

  
Universitat de Girona  
**Escola Politècnica Superior**

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Mecànica

**Títol:** Disseny d'un sistema d'admissió i escapament per a un motor d'un vehicle de Formula Student

**Document:** Memòria i annexos

**Alumne:** Albert Martínez Villegas

**Tutor:** Martí Comamala Laguna

**Departament:** Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

**Àrea:** Màquines i motors tèrmics

**Convocatòria (mes/any):** Setembre 2015

# ÍNDEX

<b>1 INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Antecedents.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Objecte .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Especificacions i abast.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1 Especificacions .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2 Abast.....</b>	<b>8</b>
<b>2 DISSENY CONCEPTUAL .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Sistema d'admissió.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Sistema d'escapament .....</b>	<b>10</b>
<b>3 DESCRIPCIÓ DETALLADA DEL DISSENY .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Sistema d'admissió.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1.1 Filtre d'aire .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.2 Papallona d'admissió.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.3 Restrictor d'admissió.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.4 Adaptador restrictor-plenum.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.5 Plenum.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.6 Planxa plenum .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.7 Trompetes d'admissió .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.8 Col·lectors d'admissió .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Sistema d'escapament .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.1 Col·lectors d'escapament.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.2 Unions 4-2-1 .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.3 Sortida final d'escapament.....</b>	<b>25</b>

<b>3.2.4 Silenciador .....</b>	<b>26</b>
<b>4 RESUM DEL PRESSUPOST .....</b>	<b>27</b>
<b>5 CONCLUSIONS .....</b>	<b>28</b>
<b>6 RELACIÓ DE DOCUMENTS .....</b>	<b>28</b>
<b>ANNEXOS</b>	
<b>ANNEX A. REGLAMENT TÈCNIC DE LA FORMULA STUDENT 2015 .....</b>	<b>30</b>
<b>A.1 INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>30</b>
<b>A.2 REGLAMENT TÈCNIC RELATIU A MOTORS .....</b>	<b>30</b>
<b>ANNEX B. ELECCIÓ DEL MOTOR DE L'EAGLE FORCE 1.....</b>	<b>43</b>
<b>B.1 INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>43</b>
<b>B.2 ESTUDI DE MERCAT .....</b>	<b>43</b>
<b>B.3 CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL MOTOR ESCOLLIT .....</b>	<b>46</b>
<b>ANNEX C. ADQUISICIÓ DE DADES .....</b>	<b>49</b>
<b>C.1 MOTOR YAMAHA FZ6 S2.....</b>	<b>49</b>
<b>C.1.1 Dades internes del motor.....</b>	<b>49</b>
<b>C.1.2 Diagrames de distribució .....</b>	<b>51</b>
<b>C.2 GEOMETRIES D'ADMISSIÓ I ESCAPAMENT DE YAMAHA FZ6 DE SÈRIE .....</b>	<b>57</b>
<b>C.2.1 Geometria d'admissió .....</b>	<b>57</b>
<b>C.2.2 Geometria d'escapament .....</b>	<b>59</b>
<b>ANNEX D. LA SIMULACIÓ.....</b>	<b>61</b>
<b>D.1 INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>61</b>
<b>D.2 SIMULACIONS AMB LOTUS ENGINE .....</b>	<b>61</b>
<b>D.2.1 Modelat del motor .....</b>	<b>62</b>

<b>D.2.2 Yamaha FZ6 de sèrie .....</b>	<b>62</b>
<b>D.2.3 Yamaha FZ6 de sèrie amb restrictor de 20mm .....</b>	<b>66</b>
<b>D.2.4 Optimització del model amb la restricció de 20mm .....</b>	<b>69</b>
<b>D.2.4.1 Optimització del sistema d'admissió .....</b>	<b>70</b>
<b>D.2.4.2 Optimització del sistema d'escapament.....</b>	<b>73</b>
<b>D.3 SIMULACIONS AMB ANSYS CFD .....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUCCIÓ

### 1.1 Antecedents

L'associació universitària UdG Racing Team, amb seu a l'Escola Politècnica Superior, està formada per diferents alumnes de la Universitat de Girona de diferents disciplines, majoritàriament enginyeries, fundada a finals de 2013 per participar en projectes inter-universitaris de l'àmbit automobilístic, la Formula Student i la Smart Moto Challenge.

