia de la competició, de manera que com a mínim es complissin els requeriments plantejats en l'apartat *1.3.1 Especificacions*.

Com que la normativa de la competició, com en moltes altres competicions, no restringeix el perfil alar a un en concret i es deixa escollir als enginyers de cada equip en funció de quin rendiment es busqui i de les mides necessàries per a la ubicació de l'aleró, es va optar per un perfil alar subsònic. En el nostre cas, l'escollit va ser un perfil alar NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) de 4 dígit: **0025** (ANNEX B: INTRODUCCIÓ A L'AERODINÀMICA I A LA MECÀNICA DE FLUIDS).

### 3.3. Mètode per la simulació

Com s'ha explicat anteriorment a l'apartat *1.2 Objecte del projecte*, aquest consisteix en obtenir els coeficients aerodinàmics dels 4 dissenys diferents plantejats anteriorment a dues velocitats cada un. És per això que farem vuit estudis diferents per obtenir tots els paràmetres necessaris.

A continuació s'explica com s'han dut a terme les simulacions i quins passos s'han seguit per l'obtenció dels resultats, que seran presentats més endavant. Abans, però, veurem un breu resum de com es va fer la transició de l'arxiu de SolidWorks a ANSYS.

Un cop considerada definitiva la geometria presentada anteriorment (apartat *2.3.1 Motocicleta original sense alerons*), s'ha reduït el model a només una de les seves meitats simètriques. Un cop la motocicleta ha estat simplificada, s'ha creat tot el volum d'aire que envoltarà el model durant la simulació. Per definir les dimensions d'aquest volum d'aire es fa servir el cas del model de vehicle d'Ahmed, en el que el volum d'aire ve determinat per les mides que presenta l'objecte a estudiar. A continuació trobem una imatge (*Figura 32*) on es veuen resumides aquestes relacions i, tot seguit, una captura (*Figura 33*) de com queda el nostre volum seguint aquestes indicacions.

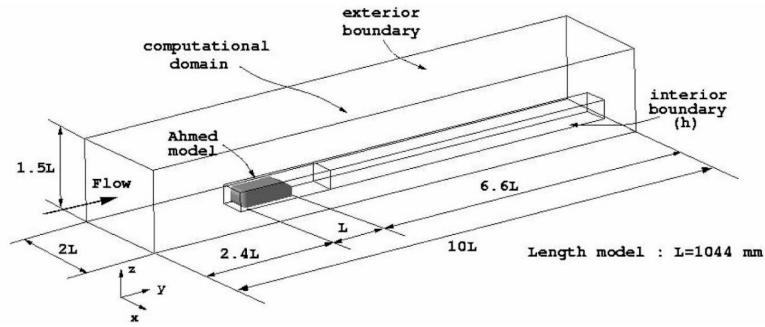


Figura 32 Resum de les relacions del model de vehicle d'Ahmed

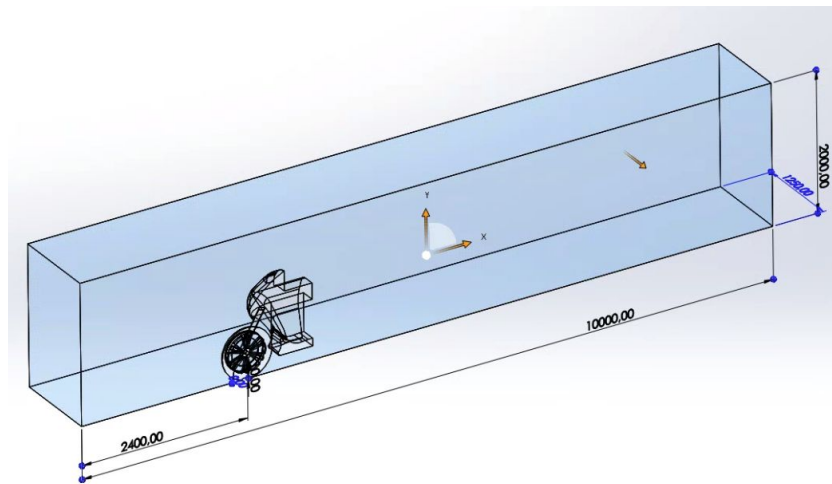


Figura 33 Dimensions del volum d'aire de l'estudi

Un cop queda definit aquest volum d'aire, es fa servir l'eina "Combinar" de SolidWorks amb la variant "Eliminar" per dur a terme una operació booleana d'extracció. Aquesta operació també la podríem fer a l'ANSYS directament, però tenint més pràctica amb Solidworks pot resultar més fàcil. Tal i com es mostra a continuació, obtenim com a resultat el volum d'aire que envolta la motocicleta. Aquest pas es veu a la captura següent ( Figura 34).

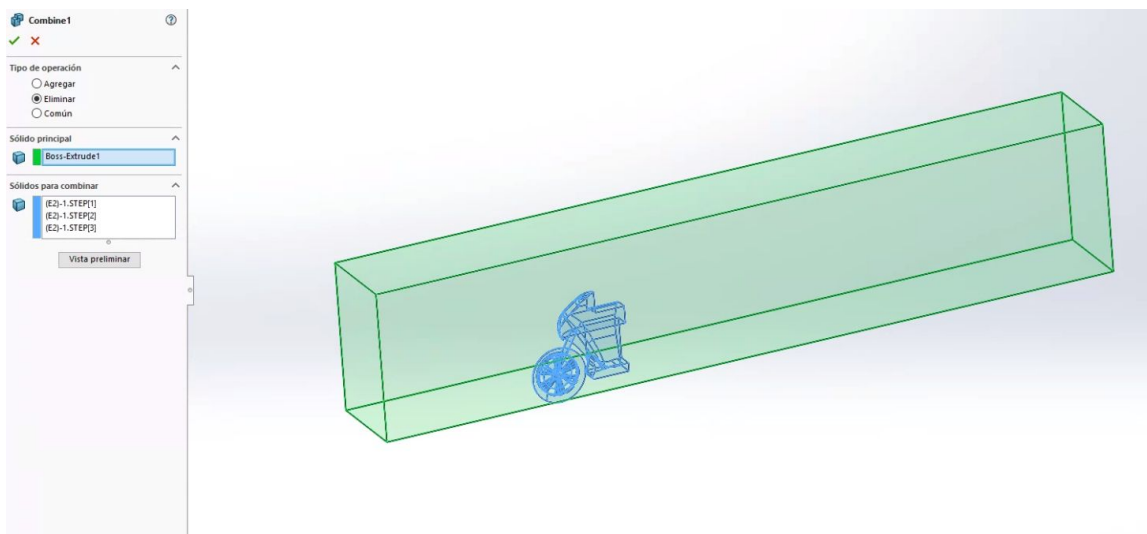
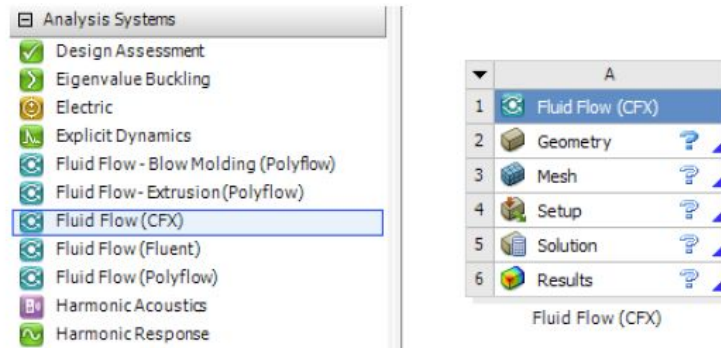


Figura 34 Operació booleana d'extracció del volum de la motocicleta

Un cop aquesta operació és completada exitosament, ja es pot exportar el sòlid en format *IGES* per importar-lo amb *l'ANSYS* i poder configurar el túnel de vent virtual.

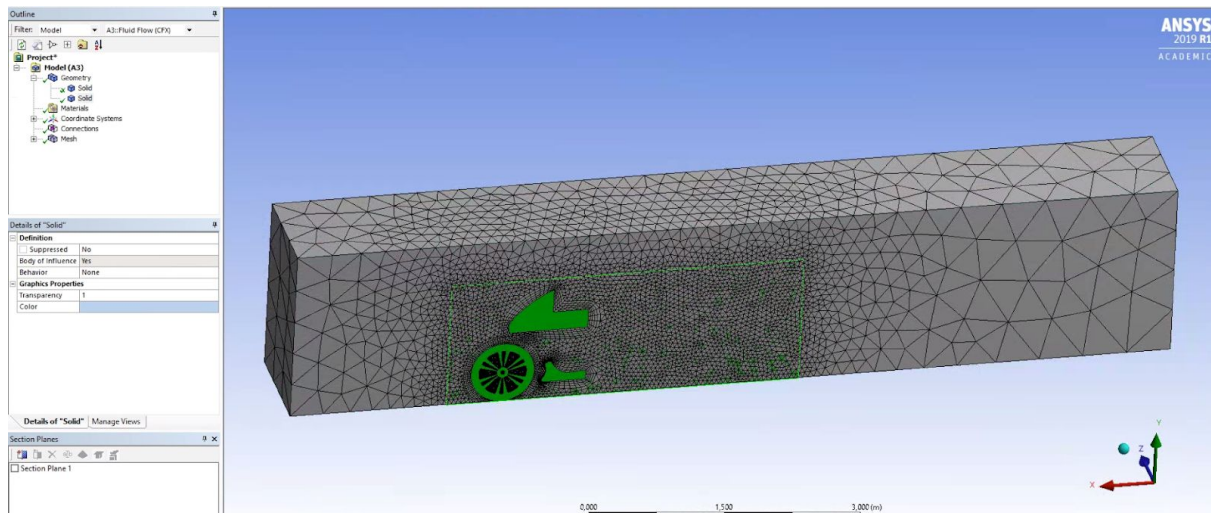
Per a dur a terme les simulacions s'ha optat per utilitzar un dels programes d'elements finits més utilitzats i potents a nivell mundial, *ANSYS Workbench*, amb el mòdul de Fluid Flow (*CFX*) com a sistema d'anàlisi. A la *Figura 35* que es mostra a continuació, s'hi observa com activar aquest sistema d'anàlisi.



**Figura 35 Activació del mòdul CFX d'ANSYS Workbench**

Mitjançant l'eina de condició de simetria que ofereix el programa, es pot fer l'estudi de només mig model indicant que aquest cos és només una meitat simètrica del conjunt real. Això ens permet poder augmentar la qualitat del mallat en les zones més conflictives (capa límit del sistema) sense sobrepassar el nombre màxim de nodes que ens permet el programa i aconseguir una simulació més precisa i realista.

Per reduir la mida del mallat de la zona més interessant a estudiar (zona propera a la superfície del carenat de la motocicleta), afegirem un nou prisma de dimensions molt més petites a les del volum d'aire que s'ha fet amb *SolidWorks*. Aquest prisma ens determinarà l'espai d'aire que volem estudiar amb més precisió. El volum d'aire amb un mallat més precís es pot observar en la següent captura, extreta d'*ANSYS* (*Figura 36*), on el rectangle verd determina aquest espai.



**Figura 36 Mallat de precisió vora la superfície de la motocicleta**

Per fer el mallat de tot el volum de la manera que hem observat a la captura anterior, primerament hi definim els paràmetres que s'adjunten a la *Figura 37* per generar el mallat "simple" per tot el volum d'aire.

Details of "Mesh"	
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	CFX
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	0,5 m
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizi...	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (1, m)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,5e-003 m)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Mi...	Default (5, e-003 m)
<input type="checkbox"/> Curvature Nor...	Default (18,°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Di...	10,276 m
Average Surface ...	0,16722 m <sup>2</sup>

*Figura 37* Paràmetres del mallat normal

Un cop aquest mallat s'ha completat afegim un nou mallat de més precisió al nou prisma més petit. Mitjançant l'opció "*Mesh Sizing/Body Sizing*", reduïm la mida de l'element finit. Aquesta reducció es pot observar a continuació (*Figura 38*), on la mida de l'element és de 0,05 metres:

Details of "Body Sizing" - Sizing	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Body of Influence
Bodies of Influence	1 Body
<input type="checkbox"/> Element Size	5,e-002 m
<b>Advanced</b>	
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)

*Figura 38* Paràmetres establerts al *Body Sizing*

Per veure com es comporta el mallat en la zona de la capa límit s'aplicarà el mètode "*Inflation*", que ens permet crear una sèrie de capes de mallat de més precisió properes a la superfície del nostre cos a estudiar. Aquestes capes van perdent precisió a mesura que s'allunyen del cos. En les següents imatges (*Figures 39 i 40*) s'observa com queda aquest mallat i quins paràmetres s'han introduït a la *Inflation*.

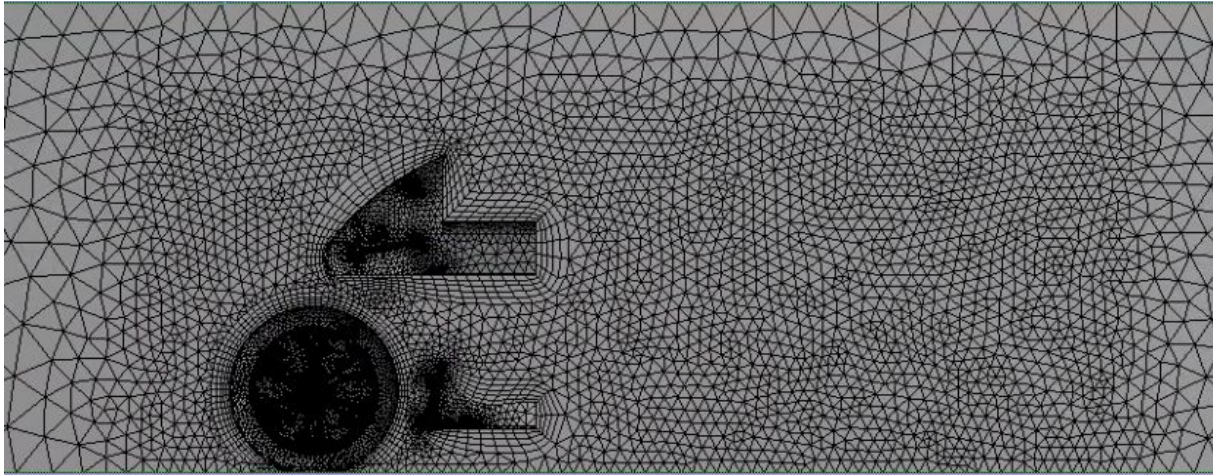


Figura 39 Resultat de la Inflation

Details of "Inflation" - Inflation	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
[-] Definition	
Suppressed	No
Boundary Scoping Method	Geometry Selection
Boundary	526 Faces
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	Default (0,77)
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,1
Inflation Algorithm	Pre

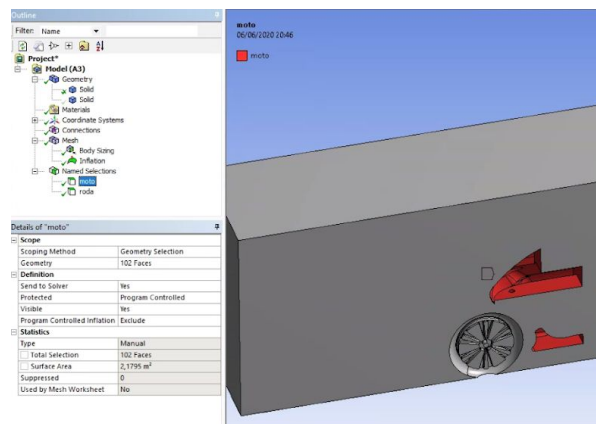
Figura 40 Paràmetres establerts a la Inflation

A la Figura 41 es poden observar el nombre d'elements del mallat i de nodes. Aquests últims, són inferiors a 500.000, de manera que és factible realitzar la simulació amb la versió d'estudiant.

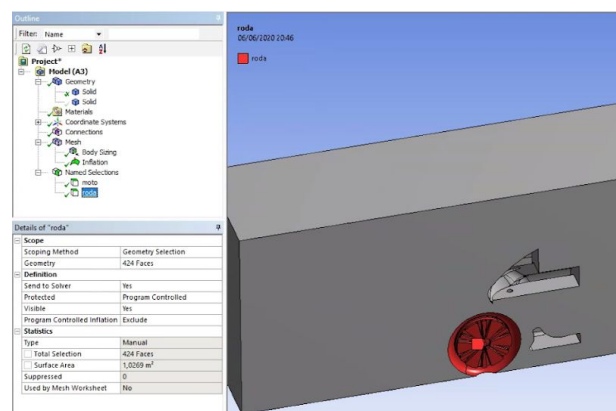
Details of "Mesh"	
[-] Display	
Display Style	Use Geometry Setting
[-] Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	CFX
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	0,5 m
[+] Sizing	
[+] Quality	
[+] Inflation	
[+] Advanced	
[-] Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	198088
<input type="checkbox"/> Elements	735678

Figura 41 Nombre d'elements del mallat i de nodes

El següent pas a realitzar en aquesta extensió del programa és el d'agrupar cares generades durant la importació del sòlid en un sol cos per poder treballar d'una manera més senzilla durant la simulació. En total s'han creat dues agrupacions de cares: moto (*Figura 42*) i roda (*Figura 43*). Aquestes s'han fet de manera independent perquè ens interessa estudiar aerodinàmicament la moto i no el conjunt.



**Figura 42 Agrupació de cares amb el nom de moto**



**Figura 42 Agrupació de cares amb el nom de roda**

Un cop el mallat ha estat generat passem a utilitzar el mòdul *Setup* del *Workbench* en que introduïrem paràmetres com la velocitat, el tipus de fluid que trobem al sistema i les rugositats de cada element, entre d'altres.

Primerament definirem les cares i les agrupacions de cares del sòlid importat indicant si aquestes són d'entrada de fluid, sortida de fluid o si es troben en una zona neutra. Trobarem el llistat de les cares esmentades en la *Figura 44*:



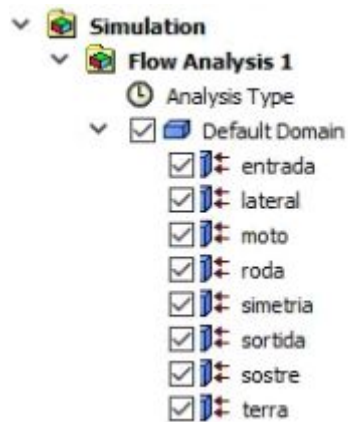


Figura 44 Nombre d'elements del mallat i de nodes

Per definir les cares seguirem els següents procediments:

- Entrada: utilitzarem l'eina "Boundary" amb el tipus "Inlet" i seleccionarem la cara d'entrada del fluid (Figura 45). A continuació indicarem a la pestanya de detalls que tenim un flux subsònic i la seva velocitat (Figura 46).

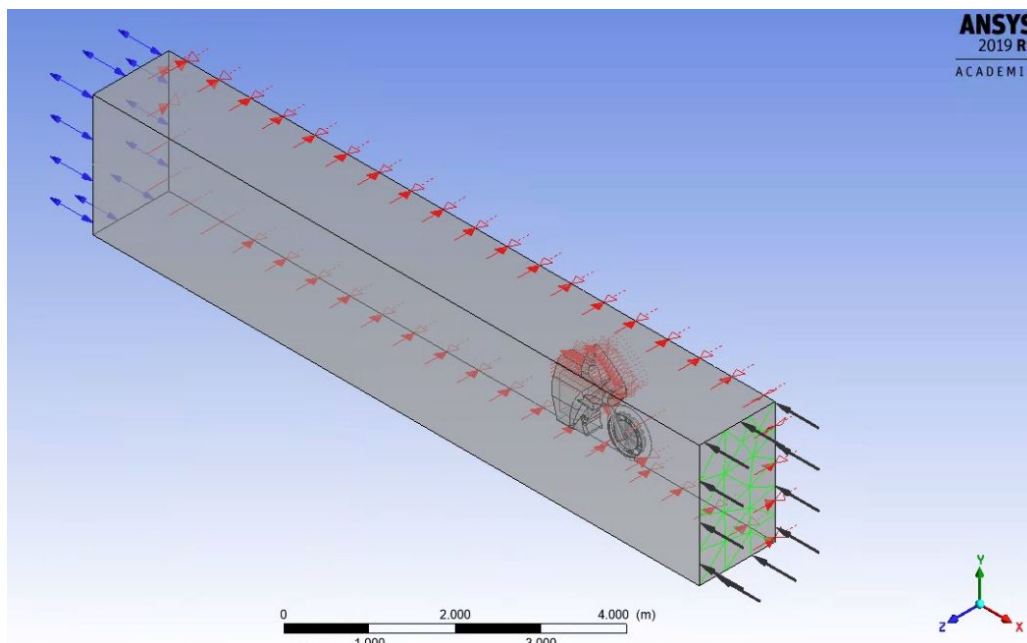


Figura 45 Definició de la cara d'entrada

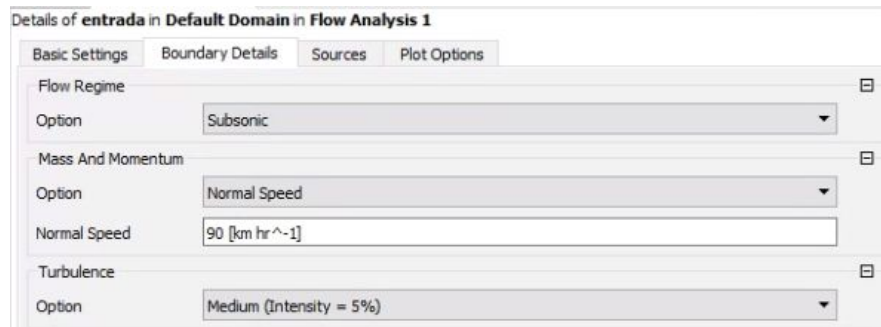


Figura 46 Detalls del flux d'entrada

- Lateral: utilitzarem l'eina "Boundary" amb el tipus "Wall" i seleccionarem la cara exterior (Figura 47). A continuació indicarem a la pestanya de detalls l'opció "Free Slip Wall".

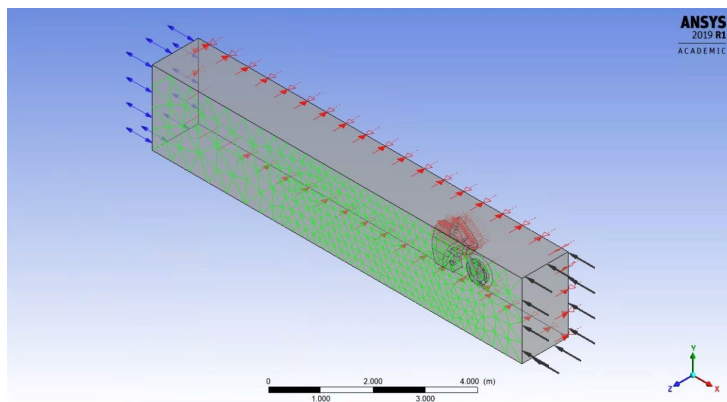


Figura 47 Definició de la cara lateral

- Moto (conjunt de cares): utilitzarem l'eina "Boundary" amb el tipus "Wall - No Slip Wall - Smooth Wall" i seleccionarem el conjunt de cares **moto** (Figura 48).

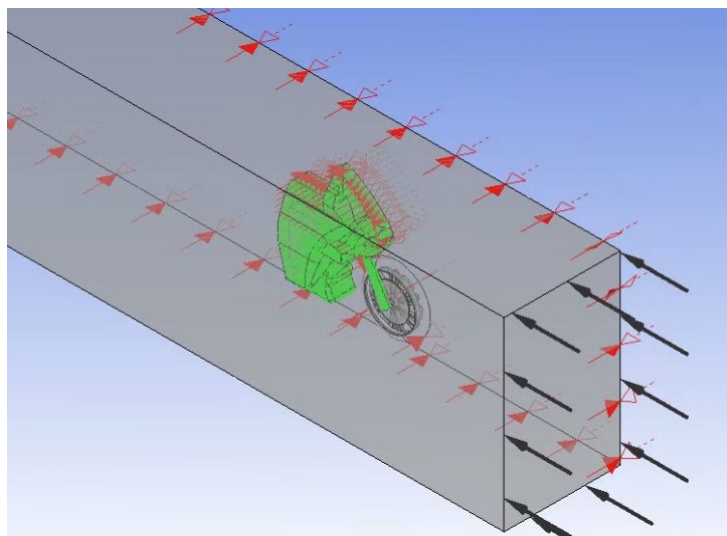
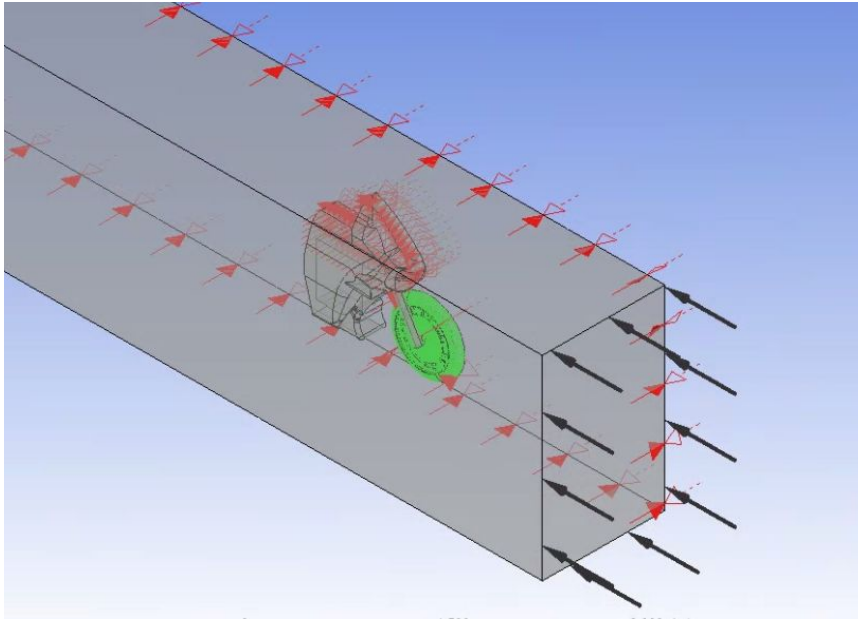


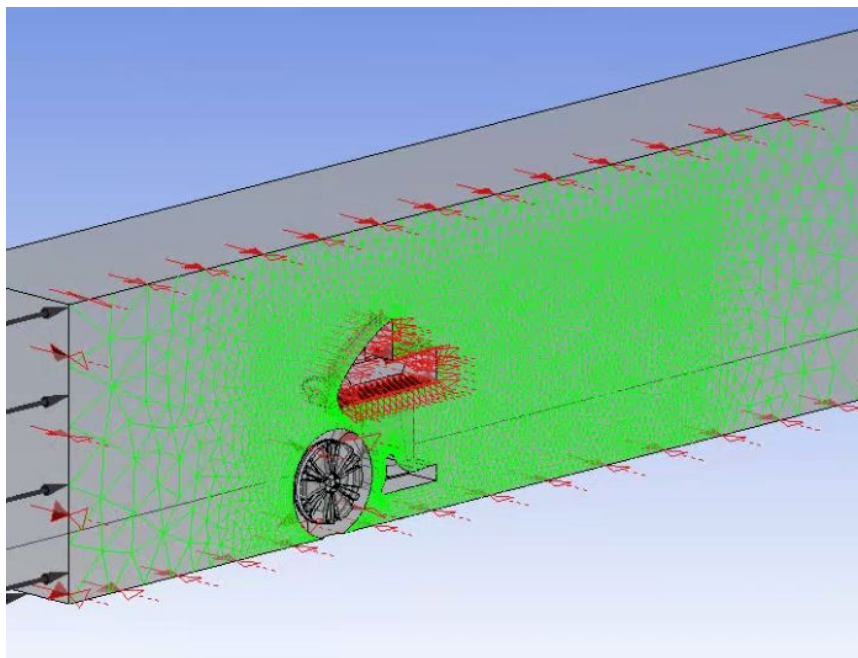
Figura 48 Definició del conjunt de cares moto

- Roda (conjunt de cares): utilitzarem l'eina "Boundary" amb el tipus "Wall - No Slip Wall - Smooth Wall" i seleccionarem el conjunt de cares **roda** (Figura 49).



**Figura 49 Definició del conjunt de cares roda**

- Simetria: utilitzarem l'eina "Boundary" amb el tipus "Symmetry" i seleccionarem la cara divisòria central de la moto (Figura 50).



**Figura 50 Definició de la cara de simetria**

- Sortida: utilitzarem l'eina "Boundary" amb el tipus "Opening" i seleccionarem la cara oposada a l'entrada (Figura 51). Escollim aquesta opció i no "Outlet" ja que si hi hagués recirculació la simulació no seria verídica. A continuació indicarem a la

pestanya de detalls les opcions “Subsonic” i “Opening Pres. and Dirn” (Figura 52). En aquesta última indicarem una pressió relativa de 0 Pa.