Aquesta, participarà en la competició de Formula Student Spain, en la categoria Classe 1, que es celebrarà al Circuit de Catalunya a finals d'Agost de 2015, on els estudiants han de dissenyar, fabricar i muntar un vehicle de competició elèctric, o de combustió, com és el cas de l'UdG Racing Team.

L'equip està dividit en 5 seccions, body, que s'ocupa del xassís i la carrosseria, dynamics, que s'ocupa de tota la dinàmica del vehicle (suspensions, direccions i conjunt roda), powertrain, que s'ocupa del motor i de la transmissió, electronics, encarregada de la electrònica del vehicle i administration, que s'encarrega de tota la administració, gestió i marketing. A la vegada, l'equip està liderat per un coordinador que s'encarrega de que tot l'equip treballi en conjunt.

La Formula Student (FS) és la competició universitària més important d'arreu del món en l'àmbit de l'enginyeria, recolzada plenament pel sector del motor i els seus màxims exponents, com Ross Brawn, enginyer automobilístic de gran renom en la Formula 1<sup>TM</sup>.

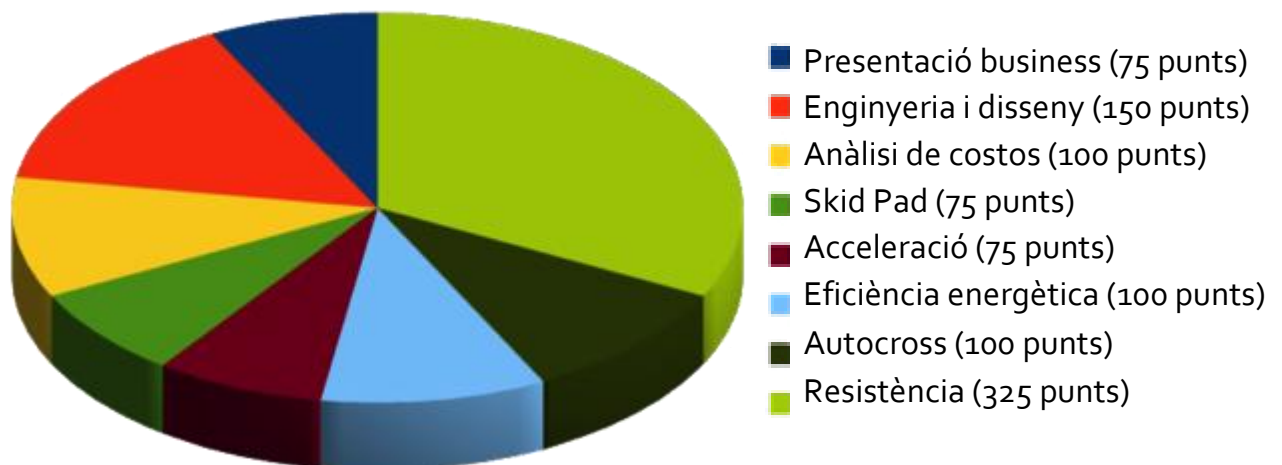
Aquesta competició permet als estudiants posar en pràctica tots aquells coneixements adquirits, simulant una competició real, on l'equip ha de treballar amb una estructura empresarial. L'equip ha de dissenyar, fabricar i muntar un vehicle de competició. El vehicle pot ser de propulsió elèctrica o de combustió, ha de complir unes característiques de conducció en l'acceleració, frenada i estabilitat. En el transcurs de la competició els equips són avaluats a nivell teòric i pràctic.

La Formula Student consta d'una sèrie de proves arreu del món, on diferents països organitzen l'event en els seus circuits de Formula 1<sup>TM</sup>. Les proves més conegudes són a Anglaterra, al circuit de Silverstone, a Alemanya, al circuit de Hockenheim, o a Espanya (Formula Student Spain), al circuit de Catalunya.