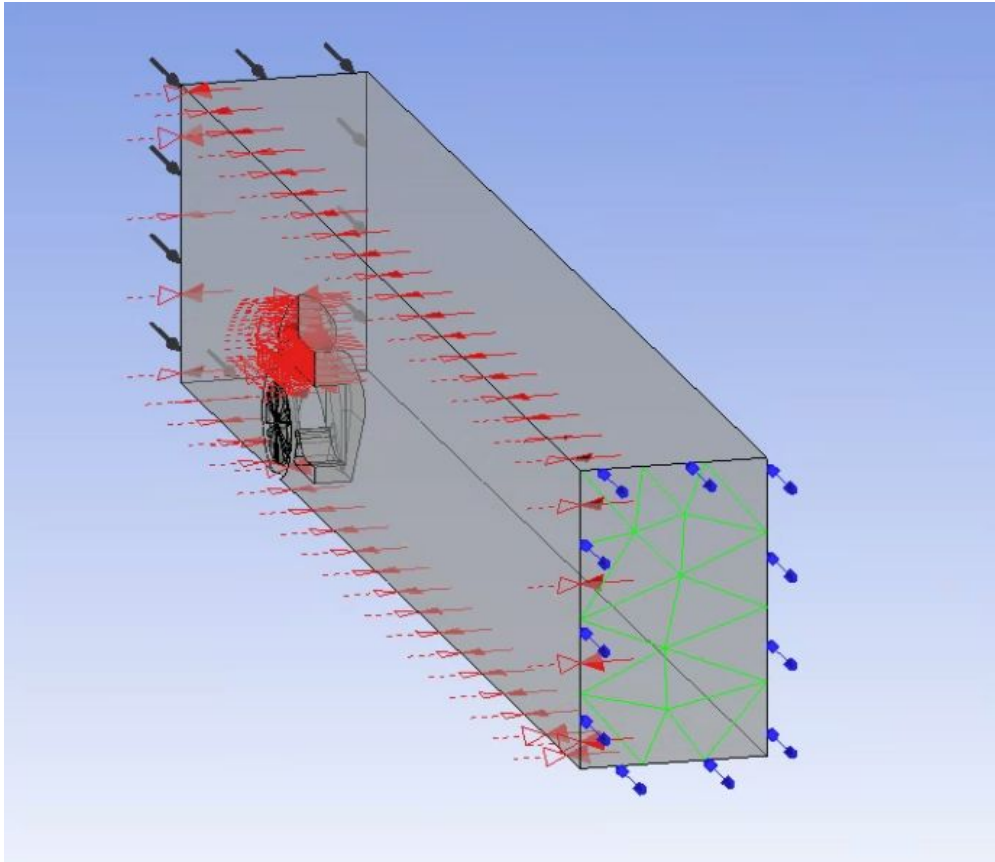


Figura 51 Definició de la cara de sortida

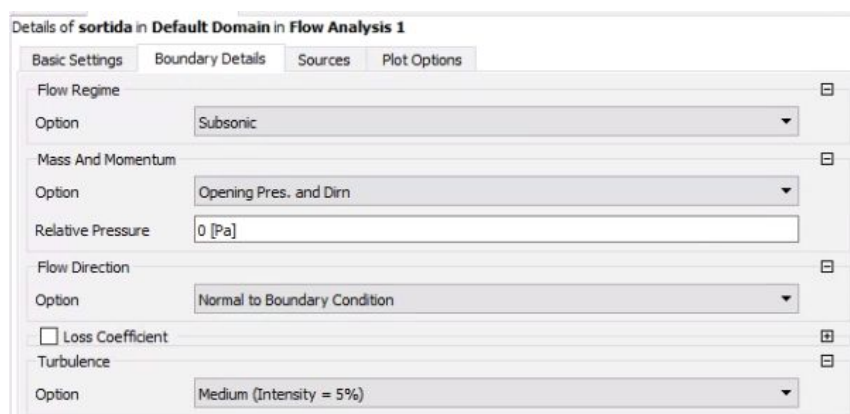
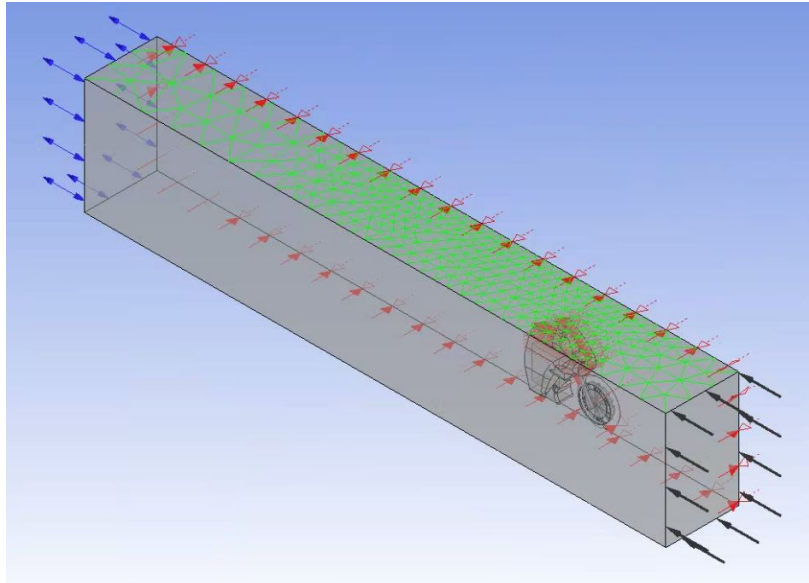


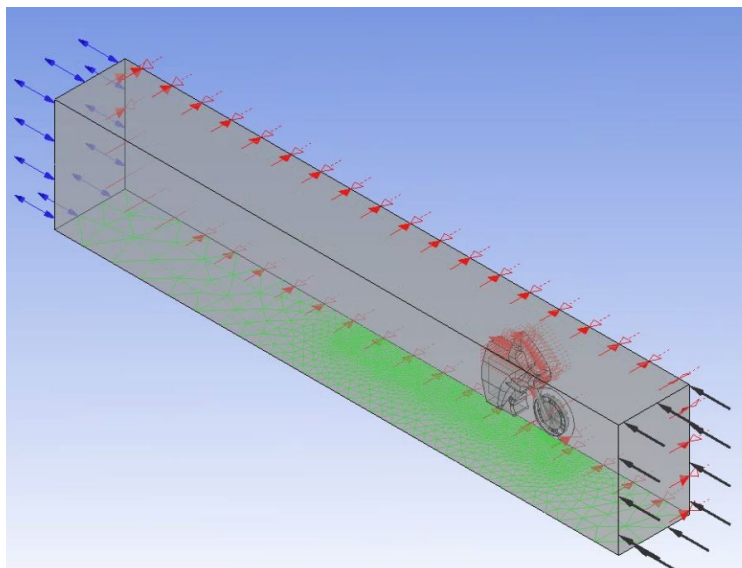
Figura 52 Detalls de la cara de sortida

- Sostre: utilitzarem l'eina “Boundary” amb el tipus “Wall” i sel·leccionarem la cara superior del volum (Figura 53). A continuació indicarem a la pestanya de detalls la opció “Free Slip Wall”.



**Figura 53 Definició de la cara del sostre**

- Terra: utilitzarem l'eina "Boundary" amb el tipus "Wall" i seleccionarem la cara que representa el terra del volum (Figura 54). A continuació indicarem a la pestanya de detalls l'opció "No Slip Wall" i afegirem una velocitat ("Wall Velocity"). La velocitat del terra s'indicarà a partir de components cartesianes, on la velocitat en U és la mateixa que la introduïda d'entrada però amb signe oposat. Aquesta és negativa ja que busquem contrarestar la velocitat del fluid d'entrada i així simular que el terra no es mou respecte l'aire i que només ho fa la motocicleta. A més, a l'opció "Wall Roughness" indicarem "Rough Wall" amb una "Sand Grain Roughness" de 3,2 mm per indicar la rugositat de l'asfalt (Figura 55).



**Figura 54 Definició de la cara del terra**

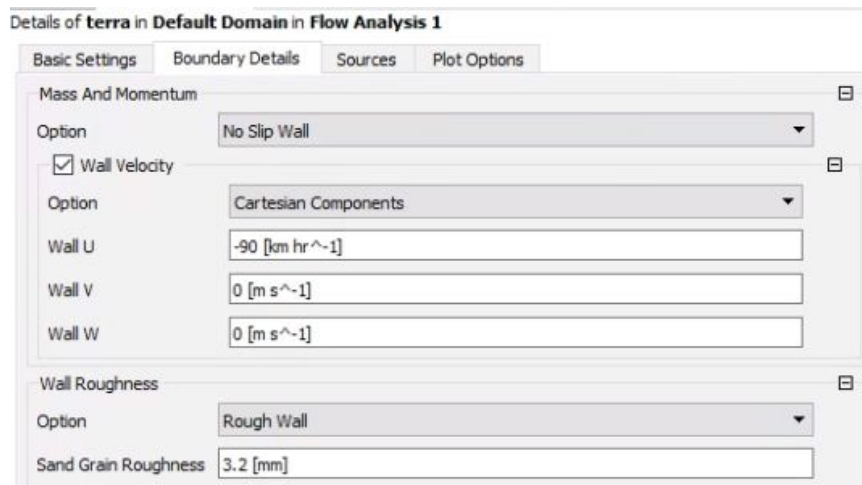


Figura 55 Detalls de la cara del terra

Un cop tenim les cares definides, editem els paràmetres dels límits de la simulació a partir del menú “*Solver Control*” (Figura 56) definint un nombre màxim de mil iteracions a realitzar durant la simulació. Tot seguit indicarem a l’apartat “*Convergence Criteria*” un “*Residual Type*” RMS i un “*Residual Target*” de  $1e-10$  (Figura 57).

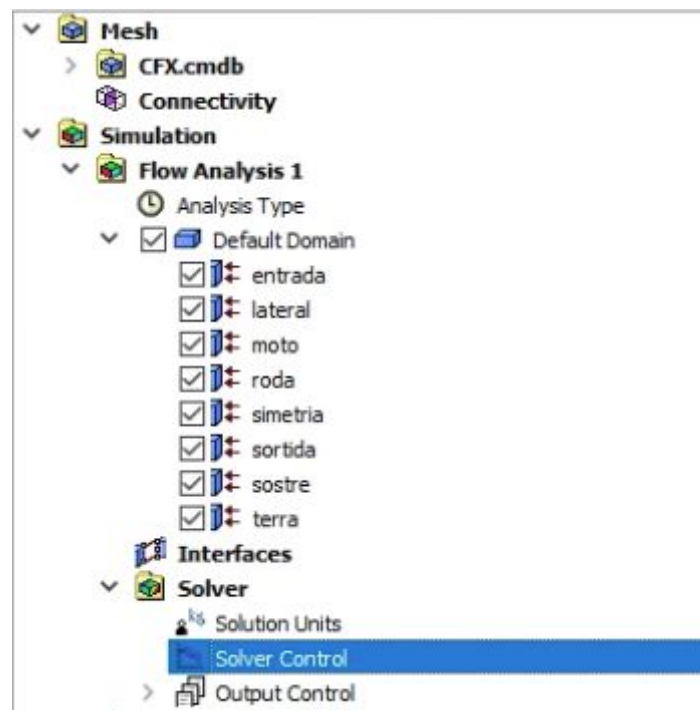


Figura 56 Menú “*Solver Control*”

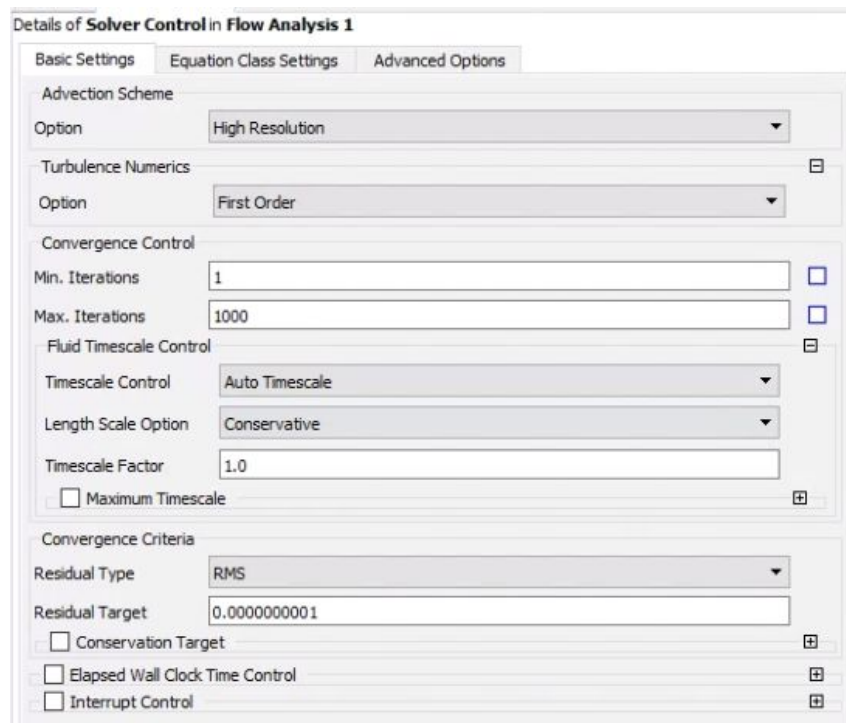


Figura 57 Paràmetres “Solver Control”

Seguidament, al menú “Output Control” (Figura 58) introduïrem dues variables a la pestanya “Monitor-Monitor Points and Expressions” (Figures 59 i 60) per obtenir les forces *Downforce* i *Drag* al final de la simulació.

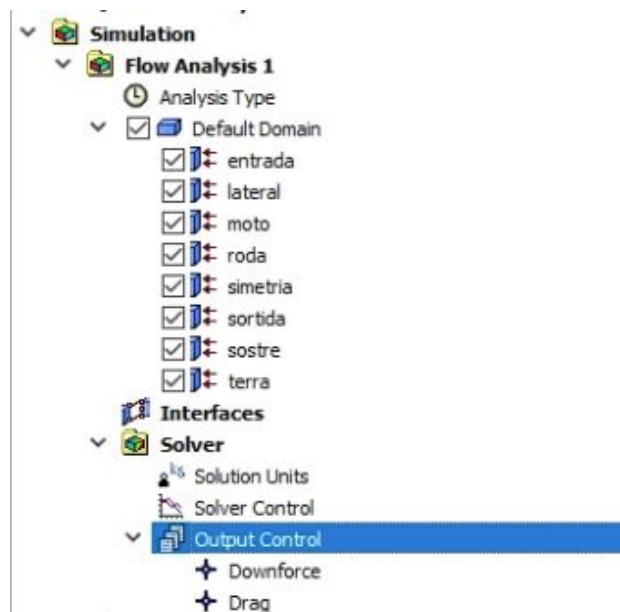


Figura 58 Menú “Output Control”

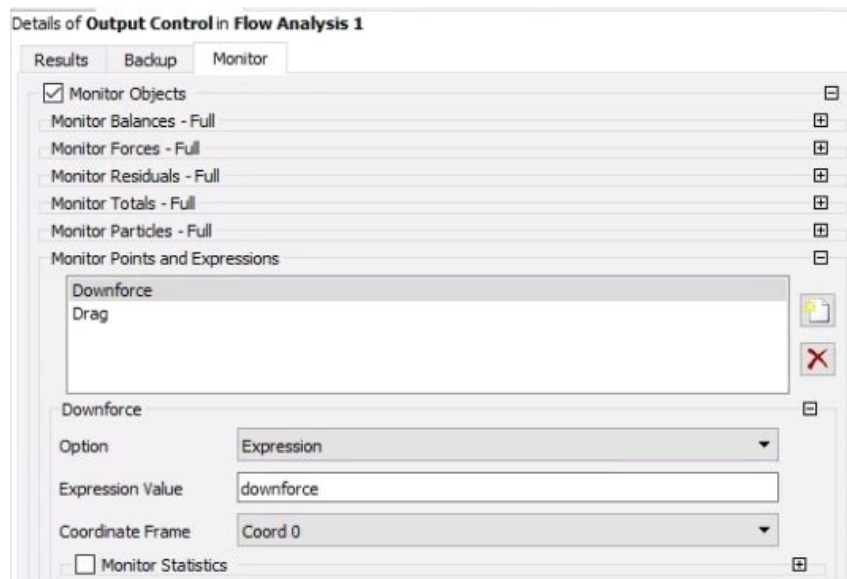


Figura 59 Variable Downforce

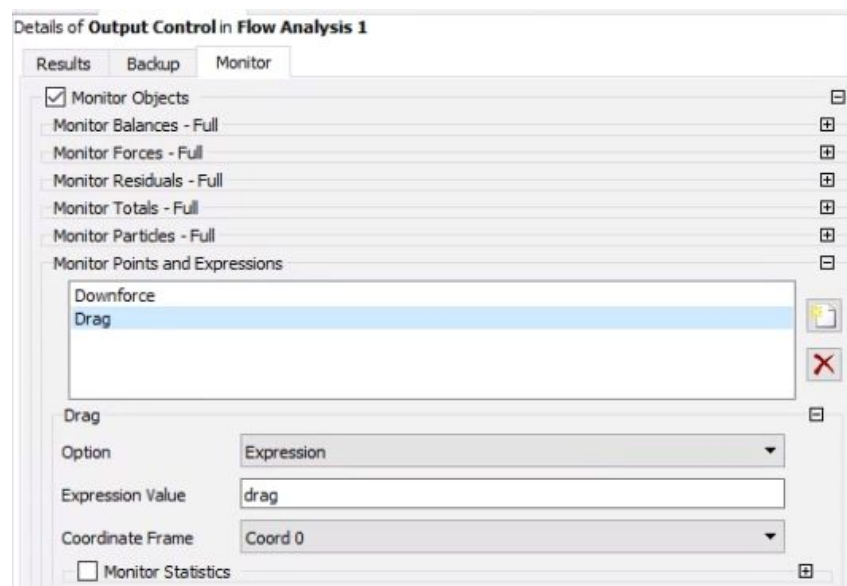


Figura 60 Variable Drag

No obstant, les expressions introduïdes en el camp “*Expression Value*” de cada variable es definiran a continuació al menú “*Expressions*” (Figura 61) insertant les definicions *force\_y()@moto* i *force\_x()@moto* respectivament (Figura 62).



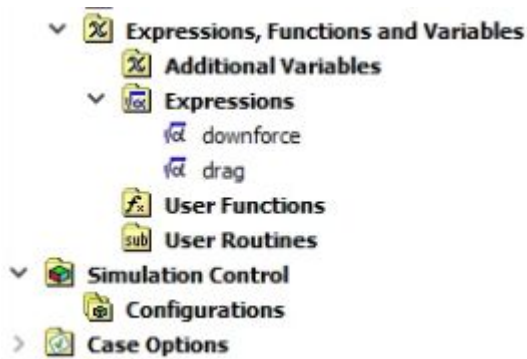


Figura 61 Menú “Expressions”

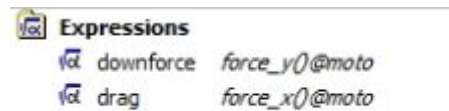


Figura 62 Definicions de les variables

Finalment tancarem el programa *Setup* i executarem la simulació amb el programa *Solution* clicant la opció “*Start Run*” de la finestra emergent i començarà la simulació. Aquesta es completarà aproximadament en set hores i emergirà una finestra que ens informará que la simulació ha conclòs i podrem tancar *Solution*.

Com a últim pas executarem l'últim programari *Results*, en el que el primer que farem serà seleccionar únicament el conjunt de cares **moto** (Figura 63), ja que és la part que ens interessa de l'estudi.



Figura 63 Selecció del *Boundary moto* per *Results*

Tot seguit, a la eina *Contour* afegirem un contorn que anomenarem **YPLUS** i el configurarem tal i com es mostra a continuació (Figura 64), que ens servirà per saber el valor **Y+** del nostre sistema. Recordem que el valor **Y+** ens indica la qualitat del mallat per la nostra simulació i sempre hem de mirar d'obtenir aquest valor per sota de 5. Els nostres resultat de **Y+** es poden contemplar als annexos de resultats.

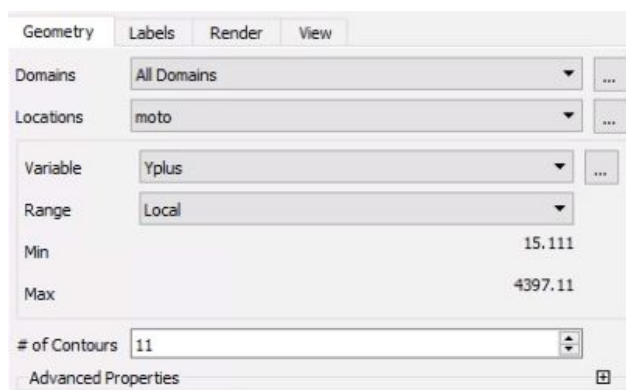


Figura 64 Configuració del *Contour YPLUS*

A continuació, i també mitjançant l'eina *Contour*, afegirem un contorn anomenat *pressio* i el configurarem de la següent manera (Figura 65). A aquest contorn li enllaçarem una llegenda (opció *Legend*) per veure en pantalla els valors de pressió presents en el sistema. Aquesta llegenda es completa de la manera que s'observa a continuació (Figura 66):

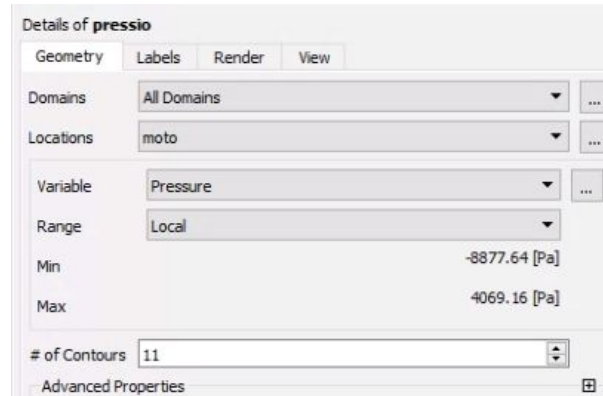


Figura 65 Configuració del Contour *pressio*

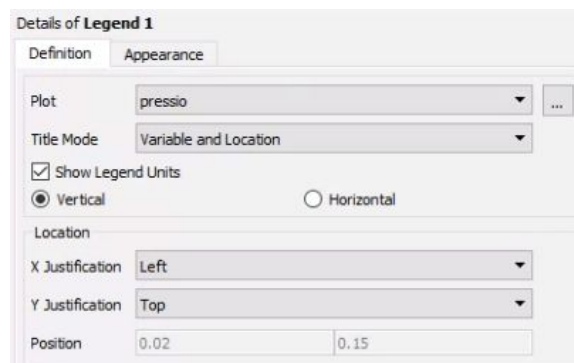


Figura 66 Configuració de Legend de *pressio*

Finalment afegirem dues *Streamline* una d'elles (Figura 67) serà centrada en el nostre model i tindrà més filaments i la segona (Figura 68) serà més general i tindrà menys detall. Aquestes ens ajudaran a observar quin comportament té l'aire quan es trobi la motocicleta.

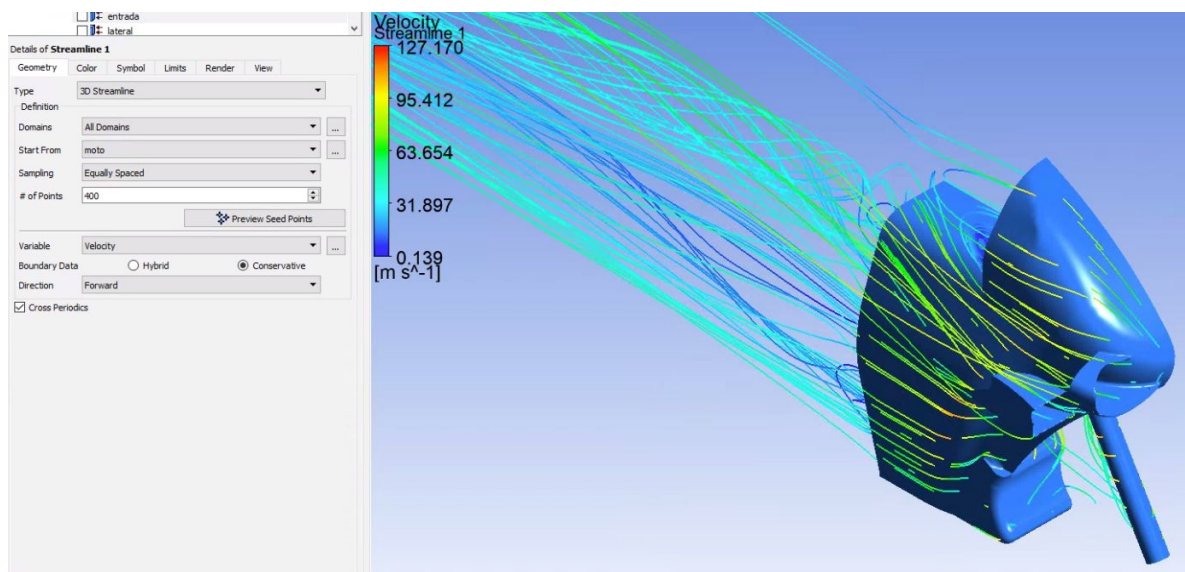


Figura 67 Configuració de *Streamline* de més precisió (Exemple: model 4 a 270km/h)

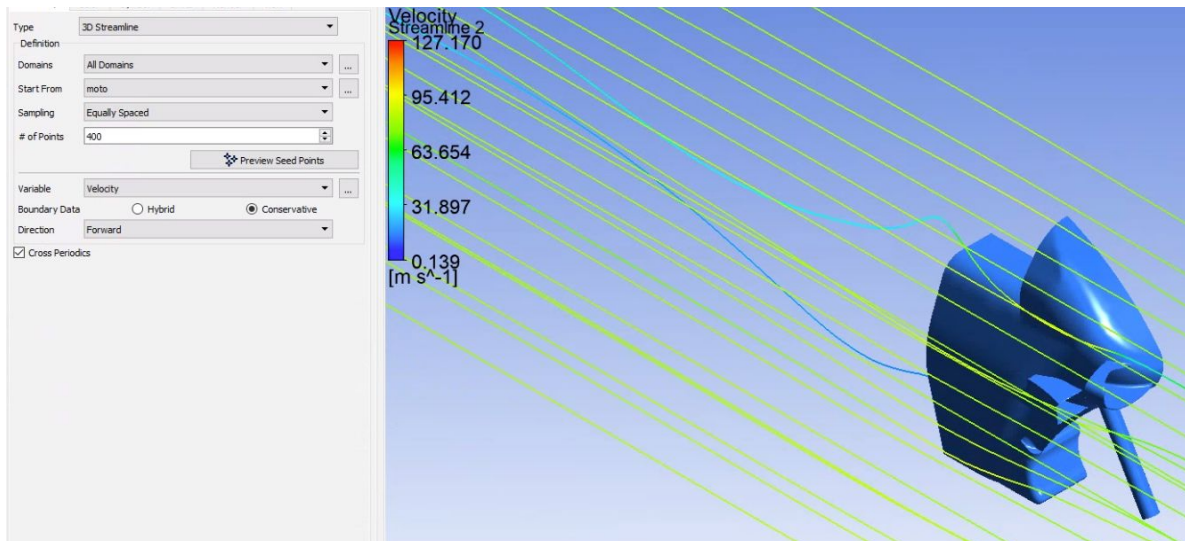


Figura 68 Configuració de *Streamline* global (Exemple: model 4 a 270km/h)

Mitjançant l'eina *Streamline* també podem observar com es generen i actuen les capes de pressió generades pel moviment de la motocicleta. A continuació es mostra com configurar l'*Streamline* per aquest moviment de pressions (Figura 69).

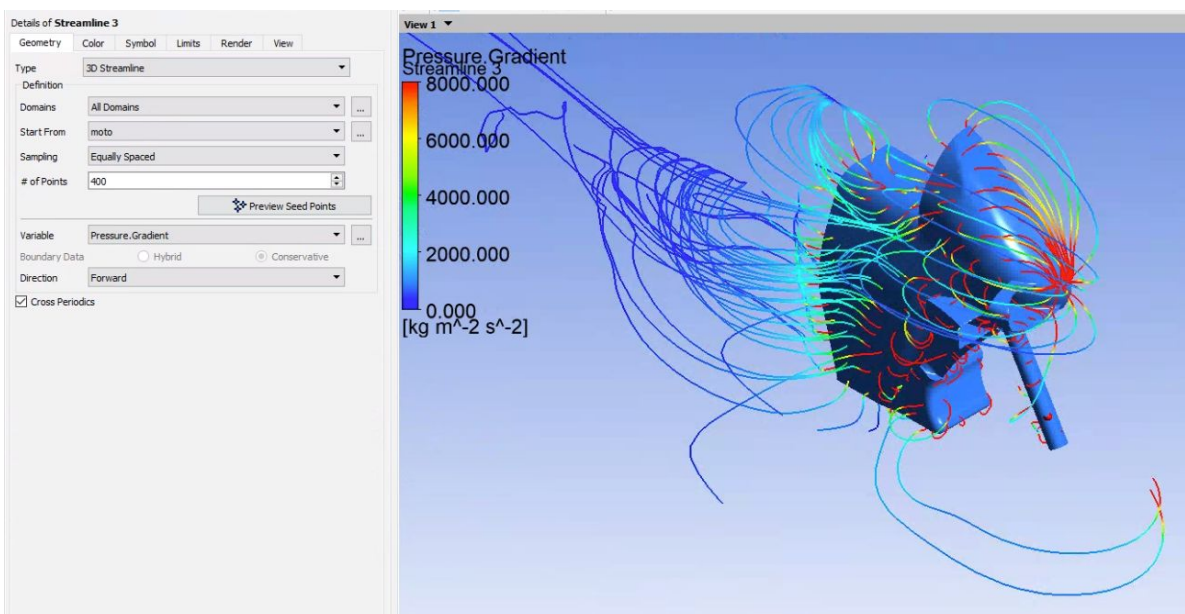


Figura 69 Configuració de *Streamline* de pressions (Exemple: model 4 a 270km/h)

Canviant a la pestanya *Expressions*, dins de *Results*, trobarem les expressions *Downforce* i *Drag* introduïdes anteriorment a *Setup*. Fent doble-clic sobre cada un d'elles ens indicarà el valor de cada una d'aquestes forces (Figura 70).

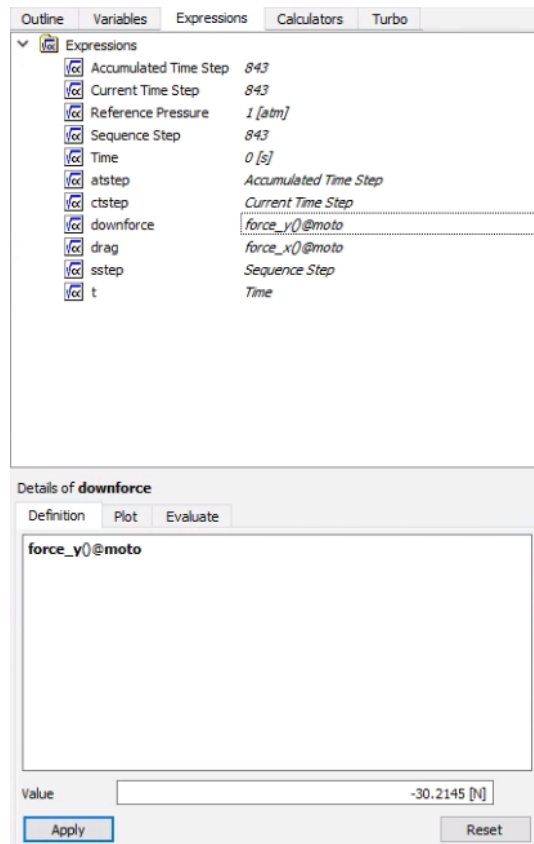


Figura 70 Obtenció dels resultat de les Expressions (Exemple: model 4 a 270km/h)

Mitjançant l'eina *Contour* també podem configurar-la de manera que observem sobre el cos del model com es distribueixen aquestes forces introduïdes a *Expressions*. Aquesta configuració s'afegeix a continuació (Figura 71).

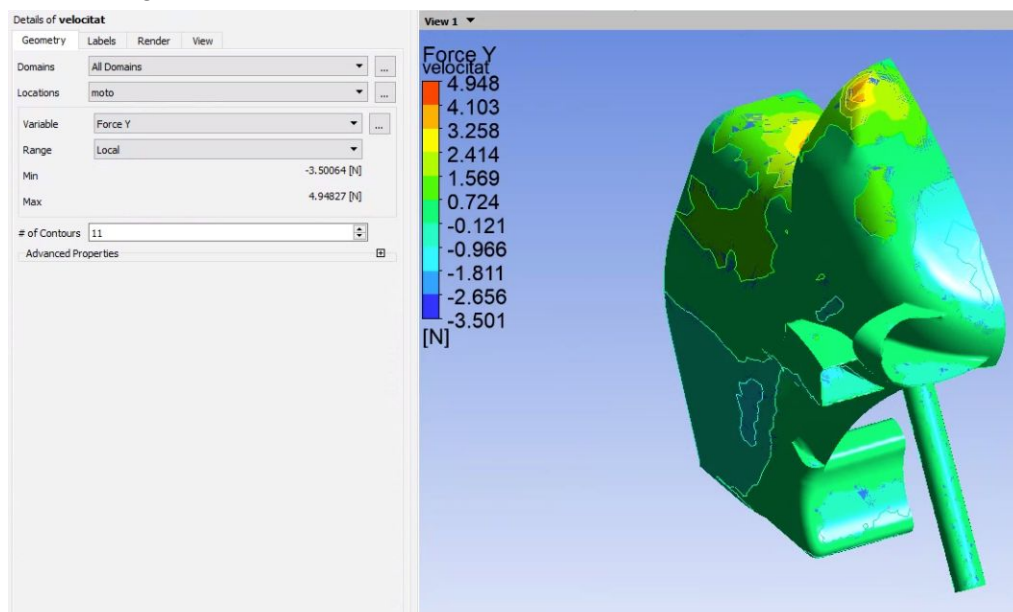


Figura 70 Distribució de forces Y sobre el model (Exemple: model 4 a 270km/h)

Arribat aquest punt donem la simulació per acabada i avaluarem els resultats obtinguts.

## 4. Resultats

### 4.1. Introducció

Tots els resultats obtinguts en les simulacions es mostraran a continuació en forma de taules. En aquestes taules s'hi hauran aplicat les fórmules plantejades a l'ANNEX B: *INTRODUCCIÓ A L'AERODINÀMICA I A LA MECÀNICA DE FLUIDS* per poder obtenir els coeficients de sustentació i arrossegament ( $C_L$  i  $C_D$  respectivament) i a partir d'aquests els coeficients d'eficiència aerodinàmica. Les taules que es mostraran a cada apartat formen part d'una taula general (Taula 4) que trobarem a l'Annex C: *Resultats de la simulació*.

*Les àrees aplicades per cada model són extretes mitjançant Solidworks, on l'àrea pel  $C_D$  prové de l'àrea ocupada en l'alçat de cada model, així com l'àrea pel càlcul  $C_L$  és extreta de la vista en planta del model en qüestió.*

### 4.2. Resultats de les simulacions a 90 km/h

A continuació es mostra la Taula 2. Aquesta presenta tots els resultats obtinguts en les simulacions a 90 km/h.

	Vel. (km/h)	Vel.(m/s)	Drag (N)	Downforce (N)	Drag TOT. (N)	Downforce TOT. (N)	Area(m <sup>2</sup> )	$C_D$	Area(m <sup>2</sup> )	$C_L$	Efficiency ( $C_L/C_D$ )
<b>Model 1 (V2)</b>	90	25	61,81	-4,95	123,62	-9,9	0,634	0,518	0,538	-0,049	0,094
<b>Model 2 (V3)</b>	90	25	59,69	5,74	119,38	11,48	0,646	0,491	0,558	0,055	0,111
<b>Model 3 (V4)</b>	90	25	65,26	12,59	130,52	25,18	0,6401	0,541	0,6305	0,106	0,196
<b>Model 4 (V5)</b>	90	25	64,56	3,35	129,12	6,7	0,642	0,534	0,602	0,030	0,055
Air density	km/h to m/s										
1,205	0,27777778										

**Taula 2 Resultats de les simulacions 90 km/h**

Com podem observar pel valor d'eficiència aerodinàmica presentat a l'última columna de la Taula 2, a la velocitat de 90 km/h el sistema d'alerons que simulen els de Yamaha del Model 3 presenten una eficiència molt superior a la resta, essent gairebé quatre vegades superior a altres dissenys com, per exemple, l'implementat al Model 4 (Ducati). Sorprenentment el Model 4 acaba presentant una eficiència aerodinàmica inferior a la del Model 1 (disseny sense alerons), tot i que aquest valor no vol dir que no guanyem en prestacions en el Model 4 respecte el Model 1, ja que guanyem càrrega aerodinàmica que ens pot ser molt útil en un circuit d'unes característiques concretes.

### 4.3. Resultats de les simulacions a 270 km/h

A continuació es mostra la Taula 3. Aquesta presenta tots els resultats obtinguts en les simulacions a 270 km/h.

	Vel. (km/h)	Vel.(m/s)	Drag (N)	Downforce (N)	Drag TOT. (N)	Downforce TOT. (N)	Area(m <sup>2</sup> )	C <sub>D</sub>	Area(m <sup>2</sup> )	C <sub>L</sub>	Efficiency (C <sub>L</sub> /C <sub>D</sub> )
<b>Model 1 (V2)</b>	270	75	559,70	-44,25	1119,4	-88,5	0,634	0,521	0,538	-0,049	0,093
<b>Model 2 (V3)</b>	270	75	537,01	51,67	1074,02	103,34	0,646	0,491	0,6305	0,048	0,099
<b>Model 3 (V4)</b>	270	75	591,05	117,65	1182,1	235,3	0,6401	0,545	0,6305	0,110	0,202
<b>Model 4 (V5)</b>	270	75	582,45	30,21	1164,9	60,42	0,642	0,535	0,602	0,030	0,055
<b>Air density</b>	km/h to m/s										
1,205	0,27777778										

### Taula 3 Resultats simulacions 270 km/h

Dels els resultats obtinguts en les simulacions a 270 km/h podem observar que els coeficients d'eficiència aerodinàmica varien molt poc. El Model 3 presenta una millora de l'eficiència, el Model 2 en presenta una molt similar a la del Model 1 i el Model 4 manté la mateixa eficiència que la de l'estudi a 90 km/h.

## 5. Conclusions

Tant en la part de disseny com en la de simulació s'ha complert amb els requeriments plantejats a l'apartat 1.3.1 *Especificacions*: els dissenys respecten la normativa del reglament del campionat de MotoGP i la semblança dels dissenys és la més ajustada possible a la realitat. Els models plantejats s'han pogut simular gràcies al fet d'haver-se simplificat i estudiat tenint en compte només mig disseny a partir de l'eina de simetria, que, a la vegada, ha permès evitar problemes a l'hora de fer les simulacions de càlcul de CFX.

Els resultats dels coeficients aerodinàmics obtinguts en totes les simulacions dels diferents models han estat coherents i correctes segons el previst. Per començar hem observat que el disseny inicial (Model 1) patia una força causada per l'aire que feia que la roda del davant s'aixequés perdent tracció. Encara que els coeficients d'eficiència aerodinàmica hagin estat inferiors als previstos en alguns dels Models 2, 3 i 4, en els que hi hem incorporat els alerons, aquests han presentat coeficients  $C_L$  favorables, aportant al model inicial una càrrega aerodinàmica extra per millorar la tracció de la roda davantera.

Pel que fa als valors dels coeficients d'arrossegament ( $C_D$ ) dels models amb alerons, no s'allunyen gaire d'un valor real com el de l'Honda CBR1000RR-R 2020, que té un valor de 0.270. Els models amb alerons no han experimentat un augment considerable del  $C_D$ , ja que han conservat valors propers als del Model 1. El Model 2 fins i tot presenta un  $C_D$  inferior que el del model inicial degut al baix *drag* que presenta.

Si haguéssim d'escollir un disseny guanyador per ser el que aporta més beneficis respecte el disseny inicial seria el Model 3 (Yamaha), el qual presenta un coeficient d'eficiència aerodinàmica molt superior als models rivals, aportant molta càrrega aerodinàmica i presentant un *drag* lleugerament superior al de la resta de models. El Model 2 (Honda), que presenta un coeficient d'arrossegament molt baix respecte al de la resta de models, també s'ha de tenir en compte, ja que a més aconsegueix aportar una càrrega aerodinàmica suficient com per vèncer l'aixecament de la roda del davant.

Així doncs, en funció de les característiques del circuit on disputar la carrera optariem pel disseny d'alerons del Model 2 o del Model 3. En circuits de moltes corbes i poques rectes on les velocitat mitjanes son inferiors i es necessita més càrrega aerodinàmica per frenar i afrontar millor les corbes optatirem per un disseny com el del Model 3. En canvi, en un circuit amb menor nombre de corbes, on les rectes siguin més llargues i les velocitats mitjanes siguin superiors optariem per un disseny com el del Model 2, amb menor càrrega aerodinàmica i coeficient d'arrossegament per poder assolir velocitats més altes.

## 6. Relació de documents

DOCUMENT 1. RESUM DEL TREBALL

DOCUMENT 2. MEMÒRIA I ANNEXOS

1. Memòria
2. Annexos
  - A. Plànols
  - B. Introducció a l'aerodinàmica i a la mecànica de fluids
  - C. Resultats de les simulacions del model 1
  - D. Resultats de les simulacions del model 2
  - E. Resultats de les simulacions del model 3
  - F. Resultats de les simulacions del model 4

DOCUMENT 3. PRESSUPOST



## 7. Bibliografia

1930 Henderson KJ Streamline (s.d.). Recuperat de

<https://fristartmuseum.org/misc/1930-henderson-kj-streamline>

Alemán, A. (11 d'octubre de 2017). *Así eran (y son) las streamliners: Una historia de carenados envolventes, velocidades imposibles y polémica*. Recuperat de

<https://www.motorpasionmoto.com/clasicas/asi-eran-y-son-las-streamliners-una-historia-de-carenados-envolventes-velocidades-imposibles-y-polemica>

Alemán, A. (11 d'octubre de 2017). *Herdenson KJ streamline Art Decó, la otra obra de arte sobre dos ruedas de 1935*. Recuperat de

<https://www.motorpasionmoto.com/prototipos/herdenson-kj-streamline-art-deco-la-otra-obra-de-arte-sobre-dos-ruedas-de-1935>

Moto Guzzi V8. (26 de setembre de 2019). Recuperat de

[https://en.wikipedia.org/wiki/Moto\\_Guzzi\\_V8](https://en.wikipedia.org/wiki/Moto_Guzzi_V8)

Coeficient d'arrossegament. (24 novembre de 2019). Recuperat de

[https://ca.wikipedia.org/wiki/Coeficient\\_d%27arrossegament](https://ca.wikipedia.org/wiki/Coeficient_d%27arrossegament)

MotoGP. (20 de febrer de 2018). *Winglets vs aero fairing, what's the difference?* Recuperat de

<https://www.facebook.com/MotoGP/videos/10156596007770769/?v=10156596007770769>

Mike on bikes. (22 de febrer de 2018). *MotoGP Winglets | EXPLAINED*. Recuperat de

[https://www.youtube.com/watch?v=3Zu5\\_7IXFvQ&list=PLr4fcPcx05m8TiytfKFUFyXNT-drCuATe&index=3&t=0s](https://www.youtube.com/watch?v=3Zu5_7IXFvQ&list=PLr4fcPcx05m8TiytfKFUFyXNT-drCuATe&index=3&t=0s)

Uhlarick, M. (4 de maig de 2016). *Motorcycle Aerodynamics*. Recuperat de

<https://canadamotoguide.com/2016/05/04/motorcycle-aerodynamics/>

Campeonato Mundial de Motociclismo. (7 d'abril de 2020). Recuperat de

[https://es.wikipedia.org/wiki/Campeonato\\_Mundial\\_de\\_Motociclismo](https://es.wikipedia.org/wiki/Campeonato_Mundial_de_Motociclismo)

*El equipo Repsol Honda inaugura su temporada 2020 en Indonesia con Alex Márquez*. (4 de febrer de 2020). Recuperat de

<http://www.fanclubalexmarquez73.es/el-equipo-repsol-honda-inaugura-su-temporada-2020-en-indonesia-con-alex-marquez/>

Villaécija, F. (21 d'abril de 2020). *Maverick Viñales: «Tenía a Ducati en mente, tienen una moto bastante completa»*. Recuperat de <https://www.motosan.es/motogp/maverick-vinales-tenia-a-ducati-en-mente-tienen-una-moto-bastante-completa/>

Viñas, M. (6 de setembre de 2020). *Nuevas y estrictas regulaciones aerodinámicas para MotoGP 2020*. Recuperat de <https://www.motosan.es/motogp/nuevas-y-estrictas-regulaciones-aerodinamicas-para-motogp-2020/>

Lera, C. (7 de març de 2017). *HONDA RC213V MOTOGP 2017*. Recuperat de <https://www.motofichas.com/marcas/honda/rc213v-motogp-2017>

*Perfiles NACA*. (23 de desembre de 2014). Recuperat de <http://www.despegamos.es/perfiles-naca/>

Pinzón, S. (9 d'agost de 2013). *El perfil alar y su nomenclatura NACA*. Recuperat de <https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/4/106>

*Principios básicos de vuelo*. (s.d.). Recuperat de <https://vueloartificial.com/introduccion/toma-de-contacto/principios-basicos-de-vuelo/>

González, A.J., Geovo, L.J. i González, Y.E. (5 de març de 2017). *Selección del perfil alar simétrico óptimo para un aerogenerador de eje vertical utilizando la dinámica de flujos computacional*. Recuperat de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6579725.pdf>

Franck, G., Nigro, N., Storti, M.A. i d'Elía, J. (Octubre de 2009). *Numerical simulation of the flow around the ahmed vehicle model*. Recuperat de [https://www.researchgate.net/publication/228610009\\_D%27ELIA\\_J\\_Numerical\\_simulation\\_of\\_the\\_flow\\_around\\_the\\_ahmed\\_vehicle\\_model](https://www.researchgate.net/publication/228610009_D%27ELIA_J_Numerical_simulation_of_the_flow_around_the_ahmed_vehicle_model)

*2020 HONDA CBR1000RR-R FIREBLADE*. (s.d.). Recuperat de <https://hondanews.eu/eu/lt/motorcycles/media/pressreleases/196422/2020-honda-cbr1000rr-r-fireblade>

## 8. Glossari

**Aerodinàmica:** Branca de la mecànica de fluids que estudia la interacció entre els cossos sòlids i els fluids a través dels quals es desplacen. En aquest cas els cossos sòlids són el carenat, la forquilla i la roda, i el fluid a través del qual es mouen és l'aire a 25°C.

**Aleró:** Element aerodinàmic utilitzat per Ducati la temporada 2016, situat a la part davantera del carenat, geomètricament afilat i molt rigid. La finalitat d'utilitzar aquest element era aconseguir més càrrega aerodinàmica. Va ser prohibit el mateix any que es va implementar al campionat ja que es va considerar un element conflictiu i perillós.

**Carenat:** En una motocicleta i en alguns tipus d'automòbils de competició, s'anomena carenat al revestiment realitzat amb fibra de vidre, fibra de carboni, plàstic o altres materials lleugers i rígids que s'adapta al xassís amb una finalitat principalment aerodinàmica, encara que també estètica per publicitar patrocinadors.

**Cúpula:** Part del carenat on el pilot intenta resguardar el cap a altes velocitats. També hi ha el manillar i el dorsal del pilot.

**Àrea de referència:** Al tractar-se d'una motocicleta, és l'àrea transversal d'aquesta. Si l'objecte a estudiar és una ala, fem referència a l'àrea en planta.

**Capa límit:** Zona on el moviment del fluid és pertorbat degut a la presència d'un sòlid amb el que està en contacte. La capa límit s'entén com a aquella zona on la velocitat del fluid respecte al sòlid en moviment pateix una variació de la velocitat de la corrent no pertorbada de prop del 100% (no és mai el 100%).

**Càrrega aerodinàmica:** És la configuració aerodinàmica que dona força contra l'asfalt per mantenir l'adherència de la motocicleta. Com més càrrega aerodinàmica, més adherència però menys velocitat. És una força en direcció vertical descendent. La finalitat és evitar que la roda del davant s'aixequi a l'accelerar i tenir millor tracció a la roda davantera al frenar i girar.

**C<sub>D</sub>:** Coeficient de resistència a l'avanç que indica relativament la resistència que pateix un cos al moviment en la direcció d'aquest.

**Força de resistència a l'avanç (Drag):** Força generada sobre un cos que es desplaça a través d'un fluid, de direcció paral·lela a la de la velocitat del corrent incident.

**C<sub>L</sub>:** Coeficient de sustentació que indica la capacitat de crear una força en direcció perpendicular a la de la velocitat de desplaçament. Popularment es coneix com a càrrega aerodinàmica. En el món de la competició com és MotoGP interessa que aquesta força tingui una direcció vertical cap avall per ajudar a mantenir les rodes enganxades a terra.

**Corda:** Distància entre el caire d'atac i el caire de sortida d'una ala.

**Downforce:** Força de sustentació negativa.

**Túnel de vent:** Eina utilitzada per ajudar a estudiar el comportament de l'aire en moviment al voltant d'un cos. Aquesta, pot ser simulada de manera virtual si no es disposen de les instal·lacions com és el nostre cas. Hi ha molt pocs túnels de vent al món i el lloguer de les instal·lacions és estrepitosament elevat.

**Caire d'atac:** Part frontal de l'ala on l'aire xoca per primer cop.

**Caire de sortida o de fuga:** Part posterior de l'ala amb menys gruix per on el fluid deixa d'estar en contacte amb el sòlid.

**Extradós:** Curvatura superior que va des del caire d'atac fins al caire de sortida.

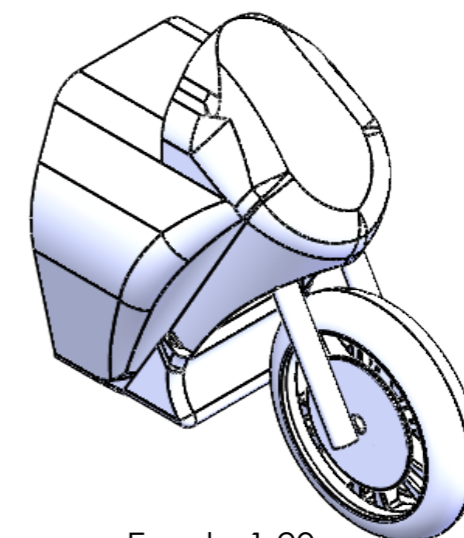
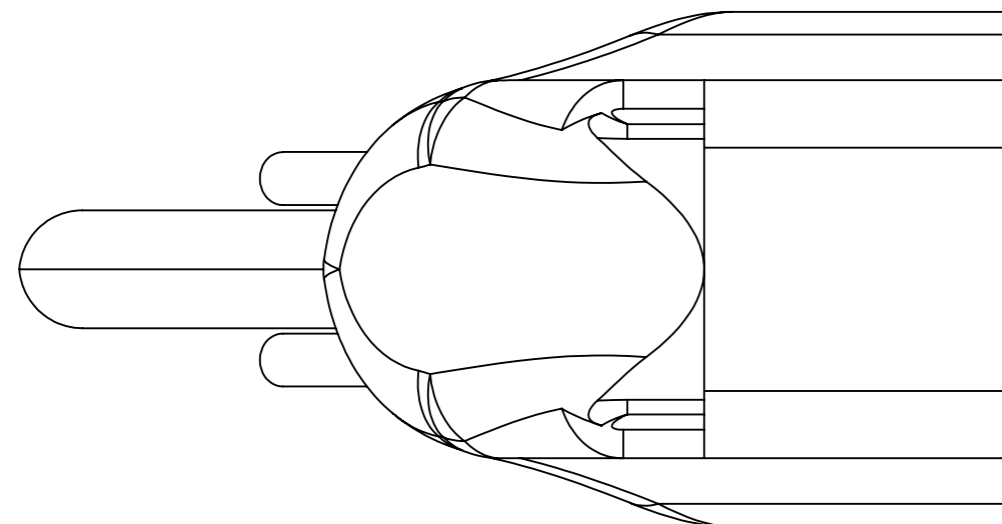
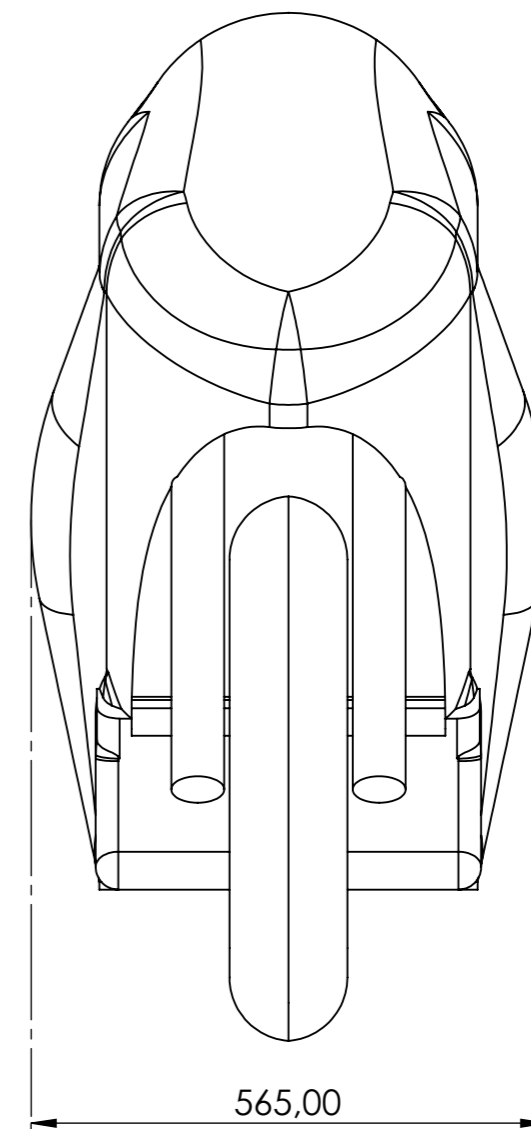
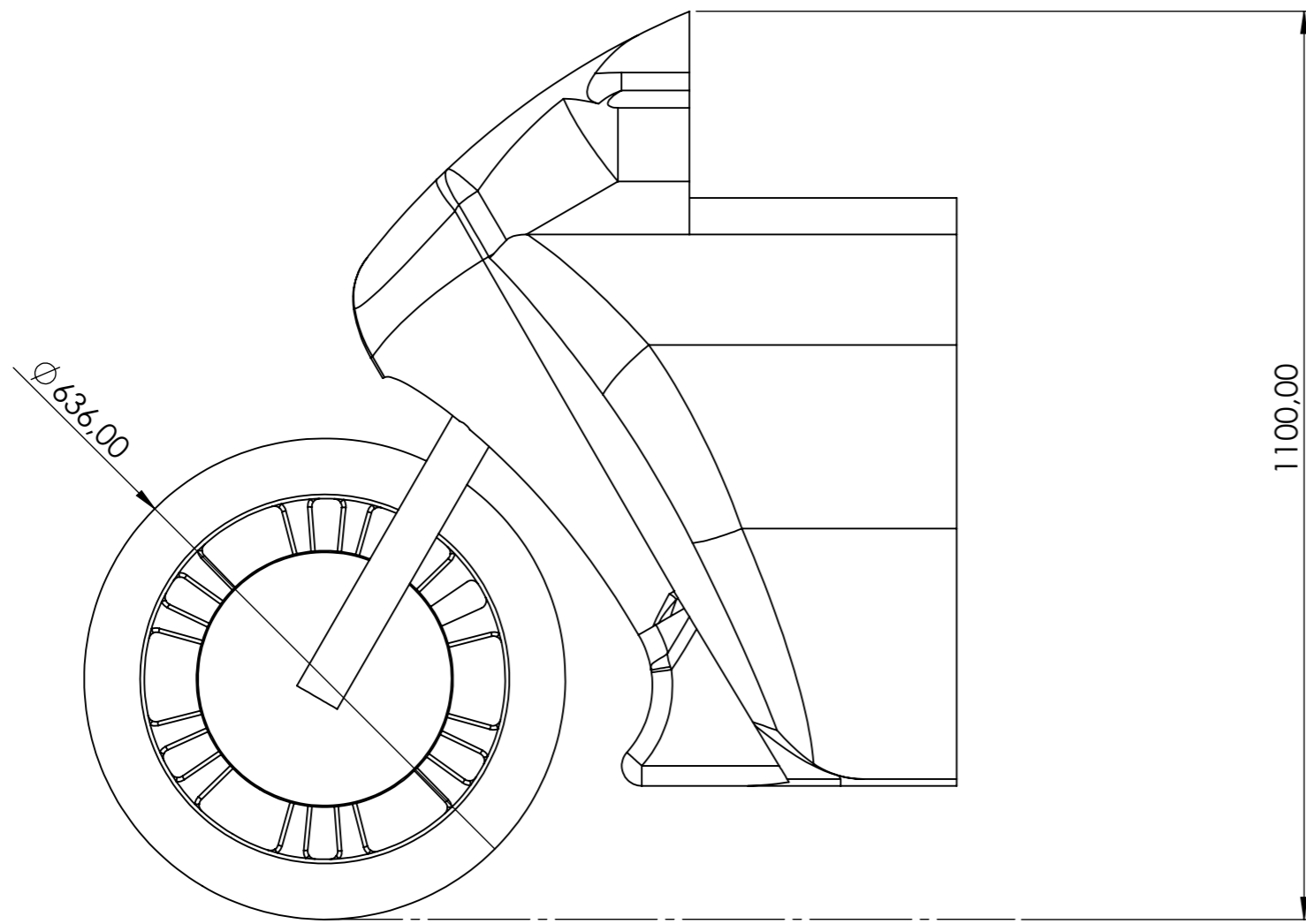
**Intradós:** Curvatura inferior que va des del caire d'atac fins al caire de sortida.