En quant a la Formula Student Spain, event on l'associació UdG Racing Team participa, consta amb un total de 70 universitats inscrites, que es celebra del 26 al 30 d'agost de 2015. La Formula Student consta d'un seguit de proves que es realitzen als monoplaques i al propi equip. Està dividit en dos tipus de proves, les proves estàtiques, on són proves sense el vehicle on els jutges valoren diferents aspectes del vehicle i les proves dinàmiques, on hi ha diferents proves amb el cotxe en funcionament.

Els primers dies de la competició es realitza l'anomenat "*Scrutineering*", on els comissaris tècnics comproven que el vehicle compleix tots els articles imposats pel reglament tècnic vigent. També, es realitzen les proves de "*tilt test*" on comproven que el vehicle no perd cap tipus de líquid quan és inclinat a 45° i que no bolca quan és inclinat a 60°. Finalment, tenim la prova de "*noise test*" on el motor no pot superar un cert nivell de soroll. Mentrestant, els jutges de la competició, puntuen les proves estàtiques testejant la documentació entregada i fent preguntes respecte el monoplaça. La resta de dies, es fan les proves dinàmiques, on el cotxe ja està en moviment.

Respecte el guanyador de la competició, no només es valora el rendiment del monoplaça en cursa, sinó altres aspectes dinàmics o altres elements com el disseny, la fiabilitat, el màrqueting o els costos, també tenen un paper molt important en la puntuació final. A través del següent gràfic podem veure la importància de cada una d'elles:



**FIGURA 1.** Diagrama circular de la puntuació d'un event de Formula Student

**Disciplines estàtiques:**

- Presentació business: Consisteix en exposar un pla d'empresa, on una empresa fictícia ha de realitzar la fabricació i venda d'una tirada de 1000 monoplaques com el que ha construït l'equip amb un preu màxim de 21000€.
- Enginyeria i disseny: Es tracta d'entregar la documentació relativa al disseny del vehicle i defensar el disseny del monoplaça davant un grup de jutges.
- Anàlisi de costos: L'objectiu d'aquesta prova és mostrar un informe detallat del cost del monoplaça peça per peça, explicar els diferents passos que s'han seguit a l'hora de fabricar-les i raonar la metodologia seguida.

**Disciplines dinàmiques:**

- Acceleració: Es tracta de recórrer una línia recta de 75 metres des de parat el més ràpid possible en dos intents, un intent per pilot.
- Skid-Pad: Aquí el que es comprova és l'adherència del monoplaça als revolts. Es fan dues voltes a un circuit en forma de 8 tan ràpid com sigui capaç el cotxe. També es tenen dos intents, un per pilot.
- Autocross: Consisteix en fer la volta més ràpida possible en un circuit estret i revirat amb una llargada d'1 Km. Es tenen dos intents, un intent per pilot.
- Endurance: És la prova en què hi ha més puntuació en joc. Es tracta de fer dues tandes d'onze voltes, un total de 22km en el mateix circuit que es fa l'autocross. El principal objectiu és fer-ho el més ràpid possible i corroborar que el monoplaça és fiable, i és capaç de superar 22km sense problemes. A més, corren quatre cotxes a la vegada, de manera que hi ha punts d'avançament.
- Eficiència energètica: Tot i que ho tractem de forma separada, aquesta prova es porta a terme conjuntament amb la resistència, doncs després del recorregut es mesura el consum de combustible o d'energia elèctrica de cada cotxe.

## 1.2 Objecte

Dissenyar un sistema d'admissió i d'escapament per a un Yamaha FZ6 S2 Fazer, un motor de 4 temps, 4 cilindres i injecció electrònica, per millorar les prestacions d'aquest i que compleixi la normativa vigent de la competició interuniversitària Formula Student.

El disseny ha d'estar sotmès a les condicions de la resta de seccions per tal de treballar en conjunt i que cap element dissenyat intercepti amb la resta d'elements de les altres seccions.