**Gruix de l'ala:** Distància màxima entre l'extradós i l'intradós.


**Corda de l'ala:** Línia recta que uneix el caire d'atac amb el caire de sortida i que determina l'asimetria de l'ala.

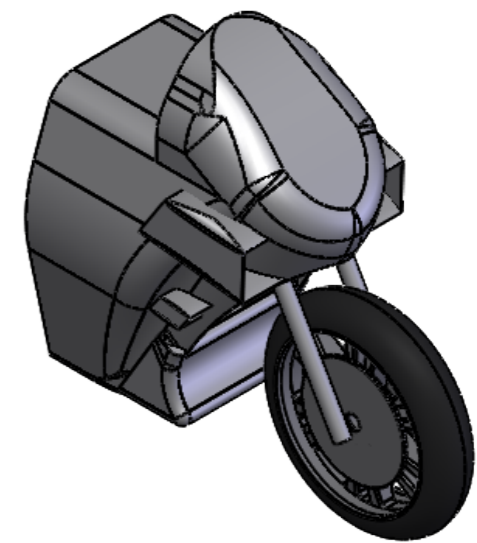
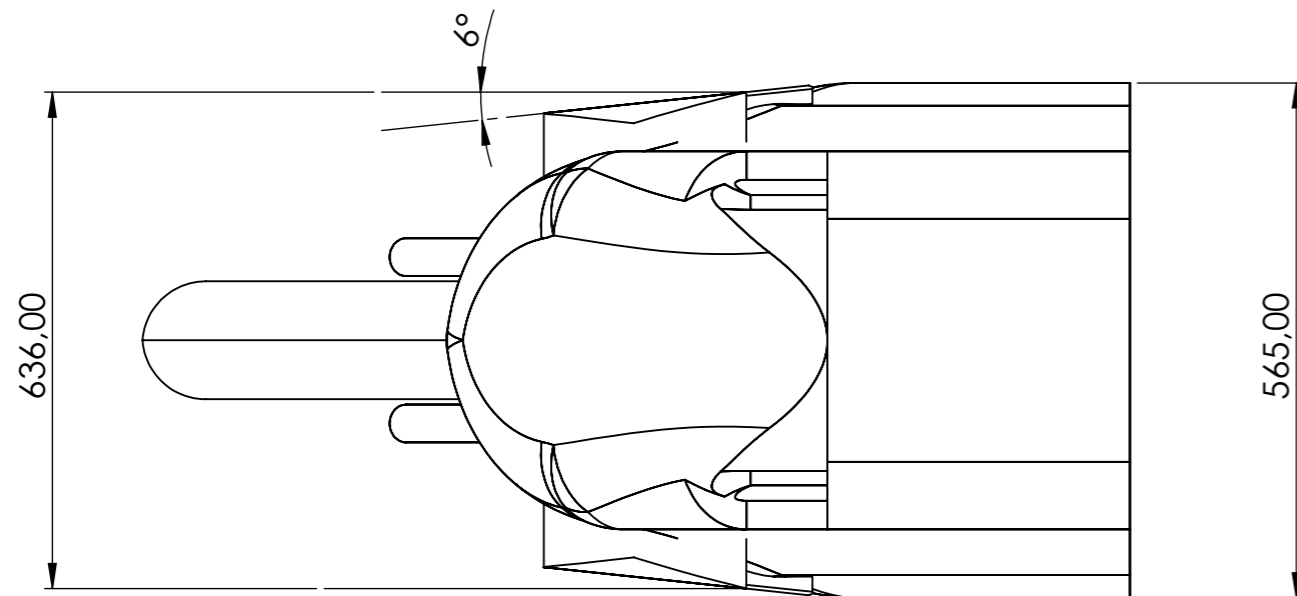
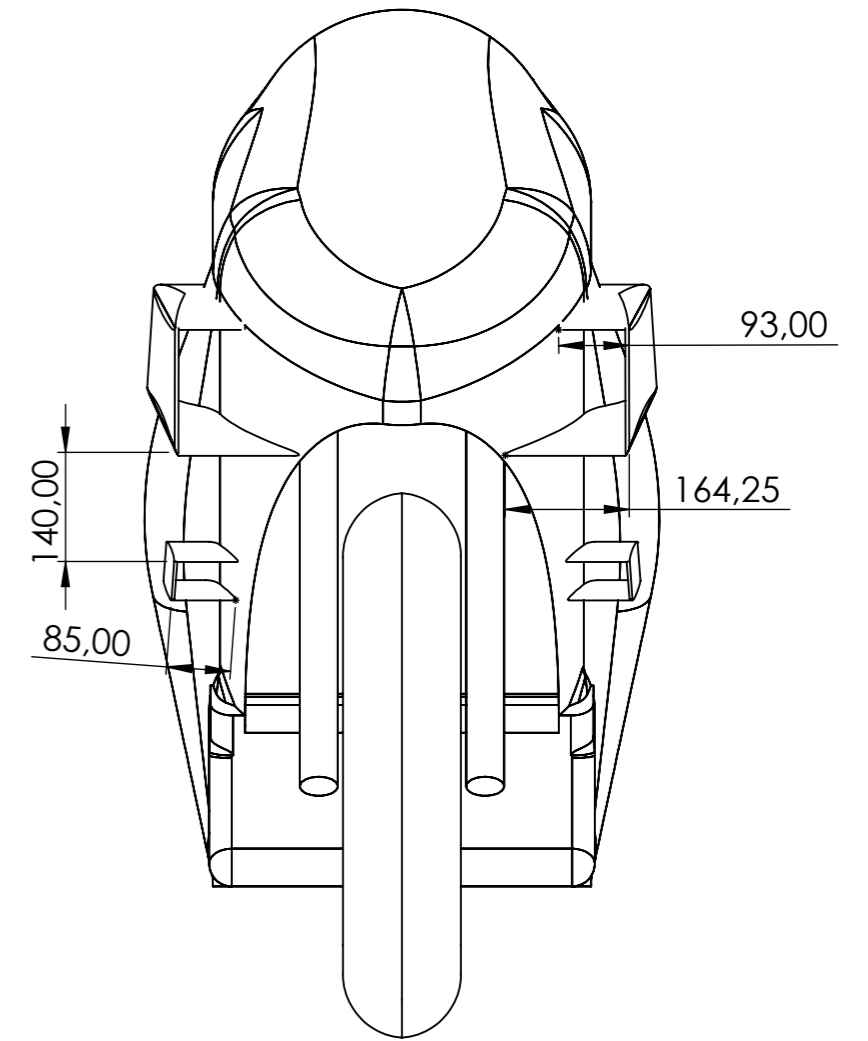
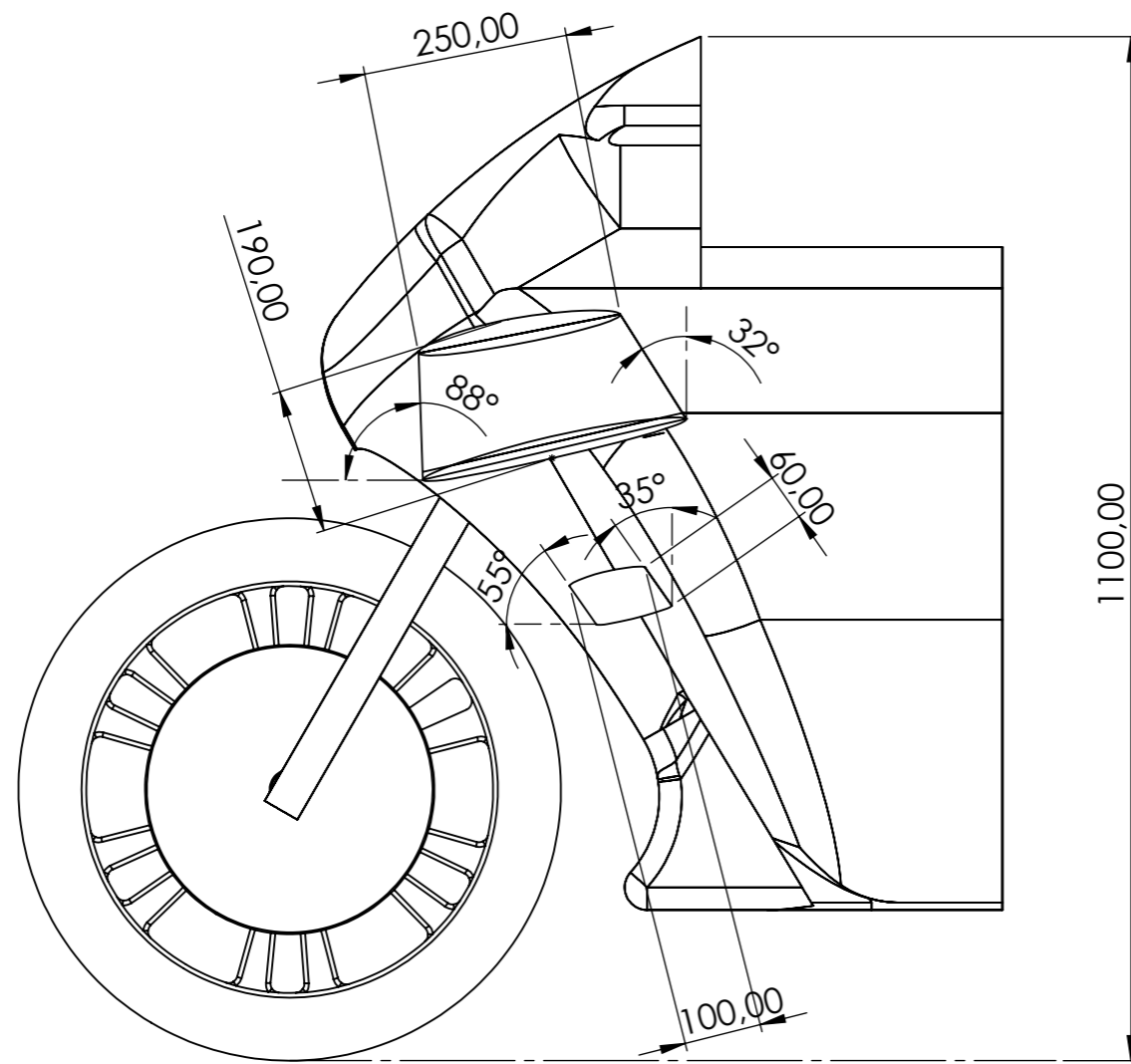
**Drag:** Força que s'oposa a l'avanç d'un cos a través de l'aire. Aquesta resistència és sempre oposada al sentit de la velocitat.

## ANNEX A: PLÀNOLS

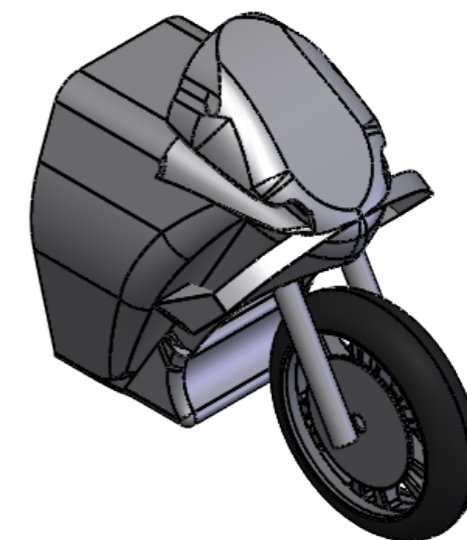
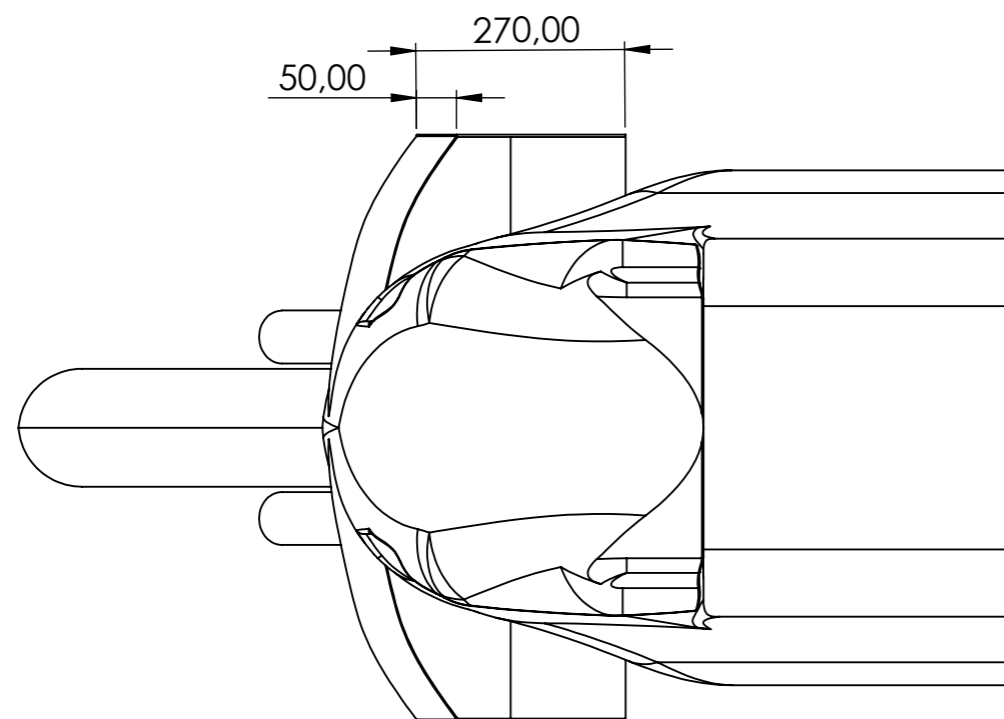
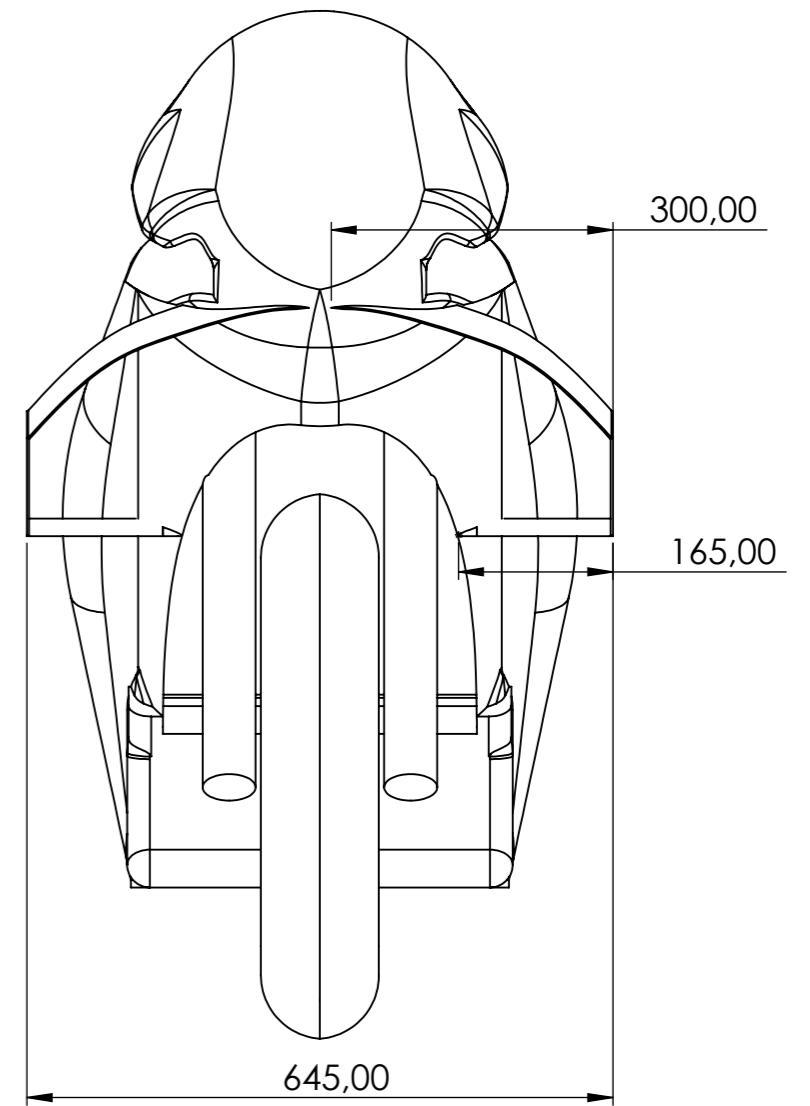
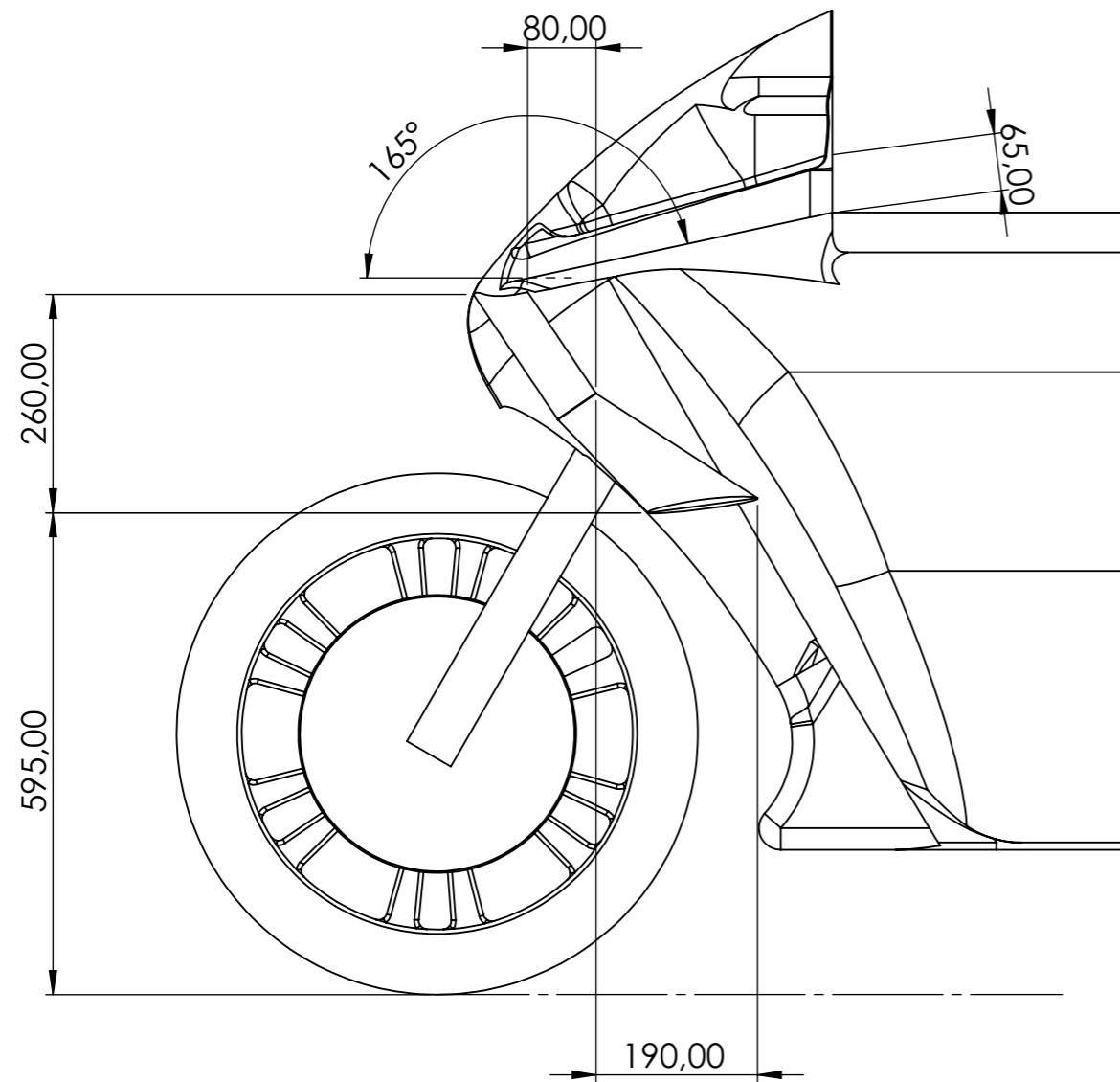


Escala 1:20

	Projecte: Treball de Final de Grau	
	Plànol. nº: GPG_TFG_001	
	Descripció: Plànol amb cotes generals del disseny de partida per l'estudi	
	Escala: 1:10 Dibuix sòlid: Guillem Pérez Dibuix plànol: Guillem Pérez Observacions:	Data: 25/05/2020 revisió:
		nº pag.: 1 de 1



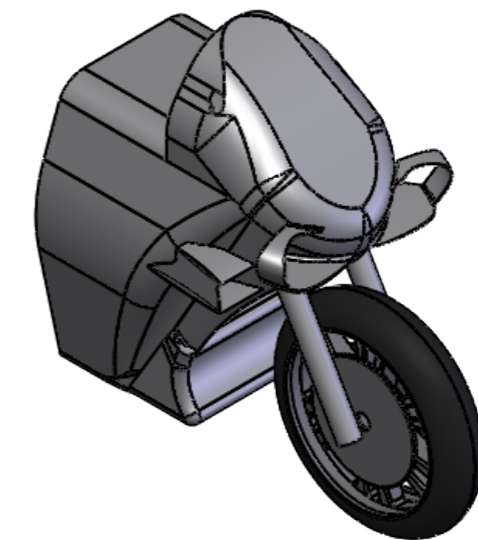
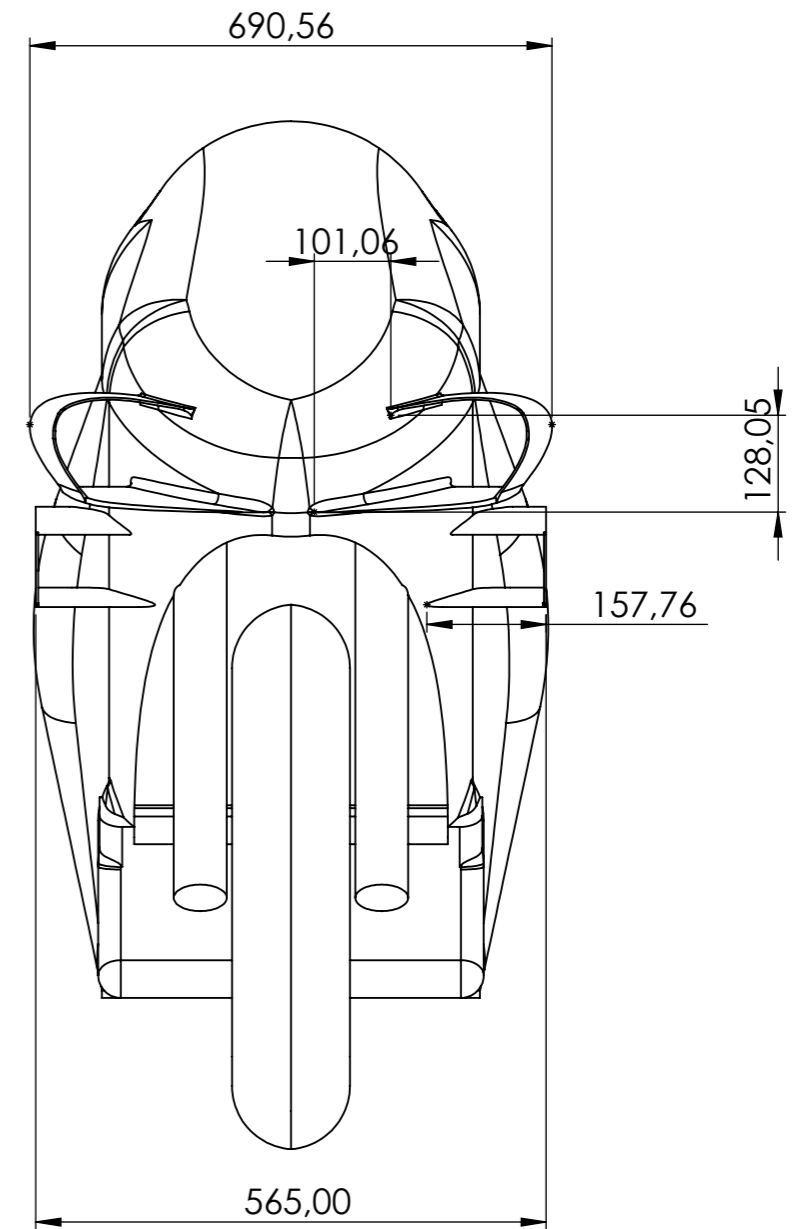
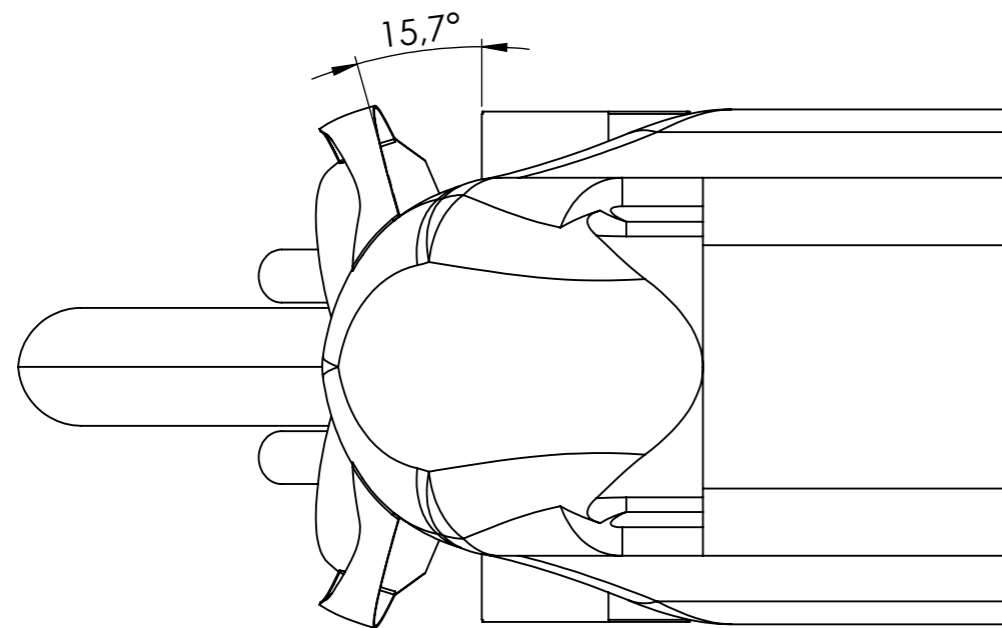
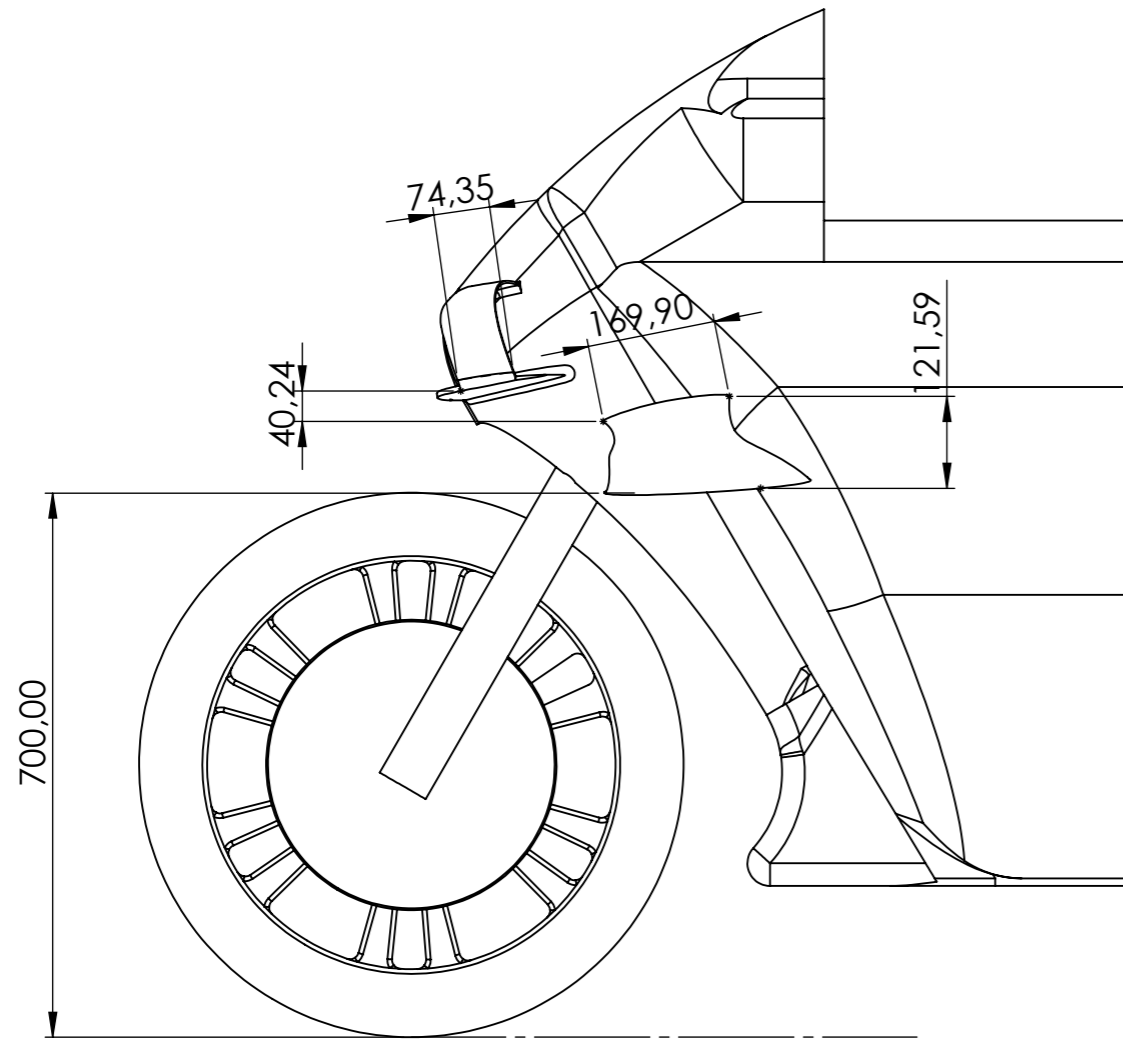
Escala 1:20




Escala 1:20

	Projecte: Treball de Final de Grau	
	Plànol. nº: GPG_TFG_003	
	Descripció: Plànol amb cotes generals del disseny V3 (Yamaha)	
	Escala: 1:10 Dibuix sòlid: Guillem Pérez Dibuix plànol: Guillem Pérez Observacions:	Data: 25/05/2020 revisió:
		nº pag.: 1 de 1





Escala 1:20

	Projecte: Treball de Final de Grau		
	Plànol. nº: GPG_TFG_004		
	Descripció: Plànol amb cotes generals del disseny V4 (Ducati)		
	Escala: 1:10 Dibuix sòlid: Guillem Pérez Dibuix plànol: Guillem Pérez Observacions:	Data: 26/05/2020 revisió:	nº pag.: 1 de 1

# ANNEX B: INTRODUCCIÓ A L'AERODINÀMICA I A LA MECÀNICA DE FLUIDS

## B. AERODINÀMICA I MECÀNICA DE FLUIDS

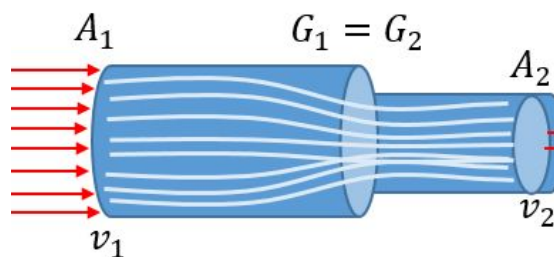
### a. Introducció

En aquest annex es farà una introducció al món de l'aerodinàmica i de la mecànica de fluids i s'explicaran conceptes i principis bàsics per facilitar la comprensió de com s'ha dut a terme la realització del treball.

### b. Conservació de l'energia

La primera llei de la termodinàmica, també coneguda com a principi de conservació de l'energia, planteja que en un sistema tancat amb energia no hi haurà una variació d'aquesta: ni es perdrà ni s'augmentarà, simplement es transformarà en energia d'un altre tipus.

Seguint aquest criteri sobre com actua l'energia, si el traspassem i apliquem a un sistema de flux estacionari, amb fluids incompressibles i sense pèrdues ni aportacions d'aquests fluids, ens queda un sistema com el que es planteja a continuació (*Figura B1*) on, mitjançant l'equació *Eq. B1*, podem definir el sistema de la *Figura B1*.



**Figura B1**

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

*Eq. B1*

**On:**

$\rho$  = densitat (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = velocitat (m/s)

$A$  = secció de pas (m<sup>2</sup>)

$G$  = Energia del sistema (J)

**1** = Entrada del sistema amb la mateixa línia de corrent que la sortida 2.

**2** = Sortida del sistema amb la mateixa línia de corrent que l'entrada 1.

### c. Equació de Bernoulli

Els paràmetres de pressió, d'energia potencial i de la velocitat de flux d'un fluid incompressible de forma constant del sistema estan relacionats per l'equació de Bernoulli. En el cas de tenir un sistema sense canvis d'energia potencial, com és el nostre cas, tenim present en el sistema una relació inversament proporcional de pressió i velocitat del fluid, on a menys pressió més velocitat del fluid.

A continuació es presenta l'equació Eq. B2 en la que havent de complir sempre el mateix resultat (sistema constant) obliga la velocitat del fluid a augmentar si la pressió baixa per mantenir el sistema estable.

$$P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = ctt$$

Eq. B2

**On:**

**P** = pressió absoluta (Pa)

**$\rho$**  = densitat (kg/m<sup>3</sup>)

**v** = velocitat (m/s)

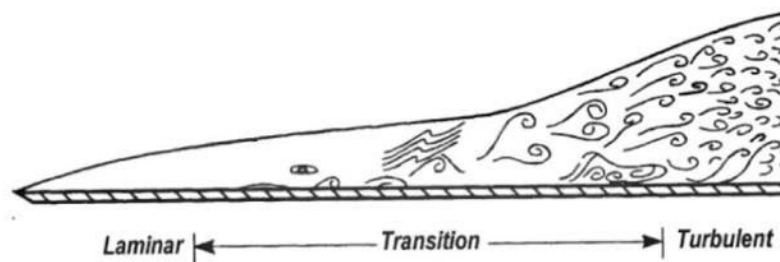
**ctt** = Constant

#### d. Capa límit

Es coneix la capa límit com la zona on el fluid d'entrada del sistema és pertorbat per la presència d'un cos, i aquest fluid entra en contacte amb el sòlid, passant de tenir la seva pròpia velocitat a tenir una velocitat pràcticament igual que la del sòlid amb el que xoca. En el nostre cas, al ser una motocicleta en moviment i considerar l'aire estàtic, a la zona de la capa límit l'aire passa d'estar estàtic a tenir pràcticament la mateixa velocitat que la motocicleta.

Les partícules del fluid que es desplacen per la zona experimenten un canvi de moviment per etapes. Inicialment, es desplacen de manera laminar paral·lelament al moviment de la motocicleta i de la resta de partícules. A mesura que avancen per la capa límit, aquestes partícules experimenten una variació de trajectòria, entrant en un flux turbulent i desordenat. Aquest flux turbulent suposa un augment del gruix de la capa límit, ocupant major espai al voltant de la motocicleta.

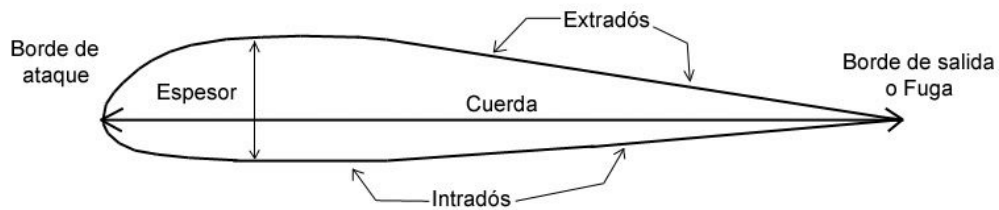
A la *Figura B2* que es mostra a continuació, s'observa el procés que pateixen les partícules, passant de flux laminar a turbulent, amb l'espai que ocupen en cada cas.



*Figura B2* Transició d'un flux laminar a turbulent

## e. Perfil alar

Quan es parla de perfil alar es fa referència a un cos amb fins aerodinàmics en el que quan se li fa un tall transversal s'observa una secció com la que es mostra a la *Figura B3*; els sòlids que acostumen a coincidir geomètricament amb aquesta secció se'ls anomena ales.



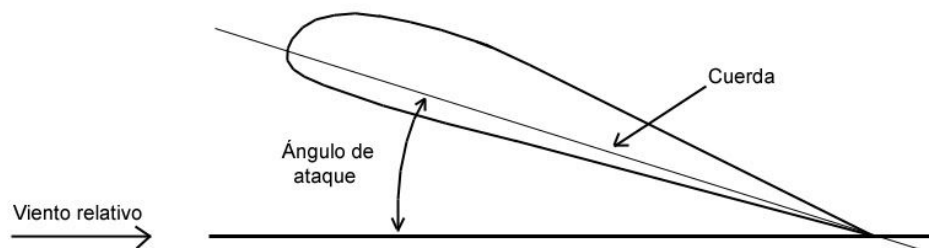
*Figura B2* Transició d'un flux laminar a turbulent

Aquests perfils alars presenten una asimetria a la **corda**, fet que provoca una diferència de pressió entre l'aire de la part superior (**Extradós**) i el de la part inferior (**Intradós**) creant sustentació en el sòlid.

## f. Angle d'atac

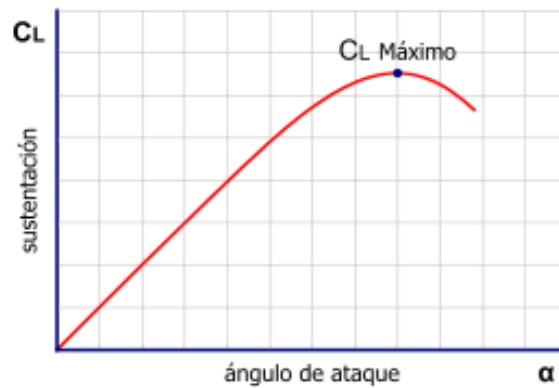
És l'angle determinat per la corda de l'ala i el vector director del flux del fluid que incideix sobre l'ala. Si la corda de l'ala i aquest vector són paral·lels, es diu que l'angle d'atac és neutre. Si l'ala apunta amunt per la part davantera l'angle d'atac és positiu, altrament, si apunta avall, és negatiu. En funció de si es requereix una força negativa (*downforce* o càrrega aerodinàmica) o positiva (força de sustentació) l'alero tindrà un angle o un altre. Com menys pronunciat sigui aquest angle més *drag* provocarà sobre el sòlid. Tots els perfils alars presenten un angle d'atac màxim. Aquest angle d'atac màxim presenta la frontera física entre tenir sustentació al sòlid o perdre-la, ja que si el superem la capa límit es desprèn del sòlid.

A continuació es mostra a la *Figura B3* com es determina aquest angle de forma esquemàtica.



*Figura B3* Angle d'atac d'un perfil alar

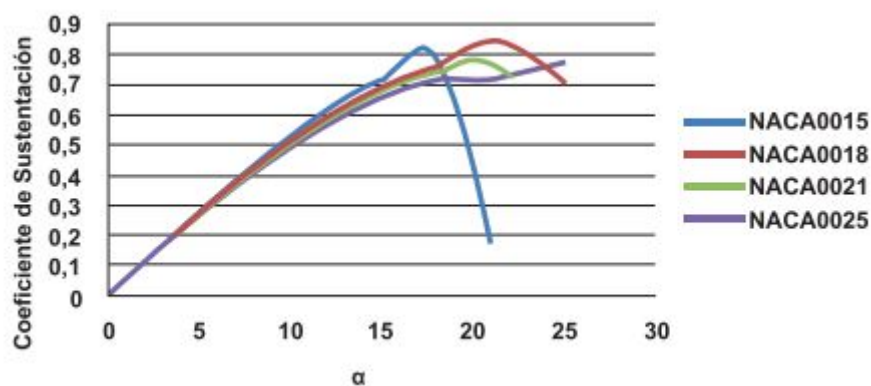
A continuació, a la *Figura B4* podem observar en forma de gràfica com el coeficient de sustentació creix en funció de l'angle d'atac fins arribar a l'angle d'atac màxim, on es perd sustentació.



*Figura B4* Gràfica de la relació entre el coeficient de sustentació i l'angle d'atac

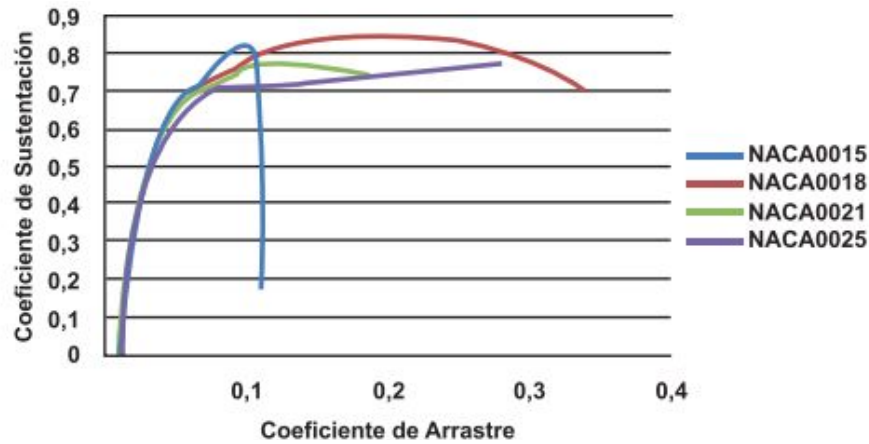
#### g. Perfil alar NACA 0025 d'atac

NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) és una institució dels EUA precursora del desenvolupament de perfils alars. NACA porta des dels inicis del desenvolupament d'ales registrant cada variant de perfil alar amb les seves corresponents característiques. Aquest registre de perfils es fa mitjançant nomenclatures pròpies per cada model i cada família d'ales consta d'un nombre diferent de dígit. El perfil alar escollit pel nostre estudi va ser el 0025, un perfil que presenta una variació estable del coeficient de sustentació en funció de l'angle d'atac, i una bona relació arrossegament/sustentació. Aquesta variació estable es pot observar a la gràfica de continuació, *Figura B5*.



*Figura B5* Gràfica de la relació entre el coeficient de sustentació i l'angle d'atac de diferents perfils alars NACA

A la *Figura B6* que es presenta a continuació en forma de gràfica s'hi pot observar la bona relació arrossegament / sustentació esmentada anteriorment.



**Figura B6** Gràfica de la relació entre el coeficient de sustentació i el coeficient de sustentament de diferents perfil alars NACA

#### h. Coeficients aerodinàmics

##### Coeficient $C_L$ :

Valor indicador de la capacitat que té un sòlid per generar sustentació.

En el cas dels avions interessa un  $C_L$  de valor positiu, i en el cas d'un monoplaça de F1 o una motocicleta com les estudiades interessa un  $C_L$  negatiu.

La fórmula per determinar aquest coeficient és la següent (*Eq.B3*):

$$C_L = 2 \cdot L_F / \rho \cdot v^2 \cdot A$$

*Eq. B3*

**On:**

$L_F$  = Lift force (força de sustentació o càrrega aerodinàmica)

$\rho$  = densitat de l'aire (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = velocitat (m/s)

$A$  = Àrea de referència

L'àrea de referència d'una ala es calcula a partir de la *Eq.B4*, que es mostra a continuació, tot i que en el cas d'un aleró com el nostre es fa calculant l'àrea projectada per l'aleró en planta:

$$A = C \cdot L$$

*Eq. B4*

**On:**

$C$  = Corda del perfil alar

$L$  = Longitud de l'ala

Coefficient  $C_D$ :

Valor indicador de la capacitat que té un sòlid per generar resistència a l'avanç. La fórmula per determinar aquest coeficient és la següent (Eq.B5):

$$C_D = 2 \cdot D / \rho \cdot v^2 \cdot A$$

Eq. B5

**On:**

**D** = Força d'arrossegament

**$\rho$**  = densitat de l'aire (kg/m<sup>3</sup>)

**v** = velocitat (m/s)

**A** = Àrea de referència

## i. Eficiència aerodinàmica

Tant amb vehicles quotidians com amb tot tipus de vehicles de competició, des de sempre s'ha mirat de buscar la manera perquè la força d'arrossegament fos mínima a fi de reduir el consum de combustible i aprofitar millor les prestacions del motor. Tot i aquest objectiu clar de reduir aquesta força, amb el pas del temps s'ha observat que no es tracta de reduir al mínim la força d'arrossegament ja que el vehicle perd molta estabilitat i manejabilitat, sinó de mirar de buscar el millor equilibri entre una càrrega aerodinàmica que favoreixi al comportament del vehicle i una força d'arrossegament baixa.

L'eficiència aerodinàmica es basa en aquest equilibri: mitjançant la següent fórmula (Eq. B6), es determina l'eficiència del conjunt. Com més elevat sigui aquest valor **Ef**, més eficient serà el disseny.

$$\text{Eficiència} = |CL| / CD$$

Eq. B6



## **ANNEX C: TAULA RESUM DELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ**

	Velocity (km/h)	Velocity(m/s)	Drag (N)	Downforce (N)	Drag TOTAL (N)	Downforce TOTAL (N)	Area (m <sup>2</sup> )	C <sub>o</sub>	Area (m <sup>2</sup> )	C <sub>L</sub>	Efficiency (C <sub>L</sub> /C <sub>o</sub> )
Model 1 (V2)	90	25	61.81	-4.95	123.62	-9.9	0.634	0.518	0.538	-0.049	0.094
Model 2 (V3)	90	25	59.69	5.74	119.38	11.48	0.646	0.491	0.558	0.055	0.111
Model 3 (V4)	90	25	65.26	12.59	130.52	25.18	0.6401	0.541	0.6305	0.106	0.196
Model 4 (V5)	90	25	64.56	3.35	129.12	6.7	0.642	0.534	0.602	0.030	0.055
Air density	km/h to m/s										
1,205	0,27777778										
	Vel. (km/h)	Vel.(m/s)	Drag (N)	Downforce (N)	Drag TOT. (N)	Downforce TOT. (N)	Area(m <sup>2</sup> )	C <sub>o</sub>	Area(m <sup>2</sup> )	C <sub>L</sub>	Efficiency (C <sub>L</sub> /C <sub>o</sub> )
Model 1 (V2)	270	75	559.70	-44.25	1119.4	-88.5	0.634	0.521	0.538	-0.049	0.093
Model 2 (V3)	270	75	537.01	51.67	1074.02	103.34	0.646	0.491	0.6305	0.048	0.099
Model 3 (V4)	270	75	591.05	117.65	1182.1	235.3	0.6401	0.545	0.6305	0.110	0.202
Model 4 (V5)	270	75	582.45	30.21	1164.9	60.42	0.642	0.535	0.602	0.030	0.055
Air density	km/h to m/s										
1,205	0,27777778										

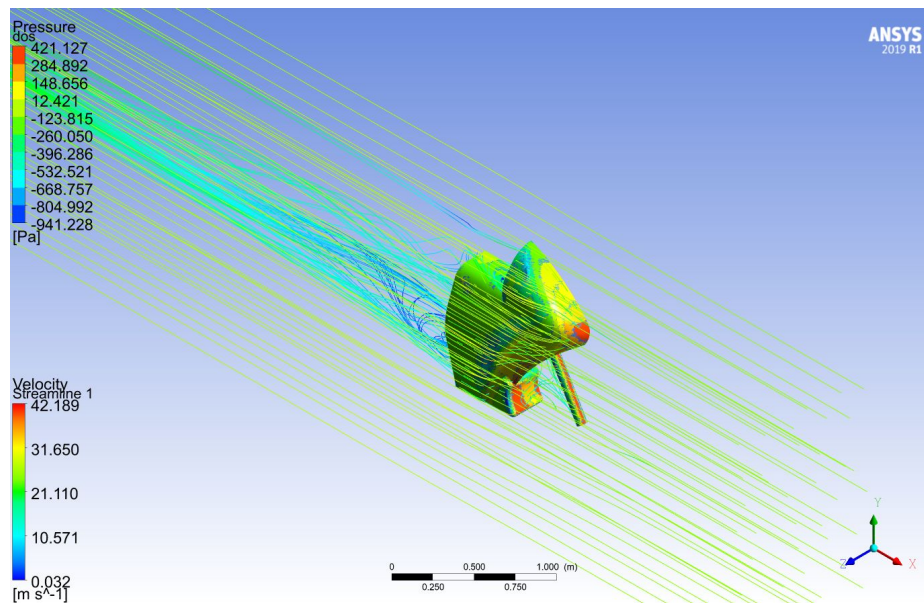
## **ANNEX D: RESULTATS DE LES SIMULACIONS DEL MODEL 1**

## a. Introducció

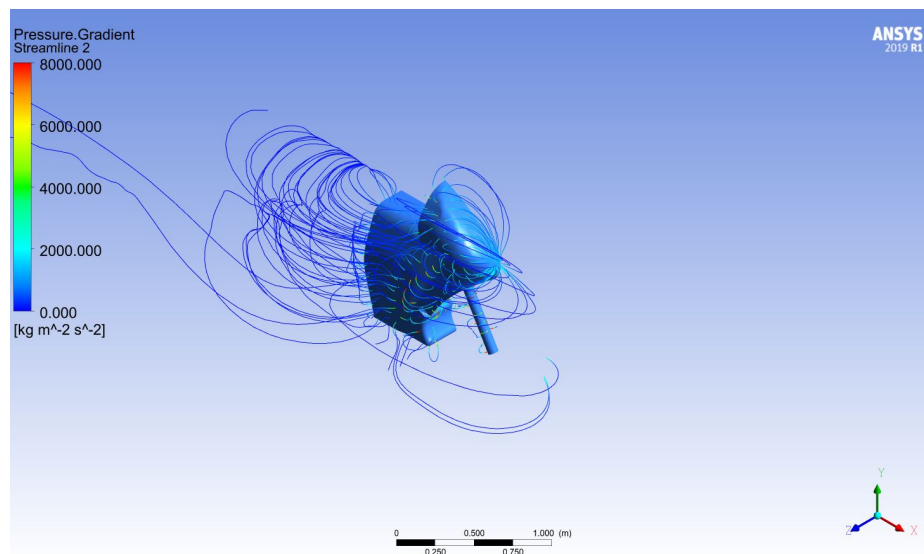
En aquest annex hi ha les figures dels resultats de les simulacions fetes relacionades amb l'estudi dels coeficients aerodinàmics del Model 1 (original) a diferents velocitats.

## b. Resultats de les simulacions

### Velocitat de 90 km/h:



**Figura D1 Pressió i velocitat màxima i mínima amb línies de flux**



**Figura D2 Línies de pressió al voltant de la superfície del Model 1**

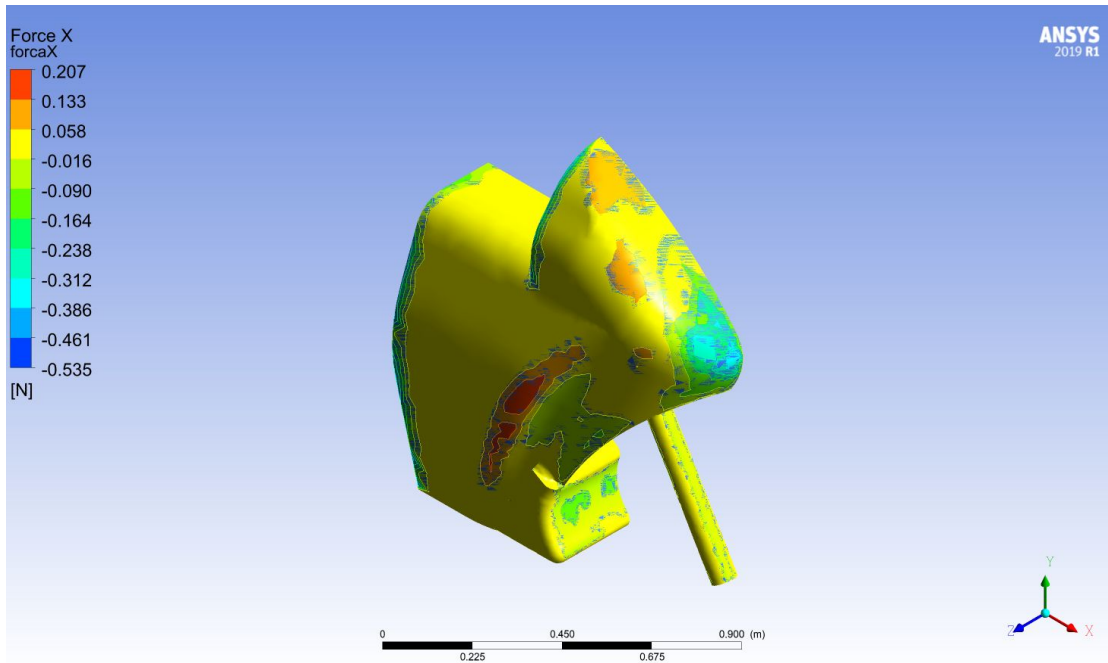


Figura D3 Força d'arrossegament repartida a la superfície del Model 1

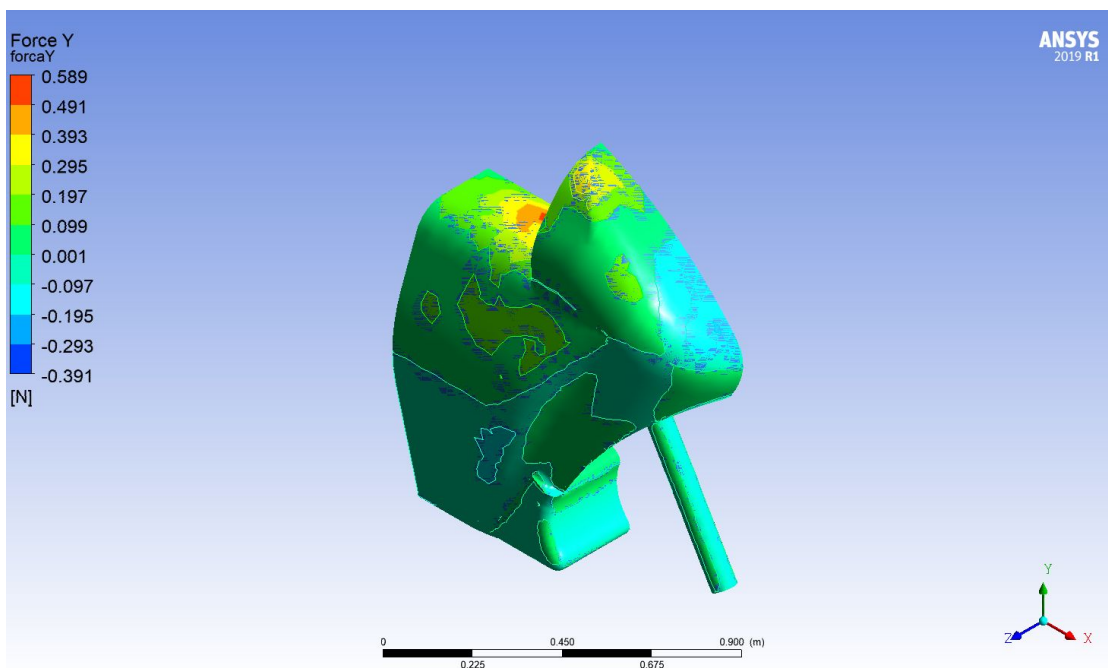
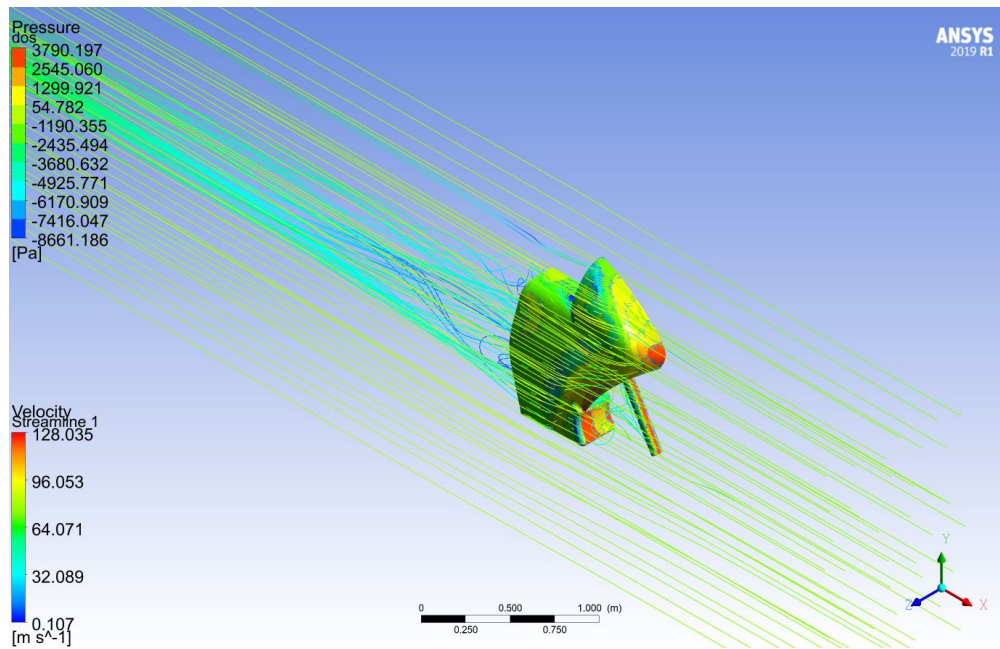