## 1.3 Especificacions i abast

### 1.3.1 Especificacions

Concepte	R/D *	Descripció
Funció	R	Permeti la respiració del motor, tant l'entrada d'aire al motor com la sortida de gasos d'escapament
	D	Millori la potència i el parell del motor respecte la geometria original
Dimensions	R	Respecti les distàncies dels components d'admissió i d'escapament respecte el xassís que imposa el reglament
Pes	D	Que tot el sistema d'admissió i d'escapament tingui un pes contingut
Cost	R	Que el pressupost total no superi els 2300€
Material	D	Que la caixa d'aire del sistema d'admissió sigui fabricada en fibra de carboni
Soroll	R	Que el sistema d'escapament passi el "Noise test" de soroll de la competició
Disseny	R	Que els sistemes compleixin la seqüència de components que imposa el reglament
Unions	R	Que el sistema d'unions compleixi el reglament tècnic

\*R: requeriment

\*D: desitjable



### 1.3.2 Abast

Dissenyar les geometries d'admissió i escapament per un vehicle de Formula Student complint el reglament vigent. Optimitzar les geometries amb un software específic per a motors tèrmics alternatius i amb un software de CFD per tal d'extreure'n el millor rendiment possible al motor.

En aquest projecte no s'inclou la fabricació dels components ni els plànols de fabricació però si s'inclouen alguns procediments i consideracions per a la seva fabricació.

Realitzar el pressupost aproximat dels costos de fabricació dels components d'admissió i d'escapament.

Pel que fa als altres elements del motor com pot ser la electrònica, el sistema de refrigeració, el sistema de combustible i la posada en marxa, es dissenyaran en projectes posteriors.

## 2 DISSENY CONCEPTUAL

En aquest capítol s'explicarà el disseny conceptual dels sistemes dissenyats, el sistema d'admissió i el sistema d'escapament. Al capítol 3 es pot veure cada sistema amb més detall.

### 2.1 Sistema d'admissió

El sistema d'admissió dissenyat, és un sistema que aspirarà l'aire des del punt més alt del vehicle, per sobre del cap del pilot i que portarà l'aire des d'aquest punt fins al port d'admissió del motor de la manera més òptima possible. La geometria s'ha optimitzat amb el software "*Lotus Engine Simulation*" i simulacions de CFD per tal de millorar al màxim l'entrada d'aire del motor, per a més detalls sobre la simulació, consultar *Annex D: La Simulació*. També, s'ha intentat reduir al màxim el pes del sistema d'admissió fent ús de materials lleugers, sobretot la part més elevada, per tal de reduir els esforços en voladís.

El sistema constarà bàsicament de 5 elements tal i com es veu en la figura:



**FIGURA 2.** Sistema d'admissió complet

La papallona, un component essencial que s'encarrega que regular el flux d'aire en el motor, és un component comercial que s'ha comprat i que és de la firma "Jenvey", feta d'alumini, acompanyada per una trompeta amb una reixeta, que fa la funció de filtre d'aire per tal de que no entrin impureses en el motor.

El restrictor, encarregat de restringir el pas d'aire en un àrea circular de diàmetre 20mm que imposa la normativa, ha sigut comprat a un altre equip per tal de reduir els costos de fabricació.

L'adaptador del restrictor amb el plenum, de disseny propi, ha sigut fabricat en alumini i s'ha hagut de fabricar per tal de poder adaptar el restrictor comercial amb el disseny del plenum.

El plenum, un component molt necessari en motors de competició, té la funció d'emmagatzemar un volum d'aire constant preparat per entrar al motor a la que accelerem, aconseguint major potència i resposta. El plenum és de disseny propi i ha sigut fabricat en material compòsit, per poder-li donar la forma més aerodinàmica possible per tal de guiar l'aire cap al motor. S'ha fabricat en fibra de carboni i resina epoxy per tal de reduir al màxim el pes del conjunt.

La planxa d'unió amb el plenum, ha sigut fabricada en acer S275 amb una planxa de 3mm de gruix, que permet la unió del plenum i els col·lectors d'admissió.

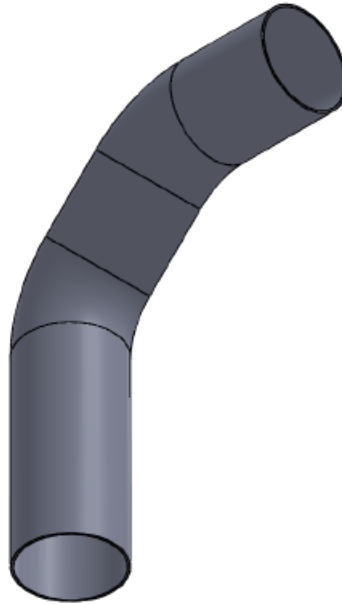
Els col·lectors d'admissió, fabricats en acer S275 sense soldadura, permeten la distribució de l'aire en cada cilindre i per això, han sigut meticulosament polits, per restringir el menys possible el flux d'aire.

## 2.2 Sistema d'escapament

El sistema d'escapament, dirigirà els gasos d'escapament des del motor cap a l'exterior per la part central de darrere del vehicle. La geometria s'ha optimitzat amb el software "*Lotus Engine Simulation*" per tal de millorar al màxim la velocitat de sortida de gasos d'escapament i en conseqüència, millorar l'entrada d'aire del motor. Per a més detalls sobre la simulació, consultar *Annex D: La simulació*.

Degut a problemes econòmics i de temporització en el projecte de construcció d'un Formula Student de l'associació UdG Racing Team, s'ha descartat la possibilitat de construir el tub d'escapament complet d'aquest projecte que inicialment es plantejava, i s'ha hagut de plantejar la possibilitat de construir un tub d'escapament molt més reduït, construint únicament la part final de l'escapament fent servir els col·lectors d'escapament de sèrie que porta la motocicleta. Per això, s'ha descartat el disseny 3D dels col·lectors i únicament s'ha dissenyat la sortida d'escapament final per tal de complir la normativa i que no hi havia maniobrabilitat per a la modificació.

Finalment s'ha adaptat un silenciador homologat a la sortida dissenyada per tal de poder passar la prova de soroll *Noise test* que imposa la normativa.



**FIGURA 3.** Sortida d'escapament final

### 3 DESCRIPCIÓ DETALLADA DEL DISSENY

#### 3.1 Sistema d'admissió

En aquest apartat es donaran més detalls de les decisions que s'han portat a terme a l'hora de dissenyar els components o escollir els components comercials.

En primer lloc, per a dissenyar el sistema d'admissió, s'ha tingut que tenir en compte alguns dels articles del reglament que s'imposen i que es poden veure a l'*ANNEX A. Reglament tècnic*.

L'objectiu del disseny del sistema d'admissió ha sigut millorar l'entrada d'aire i per tant el parell i la potència del motor en règims mitjans, tenint poc en compte la potència en baix règims o en règims molt alts. No s'ha tingut en compte la potència en baix règims degut a que al ser un vehicle de competició, s'intenta sempre obtenir la màxima acceleració i resposta, i això acostuma a ser proporcional a la velocitat de gir del motor (fins a un cert límit) i degut a que el motor incorpora caixa de canvis, rarament estarem treballant en baixos règims de rpm. Respecte als règims alts, s'ha menyspreat també degut a que el propi restrictor evita que la potència creixi a partir d'un règim concret, tal i com veurem més endavant. Sabent aquest objectiu principal, podem treure la conclusió, que segurament

necessitarem una geometria d'admissió llarga (degut a les ones de pressió que té en compte el software de l'Annex D. La simulació), i amb conductes prims, degut al poc cabal d'aire que circularà a baixes rpm.

El primer problema que es va haver d'afrontar era la disposició del sistema d'admissió, és a dir, d'on agafaríem l'aire d'admissió. Estudiant totes les possibilitats i maneres de fer-ho, ens trobem principalment amb 3 possibles disposicions: Agafar l'aire d'admissió per sobre del cap del pilot, pel costat, o per darrere del vehicle:



**FIGURA 4.** Admissió per sobre del cap del pilot



**FIGURA 5.** Admissió pel costat



**FIGURA 6.** Admissió per darrere del vehicle

Cadascun dels sistemes té les seves avantatges i inconvenients:

Pel que fa a l'admissió per darrere del vehicle, és una bona solució per temes d'espai i que ajuda a baixar el centre de gravetat del vehicle donat que el pes està més baix, però té el problema de que l'aire no entra directament ajudat de la seva velocitat i està aprop d'altres components que desprenen calor com pot ser el tub d'escapament, escalfant l'aire

d'admissió i reduint la potència donat que l'aire es torna menys dens. A més, la longitud de la geometria queda molt limitada per la longitud del vehicle.