Figura D4 Força de sustentació repartida a la superfície del Model 1

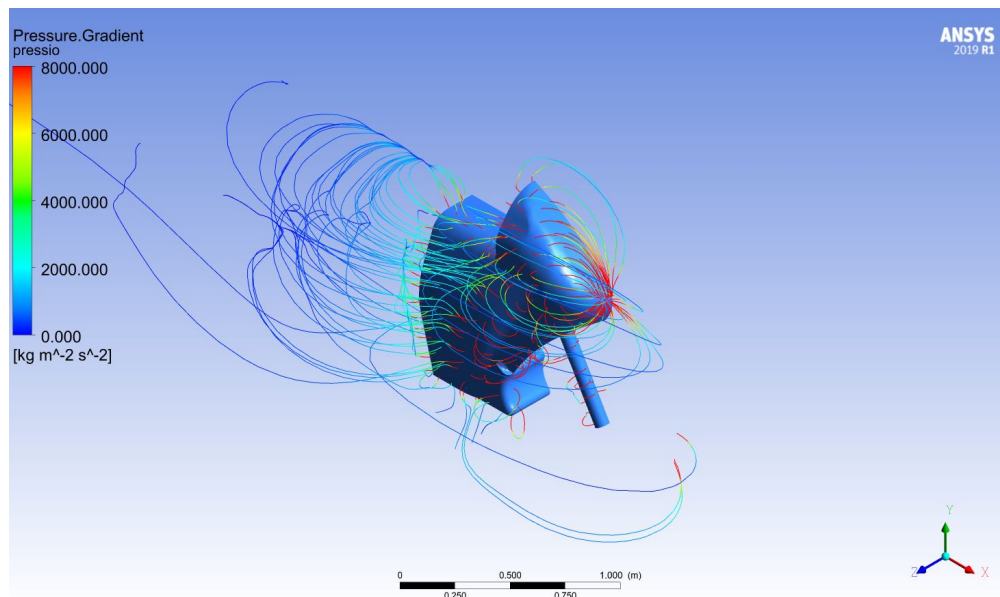
$C_{L_{1_{90}}}$ : -0,049

$C_{D_{1_{90}}}$ : 0,518

**Velocitat de 270 km/h:**



**Figura D5 Pressió i velocitat màxima i mínima amb línies de flux**



**Figura D6 Línies de pressió al voltant de la superfície del Model 1**

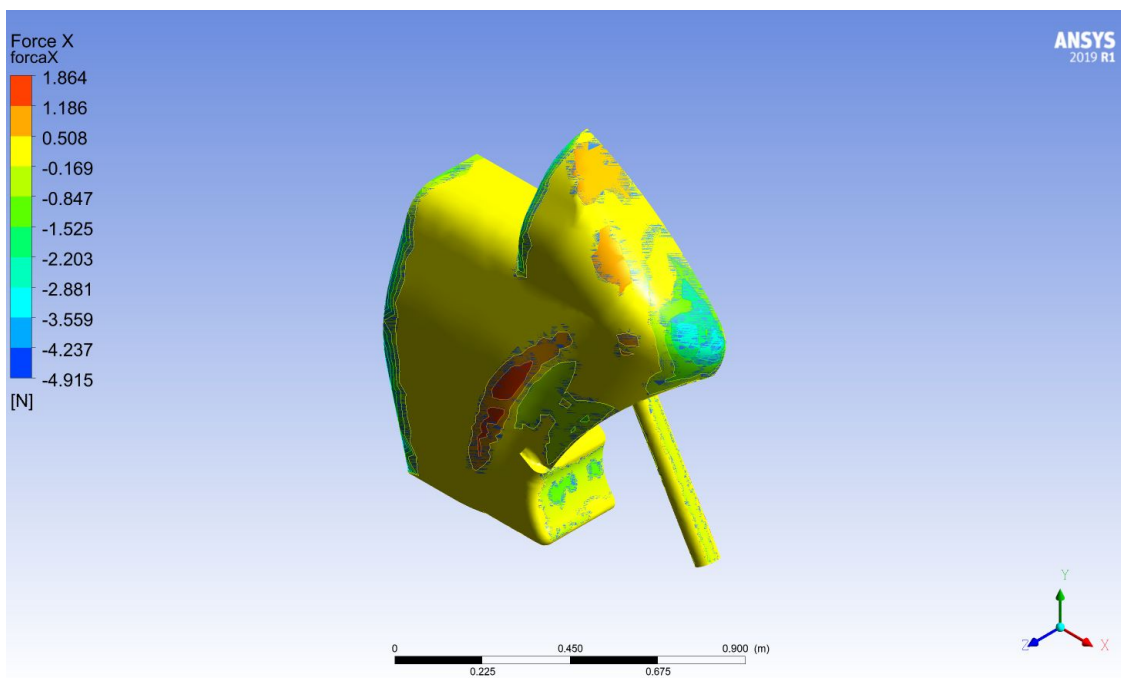


Figura D7 Força d'arrossegament repartida a la superfície del Model 1

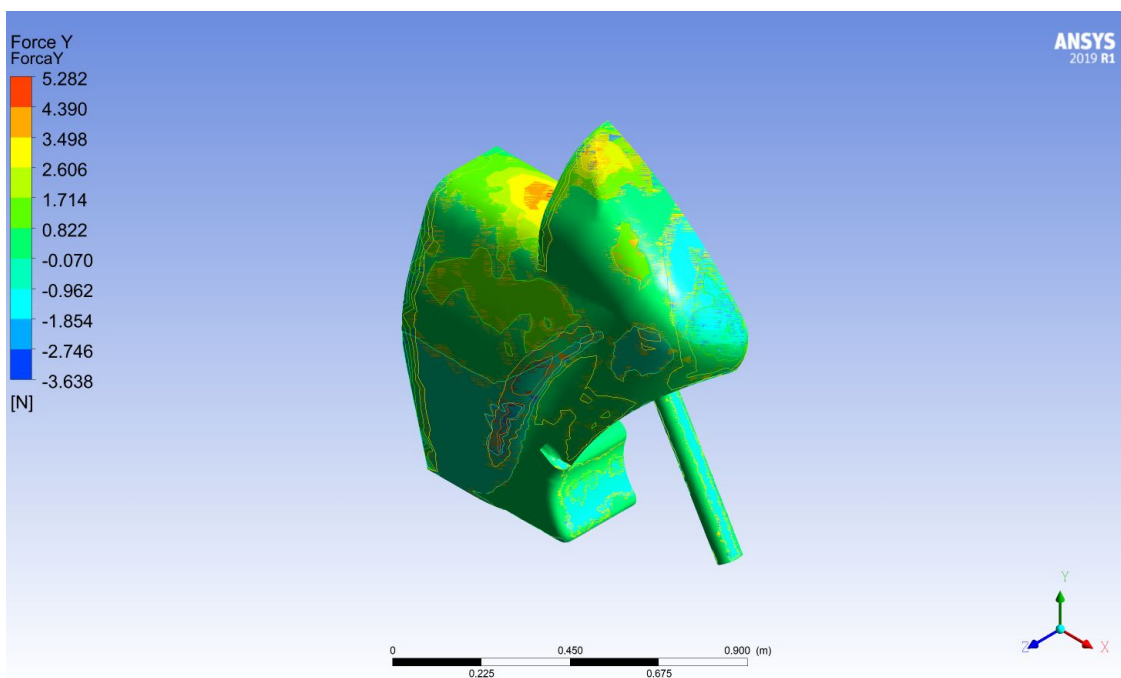
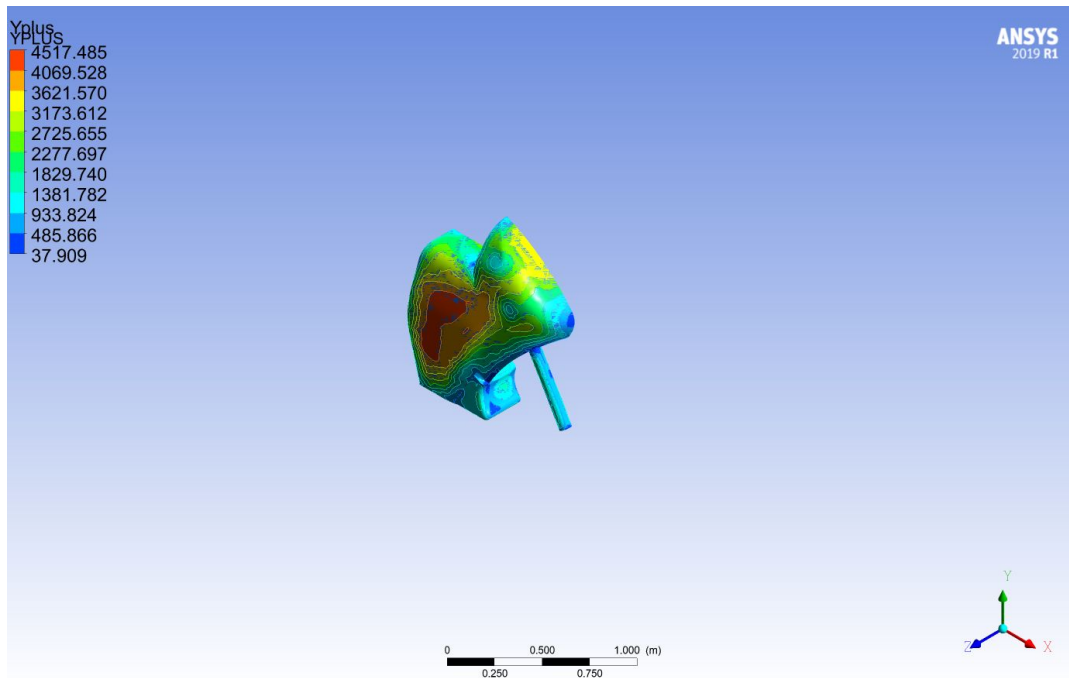


Figura D8 Força de sustentació repartida a la superfície del Model 1



**Figura D9 Valors Y+ del Model 1**

**C<sub>L\_1\_270</sub>: -0,049**

**C<sub>D\_1\_270</sub>: 0,521**



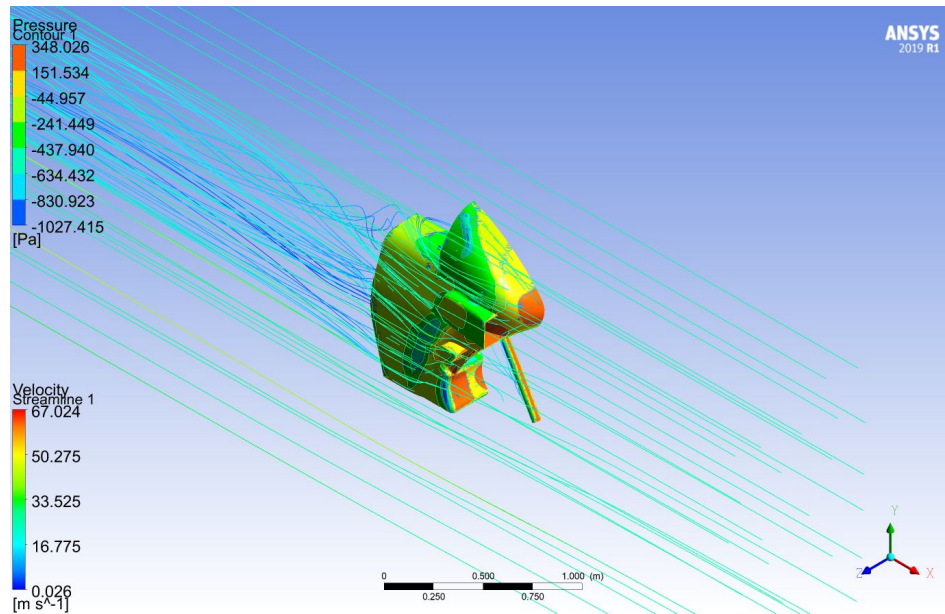
## **ANNEX E: RESULTATS DE LES SIMULACIONS DEL MODEL 2**

a. Introducció

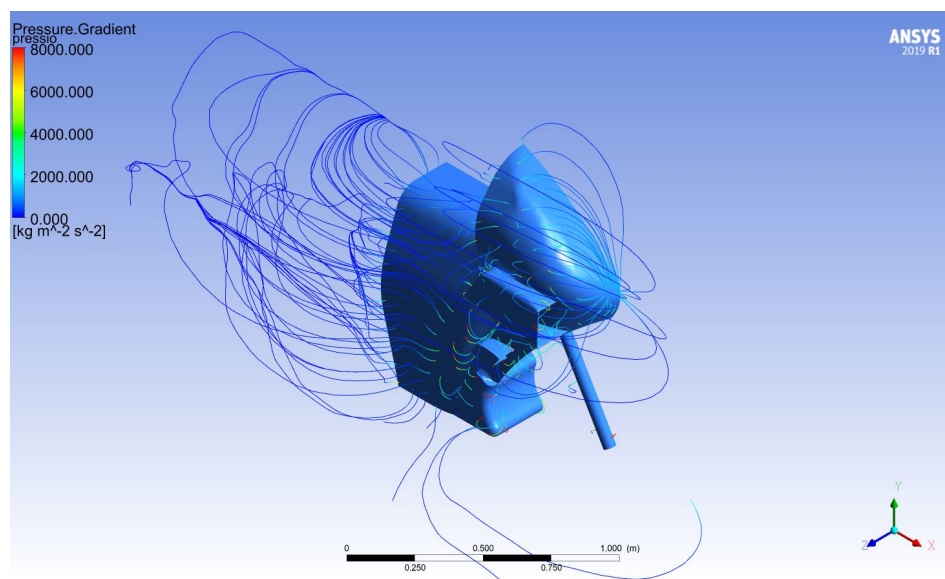
En aquest annex hi ha les figures dels resultats de les simulacions fetes relacionades amb l'estudi dels coeficients aerodinàmics del Model 2 (Honda) a diferents velocitats.

b. Resultats de les simulacions

**Velocitat de 90 km/h:**



**Figura E1 Pressió i velocitat màxima i mínima amb línies de flux**



**Figura E2 Línies de pressió al voltant de la superfície del Model 2**

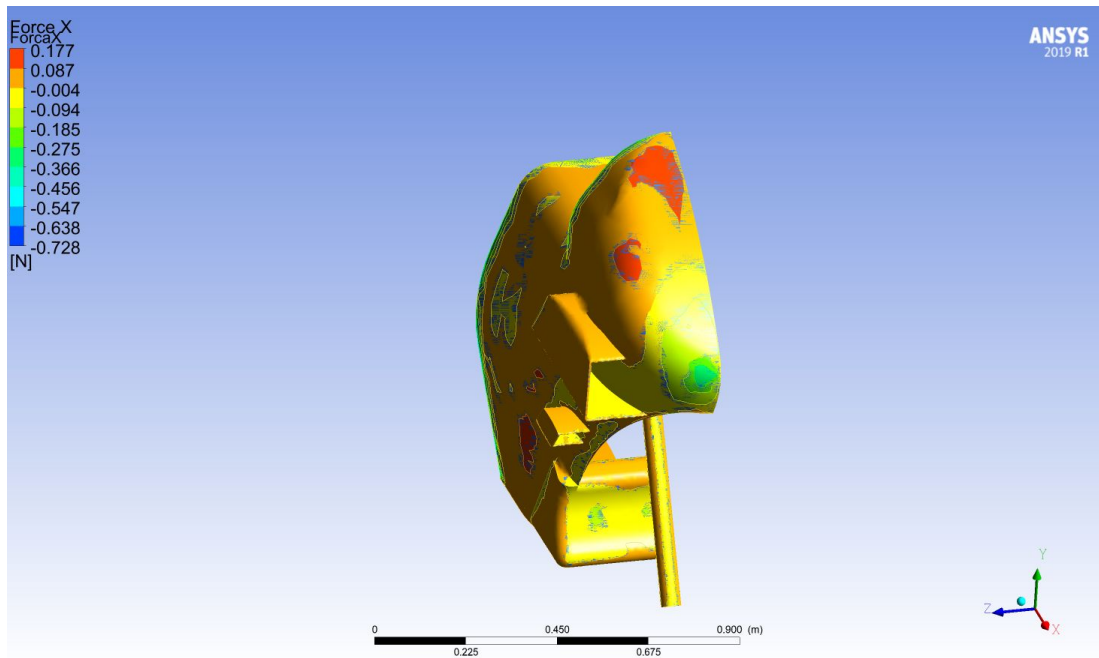


Figura E3 Força d'arrossegament repartida a la superfície del Model 2

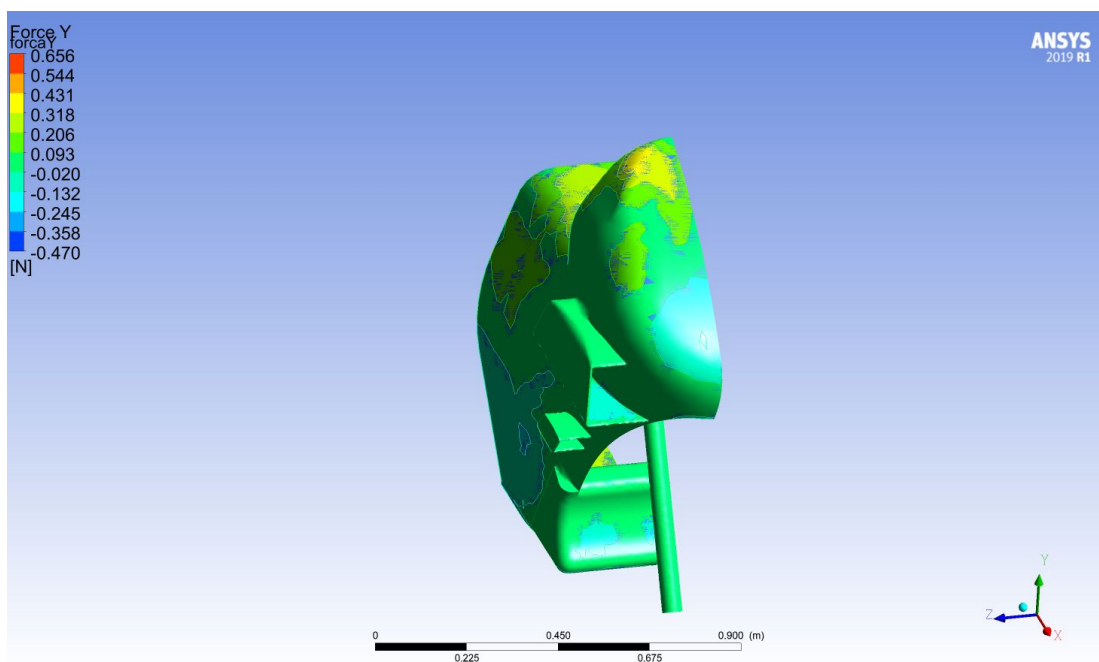
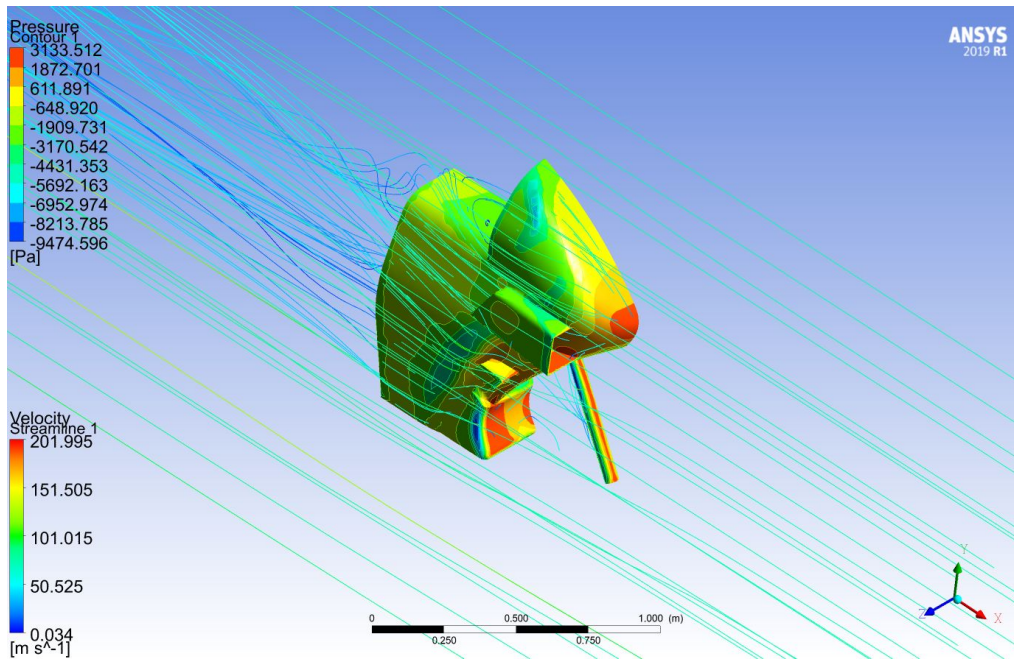