Respecte la solució pel costat del vehicle, l'aire que entrarà al motor serà fresc, però té l'inconvenient de que pot venir pertorbat per algun elements aerodinàmic que es troba a la part davantera del vehicle, i fa que no hi hagi simetria en el vehicle, poden desplaçar lleugerament el centre de gravetat cap a un costat.

Respecte la opció de posar l'admissió per davant, té els avantatges més adients si parlem del rendiment del motor: Entra aire fresc i no pertorbat i permet fer una admissió llarga que millori la potència i el parell en baixos i mitjans règims. L'inconvenient és que els components estaran en la part alta del vehicle, pujant lleugerament el centre de gravetat i que ha d'haver-hi espai físic entre el cap del pilot i la barra antibolcada per situar l'entrada d'aire. Donat que a nosaltres principalment ens interessa un bon rendiment del motor, tenim espai suficient per situar els components i el pes del conjunt és reduït, s'ha escollit la opció de posar el sistema per sobre del cap del pilot, sempre considerant, que el sistema no pot estar per sobre de la barra antibolcada sinó que, ha de contenir-se per dins de la línia que uneix la barra antibolcada amb la roda del darrere, tal i com es podrà veure la imatge a *l'Annex A: Reglament tècnic*.

S'ha de tenir en compte que aquests components són per un vehicle de competició i que per tant s'ha intentat sempre buscar la màxima potència possible, amb menys consum de manera secundària i amb un mínim pes, però que rarament es contempla la durabilitat del producte més enllà de l'ús limitat per al que ha sigut dissenyat.

Pel que fa la unió amb la rampa d'injecció original del motor, aquesta es durà a terme mitjançant brides metàl·liques que estampiran els col·lectors d'admissió dissenyats amb la rampa, i entremig d'aquesta unió, es disposaran uns tubs de silicona per garantir l'estanqueïtat de la unió.



**FIGURA 7.** Sistema d'admissió complet

A continuació, es donaran els detalls de cada un dels components del sistema d'admissió, un per un, explicant cadascuna de les decisions.

### **3.1.1 Filtre d'aire**

El filtre d'aire és el primer component que es troba l'aire abans d'entrar en el motor. És l'encarregat de filtrar les partícules sòlides de l'ambient que podrien perjudicar la fiabilitat del motor si aquestes entressin pels conductes d'admissió, per tant, es fa necessari la incorporació d'un filtre d'aire en tot motor de combustió. Degut a la filtració de partícules, aquest filtre origina una certa pèrdua de càrrega als gasos quan l'aire passa a través d'ell. Degut a això, el filtre és un fre i un problema quan es vol preparar un motor per a competició.

Existeixen molts tipus de filtres d'aire que normalment perjudiquen més la potència del motor a mesura que el fan més fiable. Les partícules grans, són les que realment poden trencar el motor de manera molt ràpida, però les partícules petites, tot i no trencar-lo de manera sobtada, si que van deteriorant el motor a poc a poc, reduint considerablement la seva fiabilitat passat uns quilòmetres. Per això, en aquest disseny, per un motor de competició que ha de funcionar poc temps, s'ha optat per substituir el típic filtre d'aire per una reixeta



metàl·lica, on aquesta originarà una pèrdua de càrrega gairebé nul·la, millorant el rendiment, però que si filtrarà les partícules sòlides grans que realment podrien trencar el motor ràpidament i deixar-nos fora de la competició.

S'ha optat per una trompeta amb reixeta comercial de la firma GT2i, on aquesta trompeta millorarà també l'entrada d'aire degut a una menor pèrdua de càrrega al entrar l'aire d'una manera més suau.



**FIGURA 8.** Trompeta amb reixeta comercial

### 3.1.2 Papallona d'admissió

La papallona d'admissió és l'encarregada de regular la quantitat d'aire que entra en el motor, i per tant la potència que proporciona, i que la pot regular el propi pilot, segons convingui, és el que es coneix com a cos d'accelerador.

Originalment, el motor Yamaha FZ6 incorpora un cos de papallones de 4 papallones, una per cada cilindre. Degut a que el reglament no ho permet i només permet una sola papallona, es va haver de buscar un altre cos d'accelerador per tal de complir el reglament.