Figura E4 Força de sustentació repartida a la superfície del Model 2

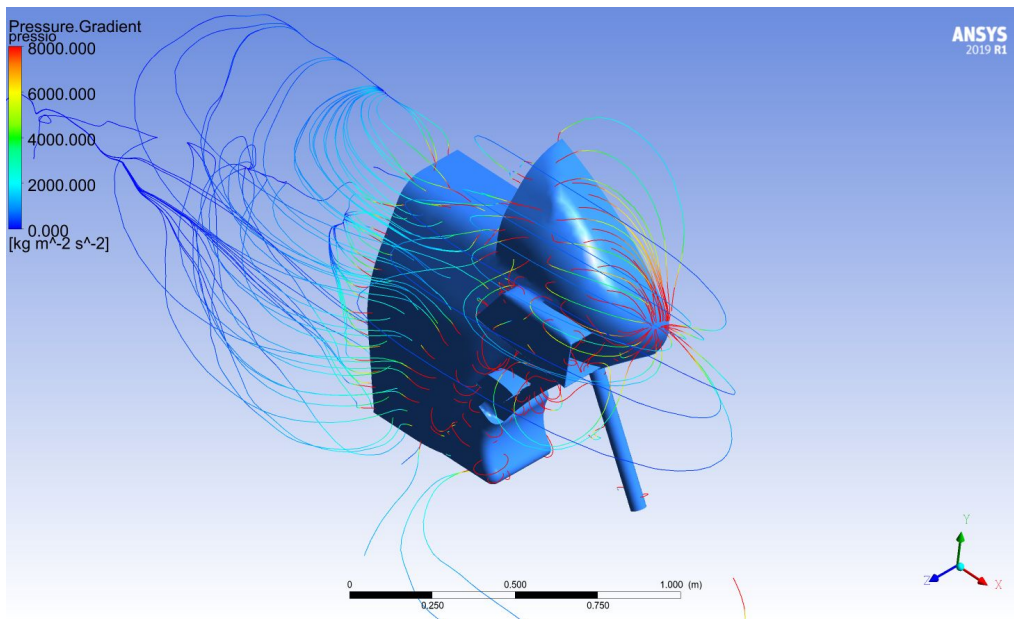
$C_{L_{2_{90}}}$ : 0,055

$C_{D_{2_{90}}}$ : 0,4918

**Velocitat de 270 km/h:**



**Figura E5 Pressió i velocitat màxima i mínima amb línies de flux**



**Figura E6 Línies de pressió al voltant de la superfície del Model 2**

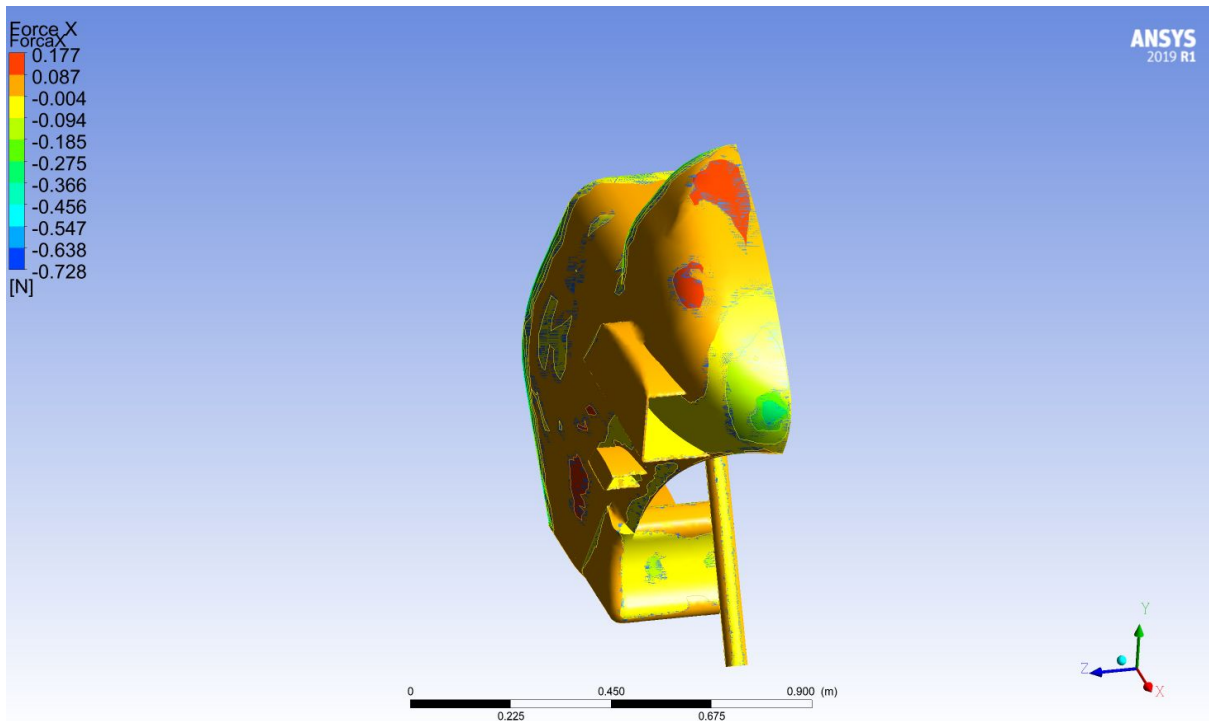


Figura E7 Força d'arrossegament repartida a la superfície del Model 2

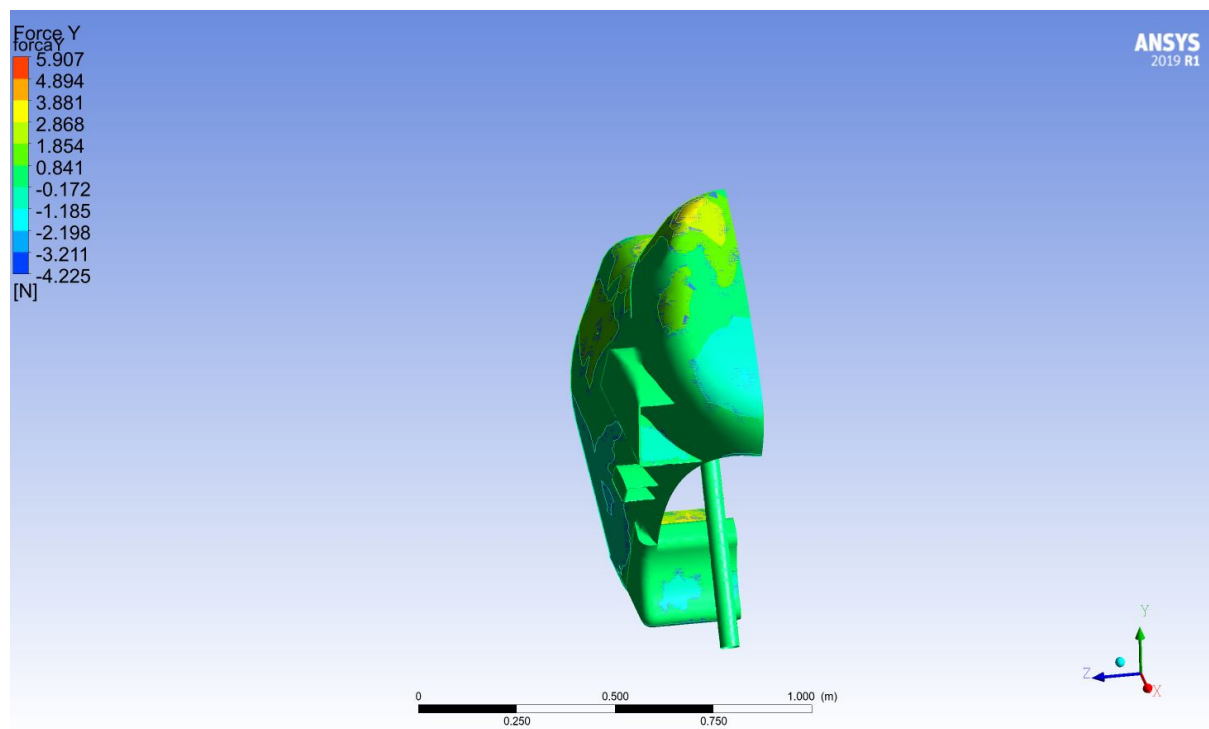


Figura E8 Força de sustentació repartida a la superfície del Model 2

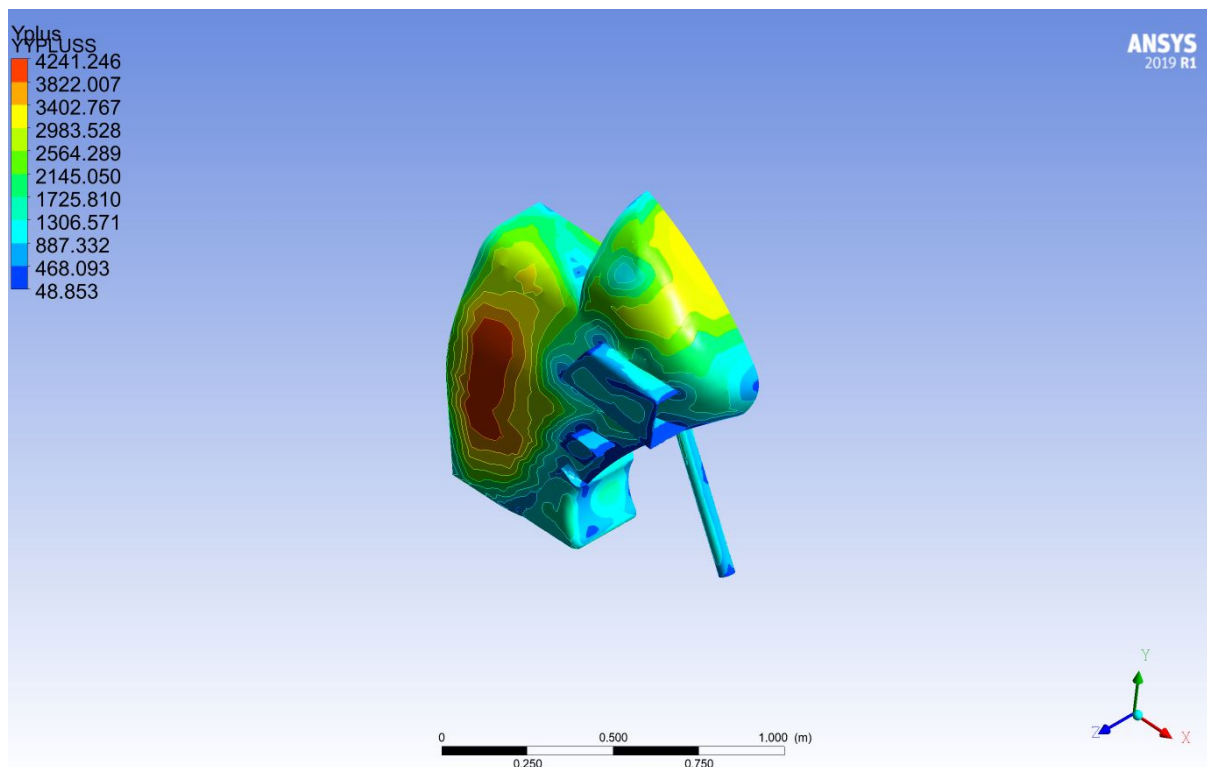


Figura E9 Valors Y+ del Model 2

$C_{L_{2_{270}}}$ : 0,048

$C_{D_{2_{270}}}$ : 0,491

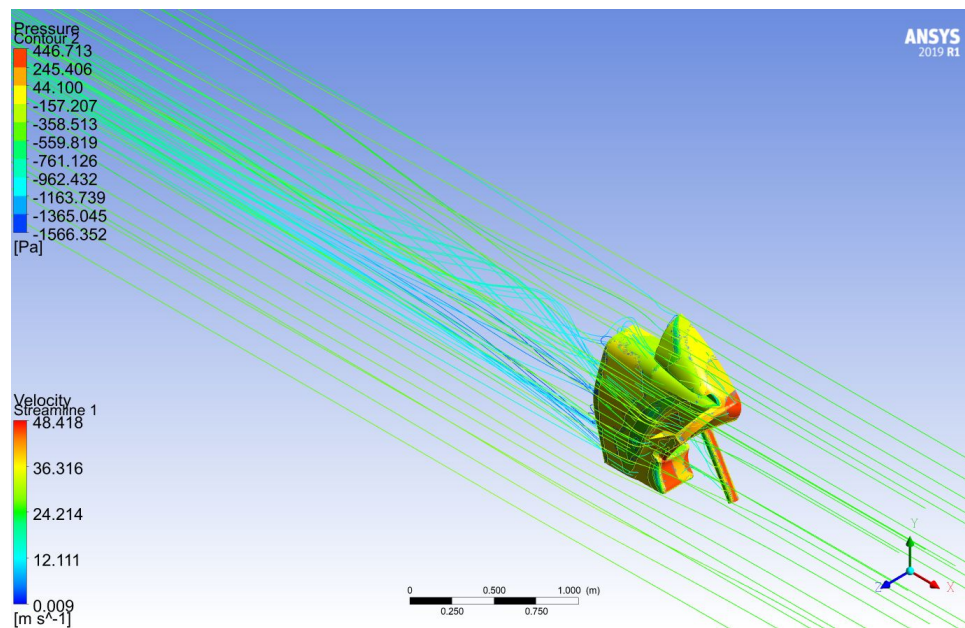
## ANNEX F: RESULTATS DE LES SIMULACIONS DEL MODEL 3

a. Introducció

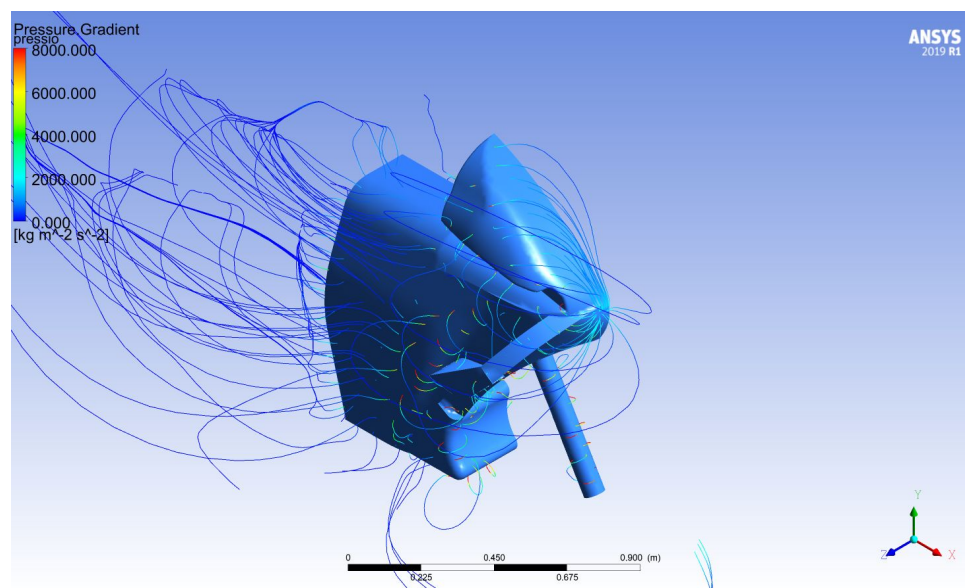
En aquest annex hi ha les figures dels resultats de les simulacions fetes relacionades amb l'estudi dels coeficients aerodinàmics del Model 3 (Yamaha) a diferents velocitats.

b. Resultats de les simulacions

Velocitat de 90 km/h:



**Figura F1 Pressió i velocitat màxima i mínima amb línies de flux**



**Figura F2 Línies de pressió al voltant de la superfície del Model 3**



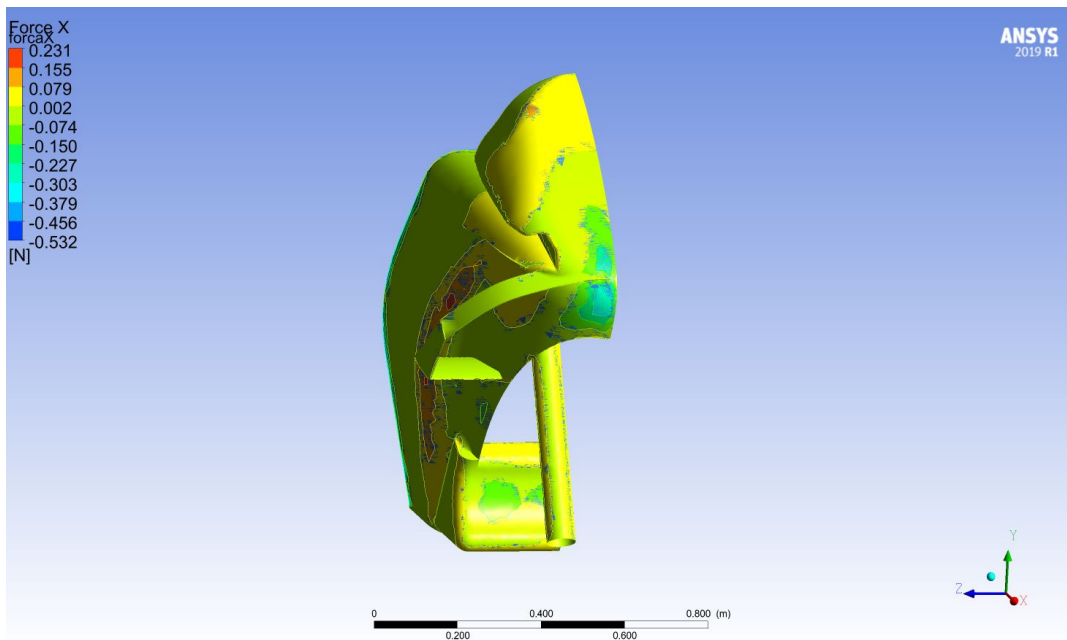


Figura F3 Força d'arrossegament repartida a la superfície del Model 3

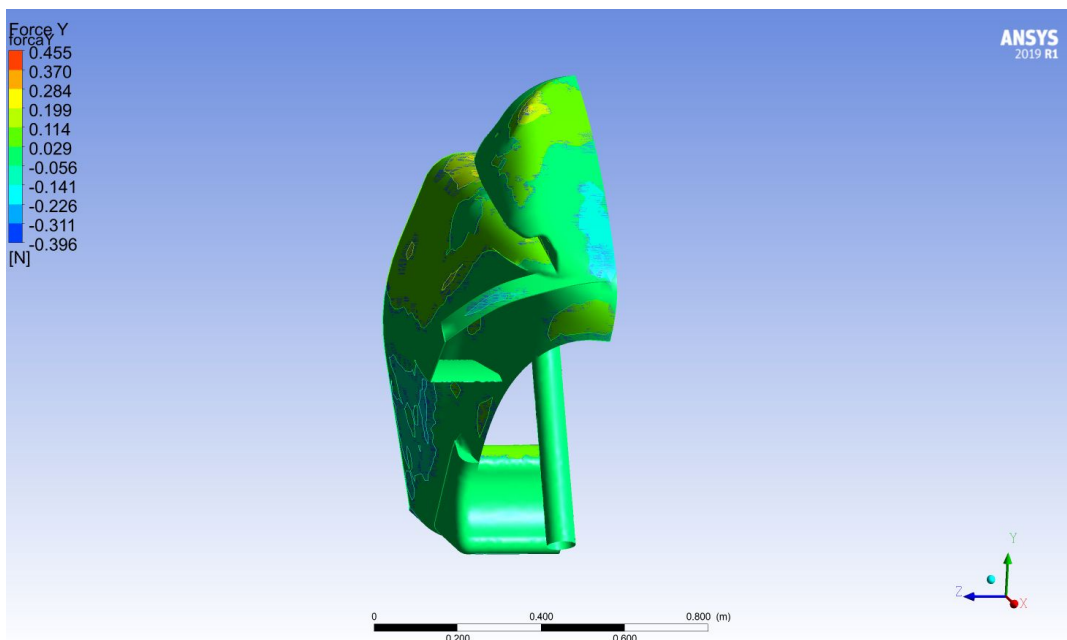
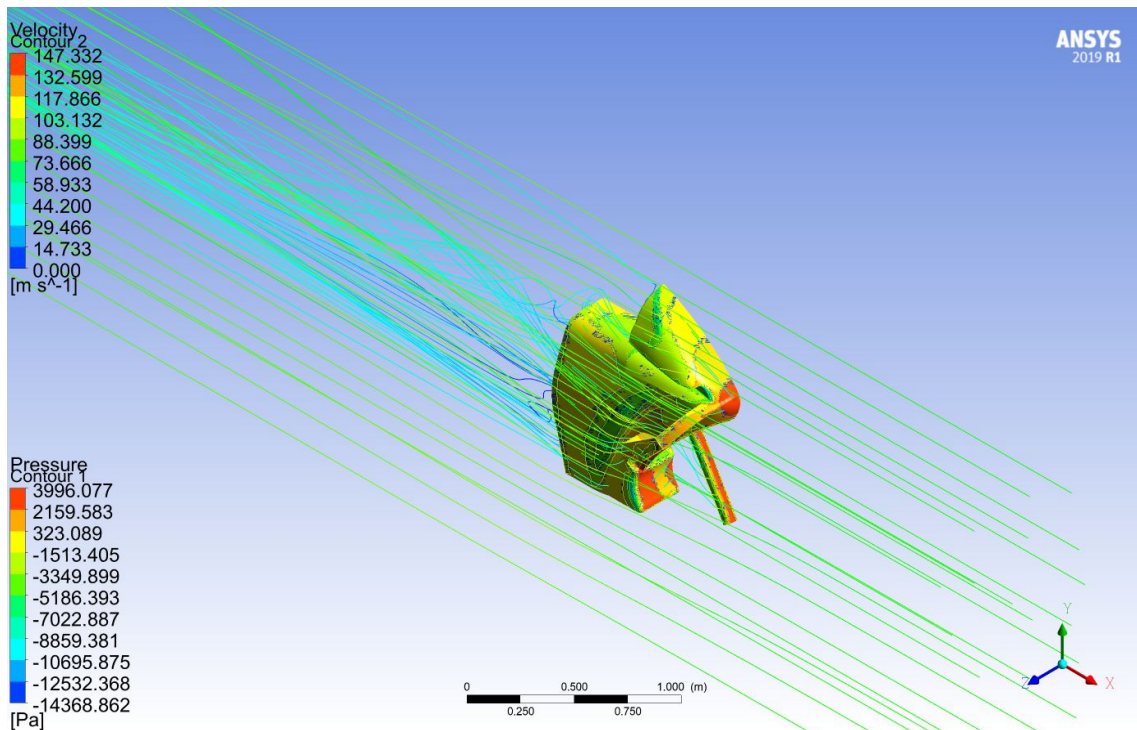


Figura F4 Força de sustentació repartida a la superfície del Model 3

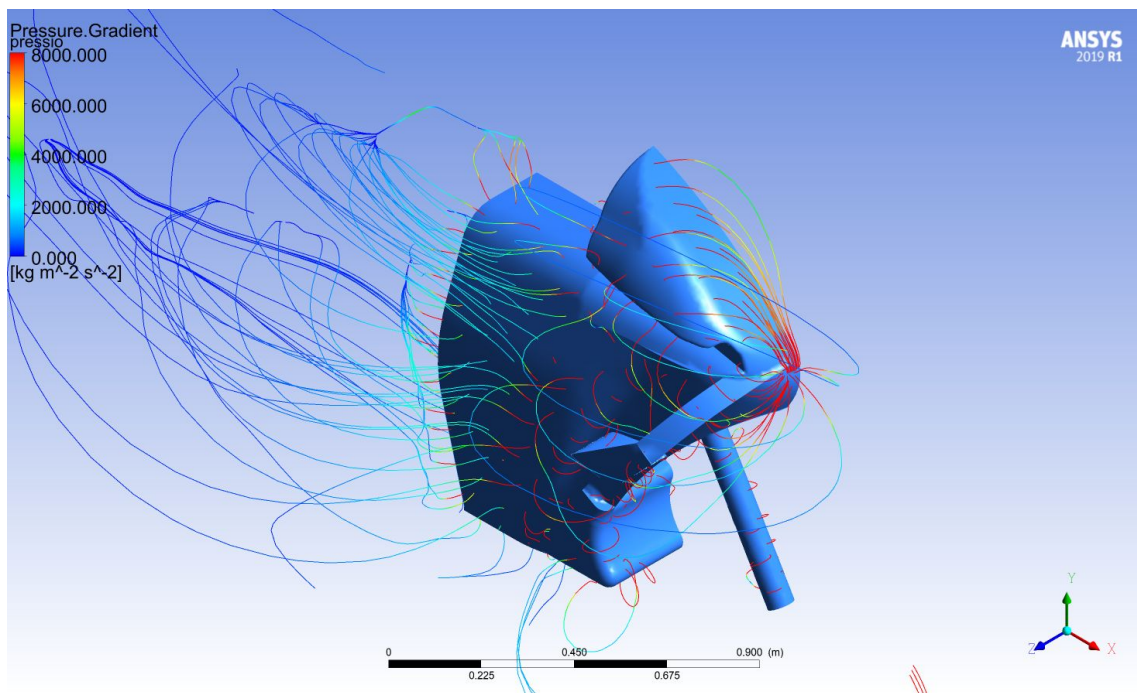
$C_{L_{3_{90}}}$ : 0,106

$C_{D_{3_{90}}}$ : 0,541

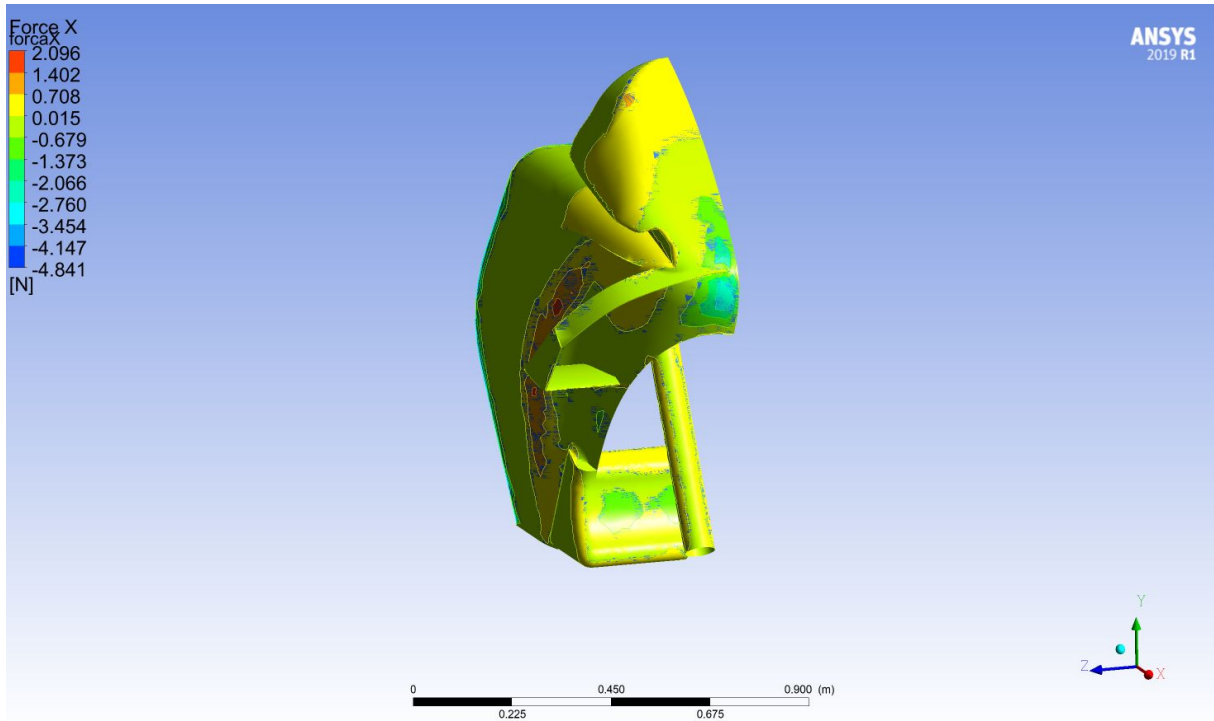
**Velocitat de 270 km/h:**



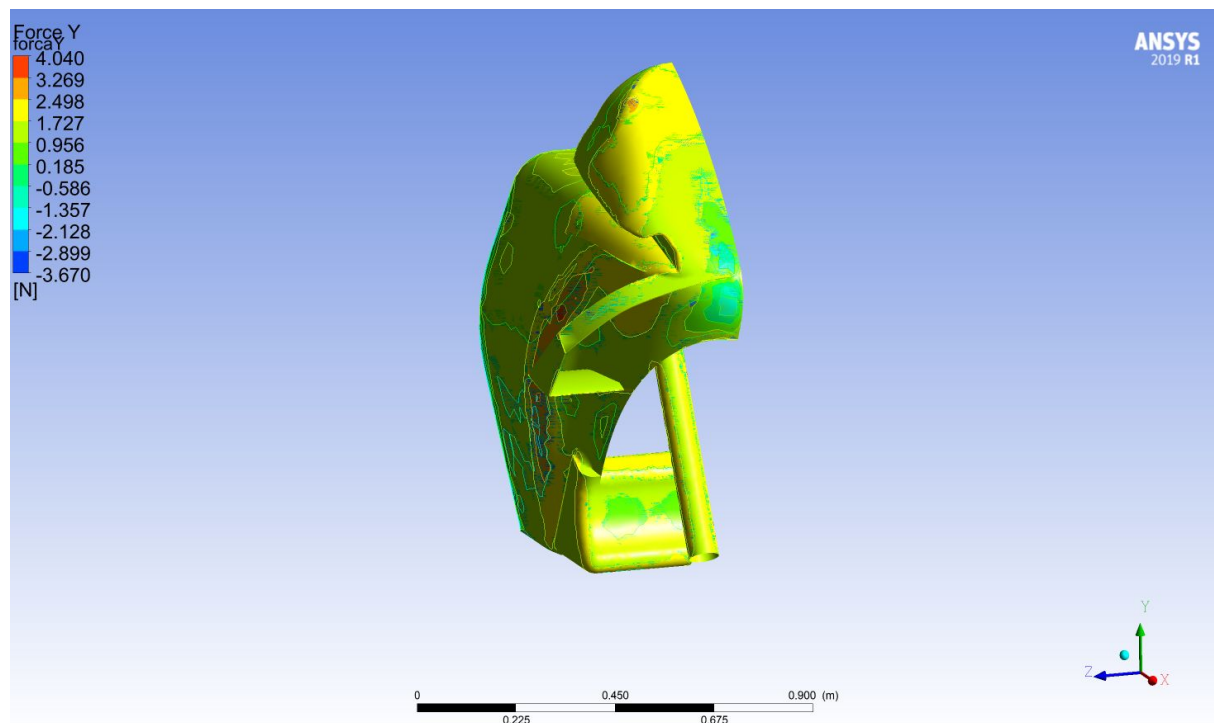
**Figura F5 Pressió i velocitat màxima i mínima amb línies de flux**



**Figura F6 Línies de pressió al voltant de la superfície del Model 3**



**Figura F7 Força d'arrossegament repartida a la superfície del Model 3**



**Figura F8 Força de sustentació repartida a la superfície del Model 3**

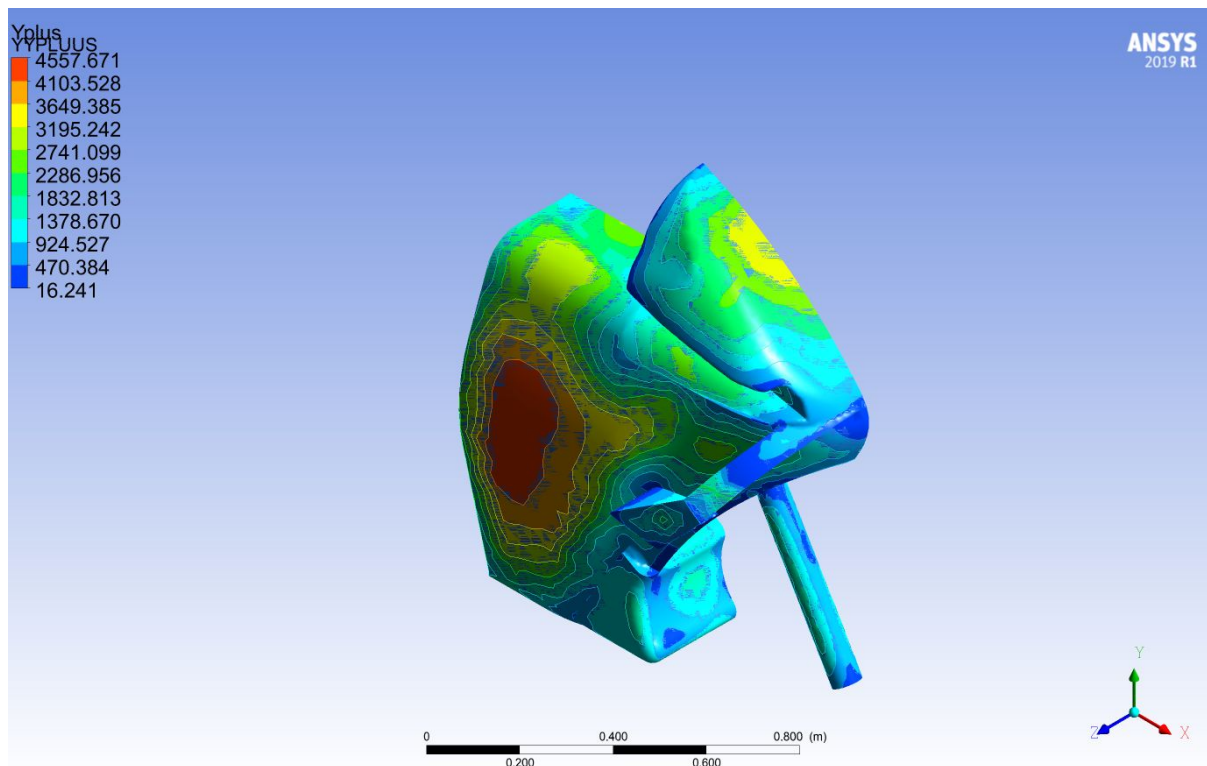


Figura F9 Valors Y+ del Model 3

$C_{L\_3\_270}$ : 0,048

$C_{D\_3\_270}$ : 0,491

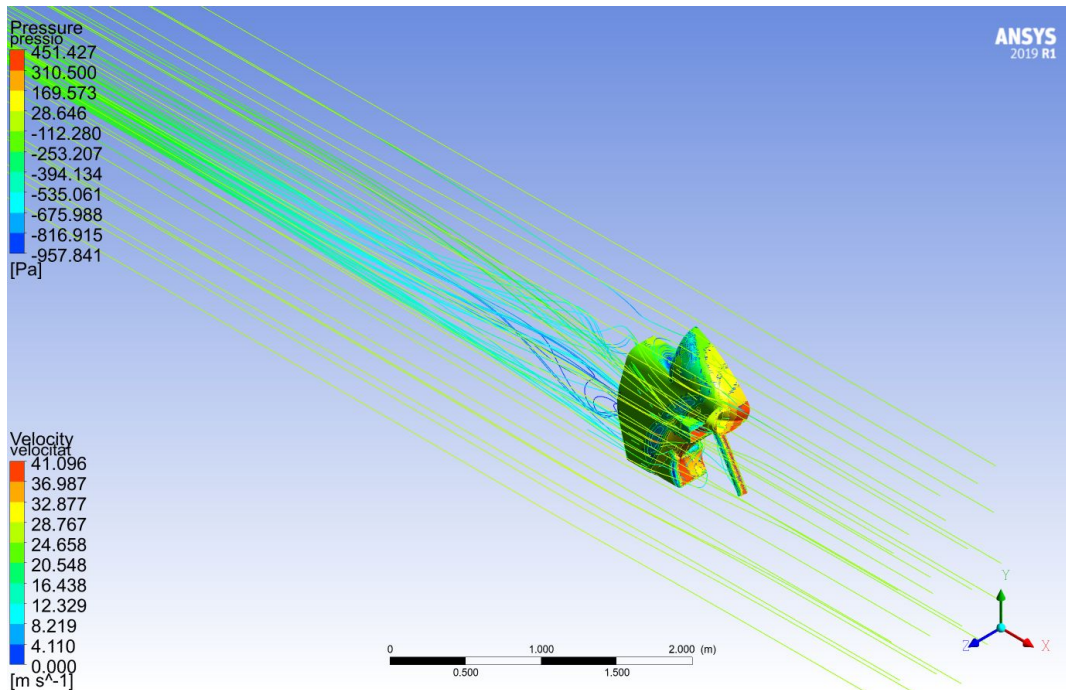
## **ANNEX G: RESULTATS DE LES SIMULACIONS DEL MODEL 4**

a. Introducció

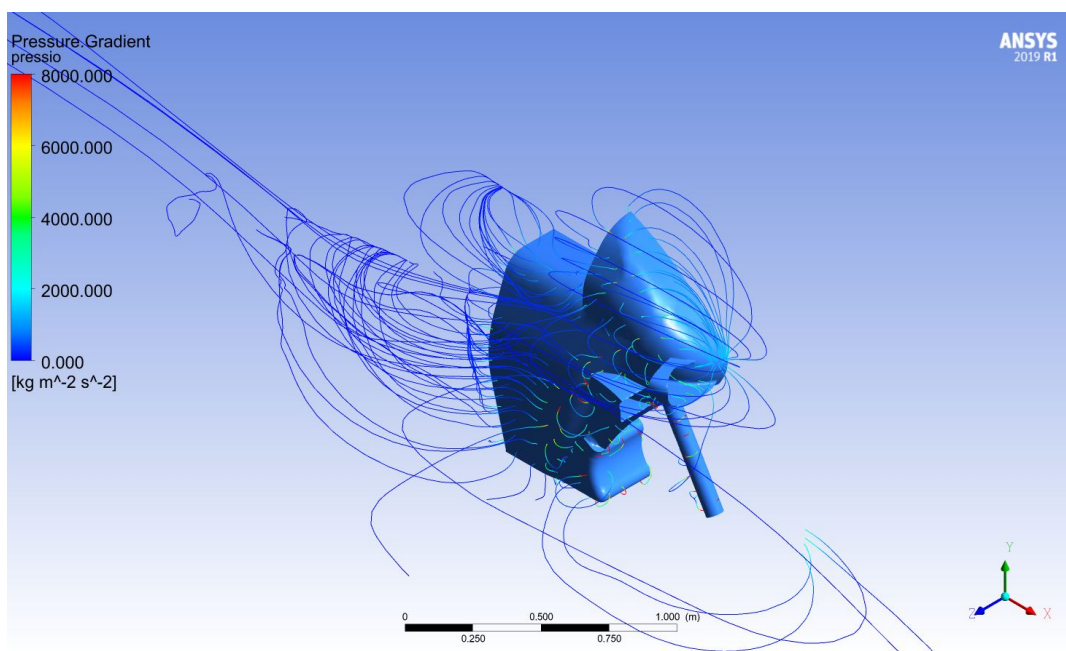
En aquest annex hi ha les figures dels resultats de les simulacions fetes relacionades amb l'estudi dels coeficients aerodinàmics del Model 4 (Ducati) a diferents velocitats.

b. Resultats de les simulacions

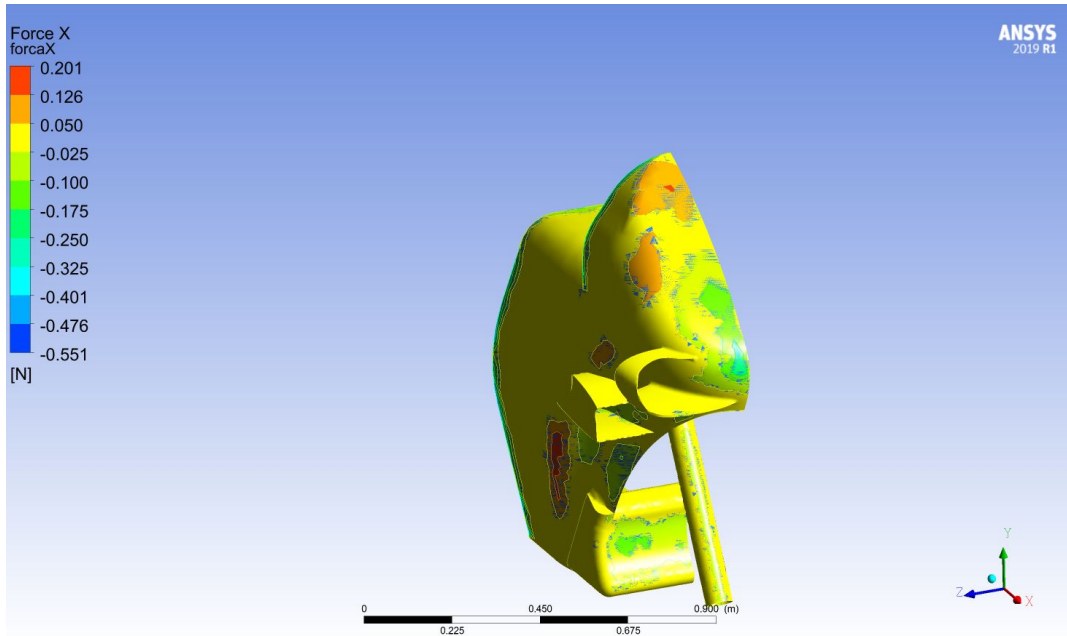
**Velocitat de 90 km/h:**



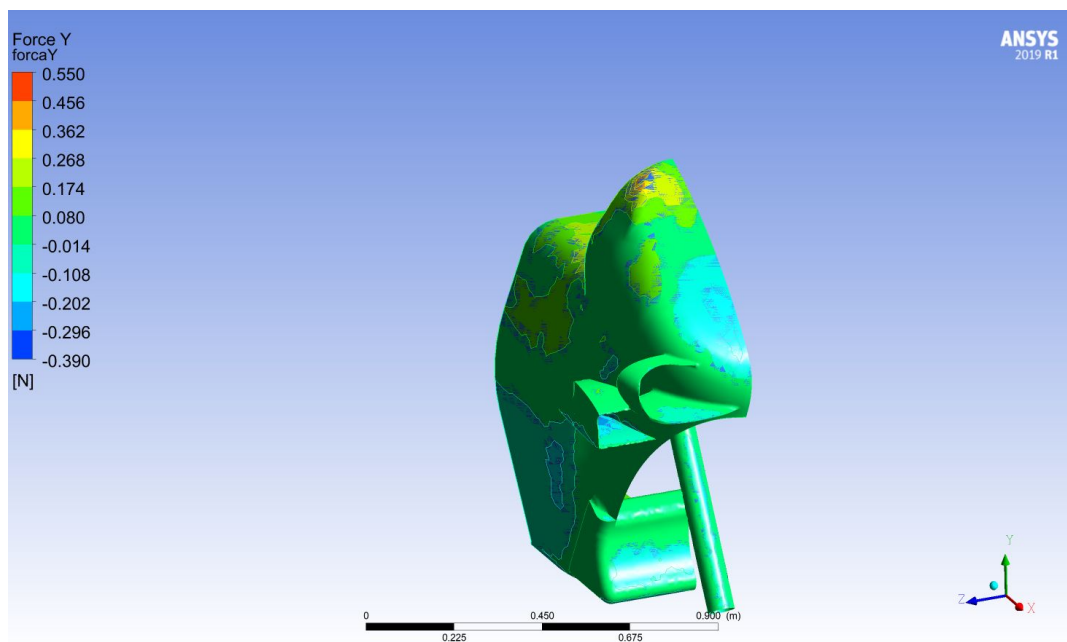
**Figura G1 Pressió i velocitat màxima i mínima amb línies de flux**



**Figura G2 Línies de pressió al voltant de la superfície del Model 4**



**Figura G3** Força d'arrossegament repartida a la superfície del Model 4

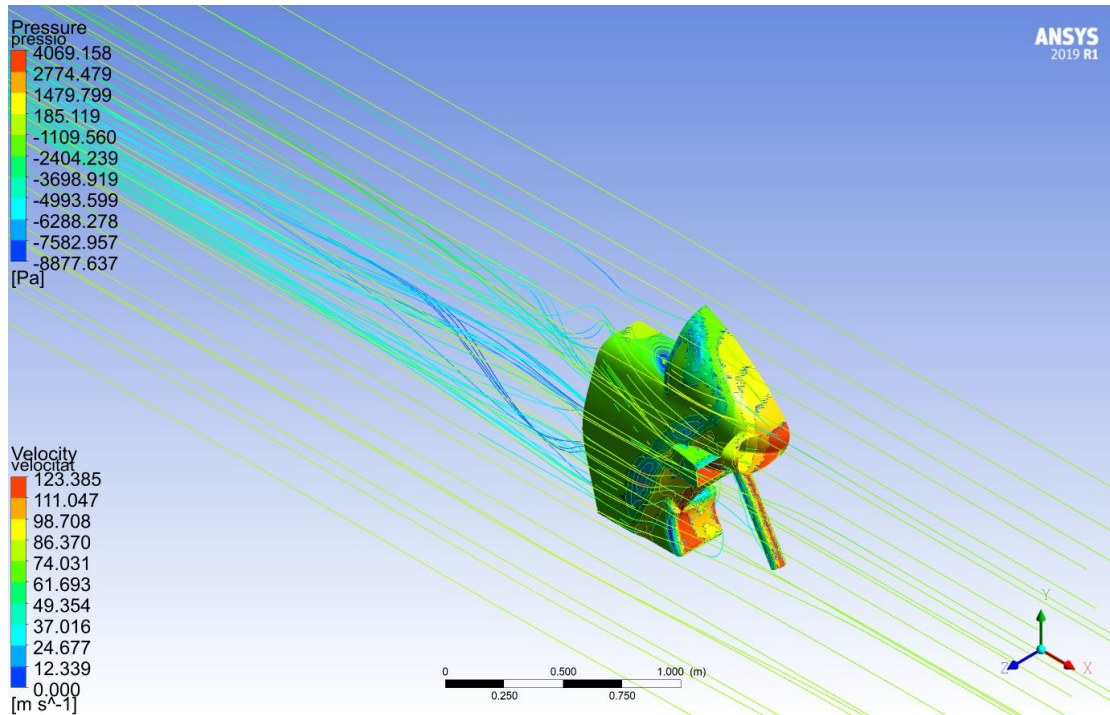


**Figura G4** Força de sustentació repartida a la superfície del Model 4

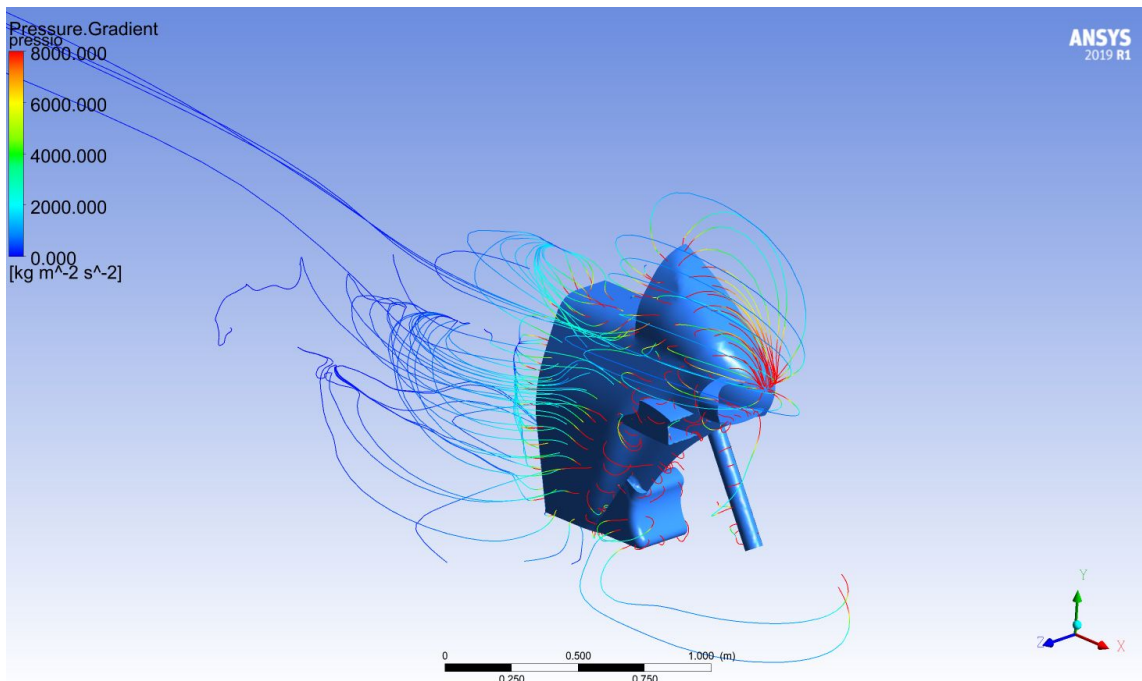
**C<sub>L\_4\_90</sub>**: 0,030

**C<sub>D\_4\_90</sub>**: 0,642

**Velocitat de 270 km/h:**



**Figura G5 Pressió i velocitat màxima i mínima amb línies de flux**



**Figura G6 Línies de pressió al voltant de la superfície del Model 4**



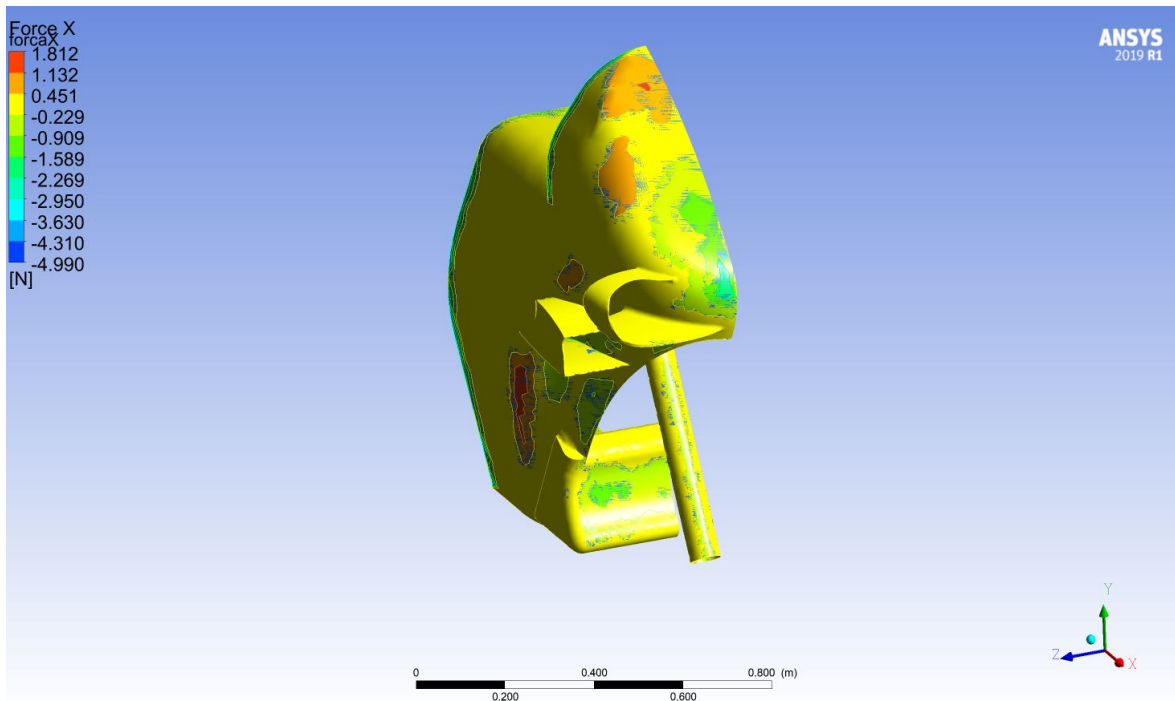


Figura F7 Força d'arrossegament repartida a la superfície del Model 3

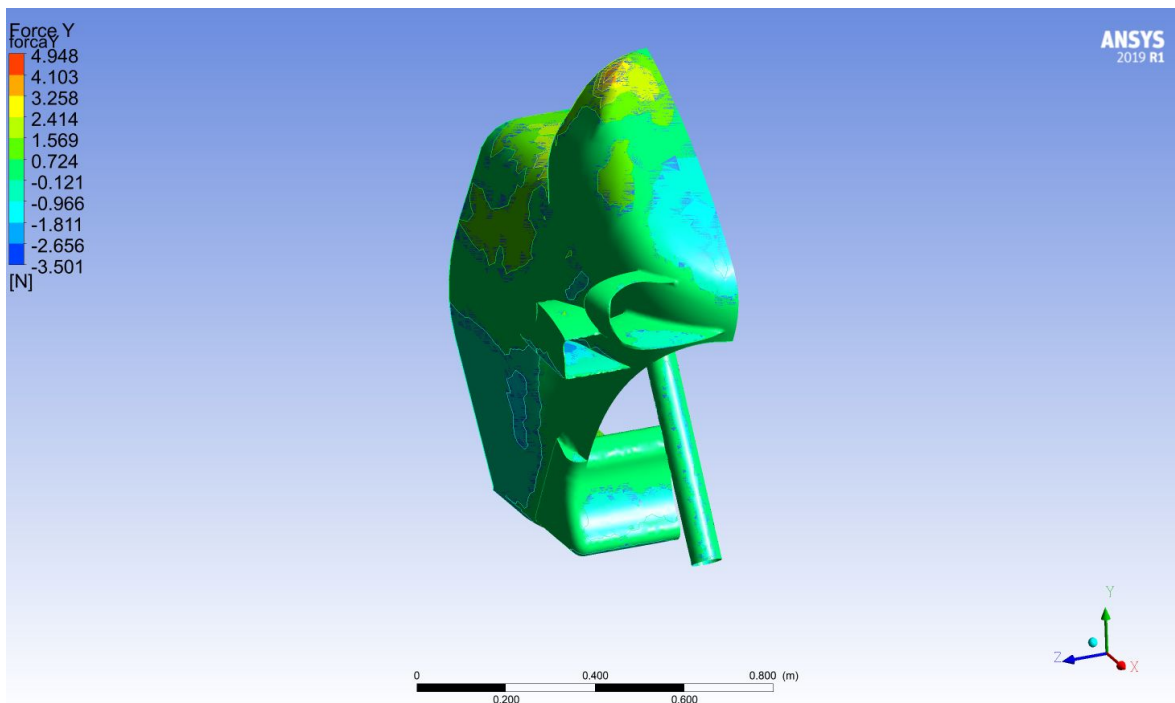


Figura F8 Força de sustentació repartida a la superfície del Model 3

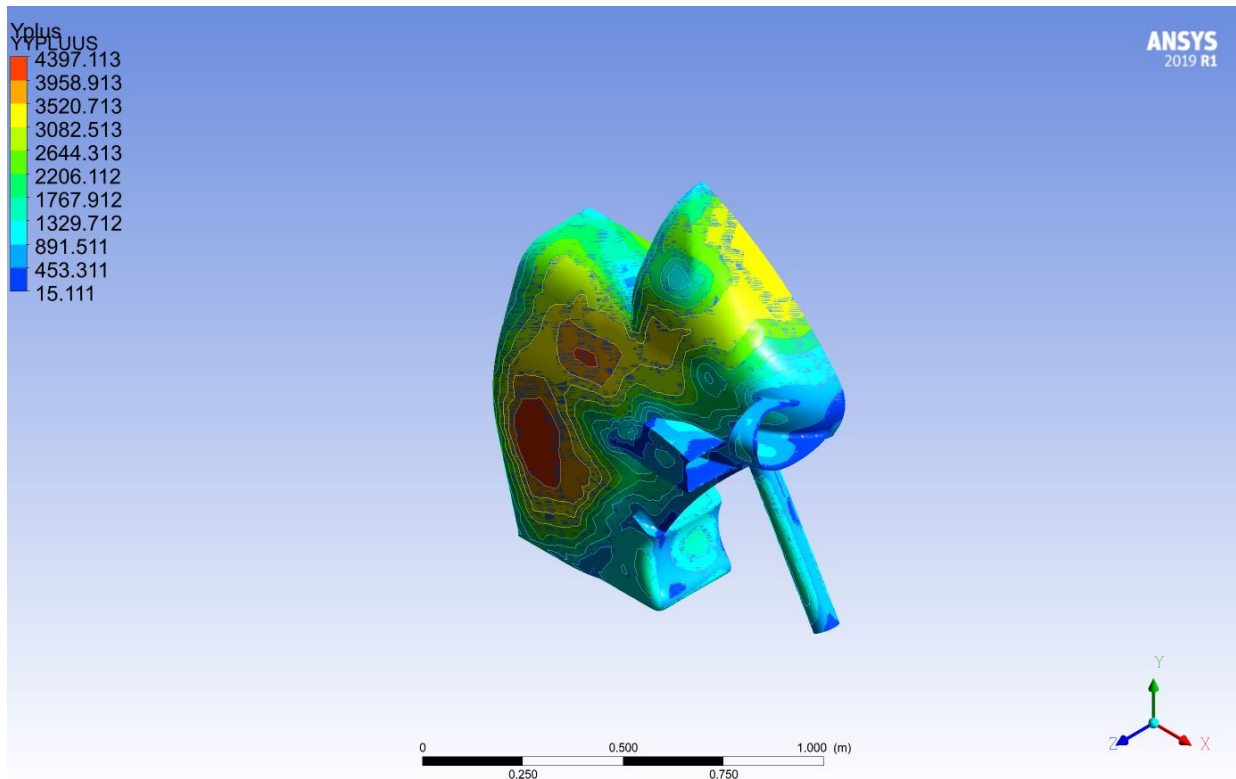


Figura F9 Valors Y+ del Model 3

$C_{L_{4_{270}}}$ : 0,030

$C_{D_{4_{270}}}$ : 0,535

  
Universitat de Girona  
**Escola Politècnica Superior**

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Mecànica

**Títol:** Disseny d'un conjunt d'alerons davanters d'una MotoGP

**Document:** Pressupost

**Alumne:** Guillem Pérez Góngora

**Tutor:** Lino Montoro Moreno

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Mecànica de Fluids - Màquines i Motors Tèrmics

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2020

# ANNEX DE PRESSUPOST

## 1. Cost de redacció del treball

L'informe tècnic presentat ha requerit un total de **quatre-cents seixanta-cinc hores (465 hores)** de treball, **cent (100)** de les quals l'ordinador ha estat treballant de forma autònoma calculant simulacions. Essent un informe realitzat en època d'estat d'alarma i de confinament no s'han necessitat hores pel transport entre el lloc de redacció de l'informe i la oficina de simulació, tot s'ha fet telemàticament i, per tant, el nombre d'hores ha estat inferior que el que hagués estat en una situació de normalitat.

Les tasques realitzades s'han agrupat en quatre grups principals que es plantegen a continuació:

- Recerca i recopilació d'informació: Tasca realitzada prèviament al desenvolupament del disseny, realitzant un estudi exhaustiu per recolectar tota la informació per dissenyar i simulant els quatre dissenys plantejats correctament. En aquesta part del treball s'han emprat **noranta hores (90 hores)** valorades en **vint euros l'hora (20,00 €/hora)**. Aquest preu/hora està justificat per la necessitat d'un nivell mínim de coneixements per entendre i valorar tota la informació que hi ha disponible sobre l'àmbit.
- Disseny: Inclou totes les tasques de desenvolupament i modelatge dels dissenys dels quatre models plantejats, dibuixant primerament la motocicleta inicial i després afegint per a cada model el seu corresponent disseny d'alerons. Aquesta tasca era de les més importants juntament amb la següent tasca de simulació, ja que es necessiten coneixements tècnics profunds en el camp i si no es realitza correctament no es pot simular a l'ANSYS amb la versió d'estudiant. A aquesta tasca s'hi han destinat un total de **cent-vint hores (120 hores)** a un cost de **quaranta euros l'hora (40,00 €/hora)**.
- Simulació i anàlisi: Tasca en la que s'han introduït tots els paràmetres per poder fer les vuit simulacions dels quatre models. Juntament amb la tasca de disseny, aquesta és la més important ja que a part de necessitar coneixements tècnics profunds en el camp de l'aerodinàmica i la mecànica de fluids, també s'ha de tenir coneixements en la simulació de fluids. S'han emprat un total de **cent hores (100 hores)** amb un cost de **cinquanta euros l'hora (50,00 €/hora)**.
- Redacció del document escrit: Un cop s'han realitzat totes les tasques tècniques anteriors es redacta l'informe on s'inclouen l'explicació de com s'ha dut a terme l'estudi i els resultats obtinguts i valorats. Per a aquesta tasca s'han destinat **cinquanta-cinc hores (55 hores)** amb una quota de **catorze euros la hora (14,00€/hora)**.

Les **cent hores (100 hores)** en les que l'ordinador ha estat treballant de forma autònoma sense necessitar un tècnic només es tindran en compte en l'amortització d'hores del programari i material utilitzat.

Cost de redacció del treball				
Tasca	Unitat bàsica	Quantitat	Preu (€) / Unitat (h)	Total (€)
Costos directes				
Recerca i recopilació d'informació	h (hores)	90	20,00	1800,00 €
Disseny	h (hores)	120	40,00	4800,00 €
Simulació i anàlisi	h (hores)	100	50,00	5000,00 €
Redacció del document escrit	h (hores)	55	14,00	770,00 €
Total de costos directes				12.370,00 €
Total costos indirectes (2,5% dels costos directes)				309,25 €
Subtotal <sup>(1)</sup>				12.679,25 €

## 2. Recursos necessaris per dur a terme l'estudi

En aquest apartat hi ha recollits tots els recursos i materials que han estat necessaris per desenvolupar l'informe tècnic. No s'ha tingut en compte tots aquells recursos que s'han utilitzat de forma puntual o que no tenen cap cost.

- Programari Solidworks 2019 Professional: La llicència de Solidworks utilitzada per totes les tasques de disseny ha estat una llicència professional, cedida per l'empresa on estic treballant actualment. Utilitzava el software fora d'hores laborals per poder dur a terme tots els dissenys que s'han necessitat. En un cas real on no hi hagués el préstec de la llicència i s'hagués de comprar, aquesta té un cost de **vuit mil dos-cents cinquanta euros (8.250,00 €)**.
- Programari ANSYS Workbench: De la mateixa manera que per la tasca de disseny s'ha utilitzat Solidworks, per la simulació i anàlisi s'ha fet servir el programari d'ANSYS Workbench. En aquest cas la llicència ha estat proporcionada per la pròpia empresa d'ANSYS ja que es tractava d'un estudi amb fins acadèmics i no professionals. Ha estat una sort poder comptar amb aquest programari de forma gratuïta tot i que les limitacions que presenta donen molt poca llibertat a l'hora de simular. En una situació professional, aquesta llicència d'ANSYS suposa un cost de **deu mil euros (10.000,00€)**.
- Programari Office 365: Per tota la part de redacció s'han utilitzat múltiples eines del paquet Office 365. El Word ha estat utilitzat per a la redacció de l'informe tècnic i l'Excel per fer multitud de càlculs. Aquest paquet de programes té un cost de **cent cinquanta euros (150,00 €)**.
- Ordinador: Per poder realitzar totes les tasques de disseny, simulació i anàlisi es necessita un ordinador amb unes especificacions una mica elevades. En el nostre cas hem comptat amb un ordinador de **nou-cents euros (900,00 €)** amb sistema operatiu inclòs.
- Material de reprografia: En aquest apartat s'hi inclouen tots els documents que s'han imprès durant el desenvolupament de l'informe tècnic. Aquests documents han suposat un cost total de **vint euros (20,00 €)**. Cal destacar que no hi ha inclòs el cost d'impressió de l'informe tècnic al complet ja que estant en estat d'alarma no s'ha d'entregar de forma física.

Recursos necessaris per dur a terme l'estudi				
Concepte	Preu Concepte (€)	Amortització (h)	Ús (h)	Total (€)
Costos directes				
Programari Solidworks 2019 Professional	8250,00 €	6.000	120,00	165,00 €
Programari ANSYS Workbench	10.000,00 €	6.000	100,00	166,66 €
Programari Office 365	150,00 €	10.000	65,00	0,95 €
Ordinador	900,00 €	8.500	465,00	49,25 €
Material de reprografia	20,00 €	N/A	N/A	20,00 €
Total de costos directes				401,86 €
Total costos indirectes (2,5% dels costos directes)				10,05 €
Subtotal (2)				410,91 €



### 3. Cost total del redactat

Amb tots els costos contemplats en els dos apartats anteriors, a continuació s'agrupen tots aquest costos per veure plasmat el cost total de l'informe tècnic, amb i sense IVA.

Cost de redacció del treball				
Tasca	Unitat bàsica	Quantitat	Preu (€) / Unitat (h)	Total (€)
Costos directes				
Recerca i recopilació d'informació	h (hores)	90	20,00	1800,00 €
Disseny	h (hores)	120	40,00	4800,00 €
Simulació i anàlisi	h (hores)	100	50,00	5000,00 €
Redacció del document escrit	h (hores)	55	14,00	770,00 €
Total de costos directes				12.370,00 €
Total costos indirectes (2,5% dels costos directes)				309,25 €
Subtotal (1)				12.679,25 €

Recursos necessaris per dur a terme l'estudi				
Concepte	Preu Concepte (€)	Amortització (h)	Ús (h)	Total (€)
Costos directes				
Programari Solidworks 2019 Professional	8250,00 €	6.000	120,00	165,00 €
Programari ANSYS Workbench	10.000,00 €	6.000	100,00	166,66 €
Programari Office 365	150,00 €	10.000	65,00	0,95 €
Ordinador	900,00 €	8.500	465,00	49,25 €
Material de reprografia	20,00 €	N/A	N/A	20,00 €
Total de costos directes				401,86 €
Total costos indirectes (2,5% dels costos directes)				10,05 €
Subtotal (2)				410,91 €

Cost total sense IVA	13.090,16 €
IVA	21%
<b>Cost total de l'informe tècnic</b>	<b>15.839,09 €</b>

El cost total de l'informe tècnic és de **QUINZE MIL VUIT-CENTS TRENTA-NOU AMB NOU CÈNTIMS.**