El primer problema va ser determinar quin diàmetre de papallona volíem. Sabem que a major diàmetre, menor és la pèrdua de càrrega. Però també sabem que degut al restrictor de 20mm, si el diàmetre de la papallona fos molt gran, es donaria el cas que aniríem a plena càrrega de motor amb la papallona només parcialment oberta, cosa que no ens interessa

degut a la dificultat que tindria el pilot per regular l'accelerador, i encara s'acusarà més això, a mesura que sigui de diàmetre més gran.

Per això, es va intentar posar una papallona de petit diàmetre però sense arribar a castigar massa el motor. Per això, per tal de determinar el seu diàmetre, es va considerar com una variable per a la simulació amb Lotus Engine, que es podrà veure a *l'annex D: La simulació*.

Un cop determinat el seu diàmetre òptim, de 35mm, es va escollir una papallona comercial, lleugera i que incorpores TPS (Throttle Position Sensor), imprescindible per un motor d'injecció. La papallona escollida és de la firma Jenvey, feta d'alumini per fundició.



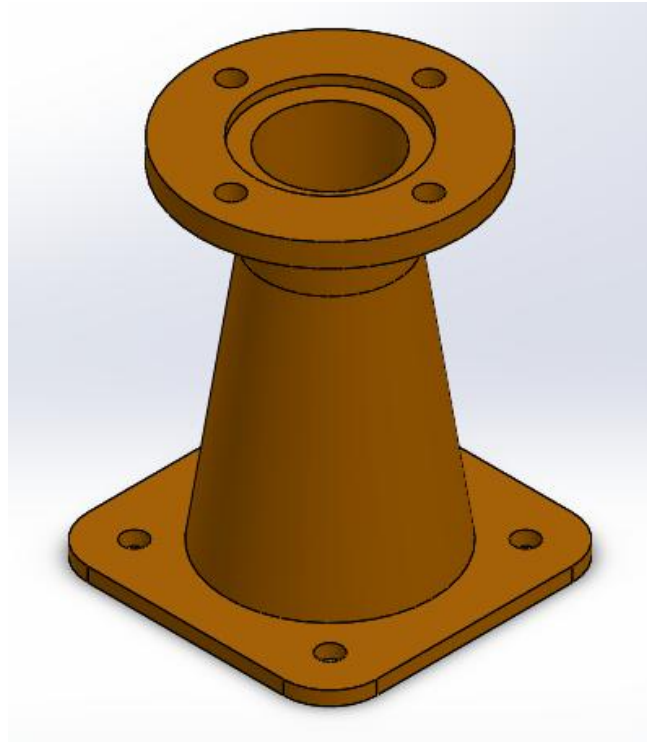
**FIGURA 9.** Papallona d'admissió de la firma Jenvey

### 3.1.3 Restrictor d'admissió

El restrictor és un component que obliga a muntar la normativa, i indica que s'ha de incorporar en el sistema d'admissió, entre el cos de la papallona i la resta de components, un orifici de com a màxim 20mm de diàmetre. Aquesta restricció, és molt típica en motors de competició i que es fa servir en moltes categories per tal de limitar la potència dels motors.

El restrictor no afecta pràcticament a la potència del motor quant aquest treballa en baixos règims, però si ho fa a mesura que augmentem les revolucions i la càrrega, degut a que entra més cabal d'aire i aquest es col·lapsa, arribant a col·lapsar-se a una velocitat aproximada de 1,4 Mach, segons estudis.

Per això, interessa que aquest orifici sigui perfectament calibrat per acostar-se al màxim als 20mm, que tingui un bon acabat superficial i que sigui accessible per a mesurar-lo el dia de la competició. Degut a aquestes dificultats, s'ha decidit comprar el component de manera comercial, construït expressament per aquest fi.

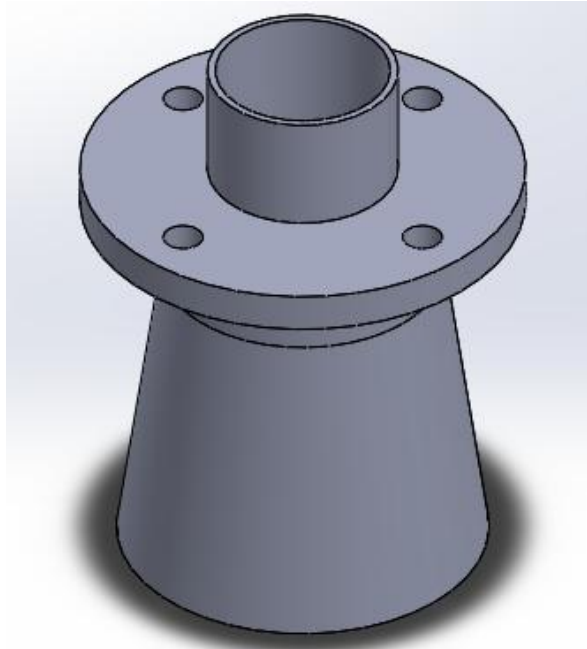


**FIGURA 10.** Restrictor d'admissió

#### **3.1.4 Adaptador restrictor-plenum**

Degut a que el restrictor és comercial i no fabricat a mida, s'ha hagut de fabricar una segona peça per tal d'adaptar aquest a la resta de components del sistema d'admissió. Aquest adaptador s'ha construït d'alumini, per fer-lo més lleuger, i s'ha adaptat al restrictor mitjançant cargols i una junta d'estanqueïtat i al plenum mitjançant una unió cònica perfectament encaixada, que posteriorment s'unirà amb adhesiu.

És de principal importància que aquest tingui un bon acabat superficial al seu interior degut a que és un component pel que circula l'aire i perquè el seu inici és d'un diàmetre molt proper a 20mm, cosa que si no tingués un acabat superficial bo, podria arribar a col·lapsar l'aire per aquest punt, abans que el restrictor.



**FIGURA 11.** Adaptador restrictor-plenum

### 3.1.5 Plenum

El plenum o caixa d'aire, és un component que no és més que un volum buit serveix per a tenir una reserva d'aire en el sistema d'admissió. Aquest és molt necessari en els motors de competició degut a les altes exigències que se li demana a aquests en una competició.

En un motor de competició, interessa que la resposta a l'accelerador sigui immediata. Si no existís el plenum, l'aire al passar per la papallona hauria de circular per tot el sistema d'admissió abans d'entrar en el motor, fent d'aquest que sigui lent en resposta. Aquest efecte de resposta ràpida, ajuda a que es compleixi el plenum. Al haver-hi una reserva d'aire en el sistema, al accelerar, tot aquest aire entra a dins del motor mentre aquest volum es torna a omplir des de la papallona.

S'ha demostrat mitjançant estudis especials per a motors de Formula Student de 600cc i restrictor d'admissió, que el plenum és molt efectiu quan tenim un volum de 2 a 10 vegades el volum del motor, es a dir, de 1,2L a 6L. Per sota d'aquí, la reserva d'aire és insuficient i per sobre, l'augment de potència és irrellevant. Tot i així, cada motor i cada sistema d'admissió difereix d'un a l'altre i per això s'ha inclòs com a variable en la simulació amb Lotus Engine de l'Annex D: *La simulació*.

Mentre que el plenum és molt efectiu en el moment d'acclerar i mentre accelerem, també té altres inconvenients. Està demostrat, que quan el plenum és d'un volum superior, dona més potència i resposta en règim transitori (mentre accelerem) però que dona problemes en règims estacionaris (mentre mantenim el cabal d'aire constant), degut a que es creen moltes turbulències internes que fa que el motor no treballi bé.

Degut a aquest últim punt, i que al augmentar el volum també augmentem el pes i l'espai del component, s'ha mirat de reduir aquest volum al mínim possible sense perdre prestacions. Aquest volum òptim ha sigut de  $3L$ , on es podran veure més detalls a *l'Annex D: La simulació*.

Finalment, pel que fa al disseny del component, aquest ha sigut dissenyat per millorar al màxim el pas del flux d'aire mitjançant CFD i per a que circuli l'aire el més suau possible. Per tal de reduir pes, aquest ha sigut dissenyat per fabricar-se amb fibra de carboni.

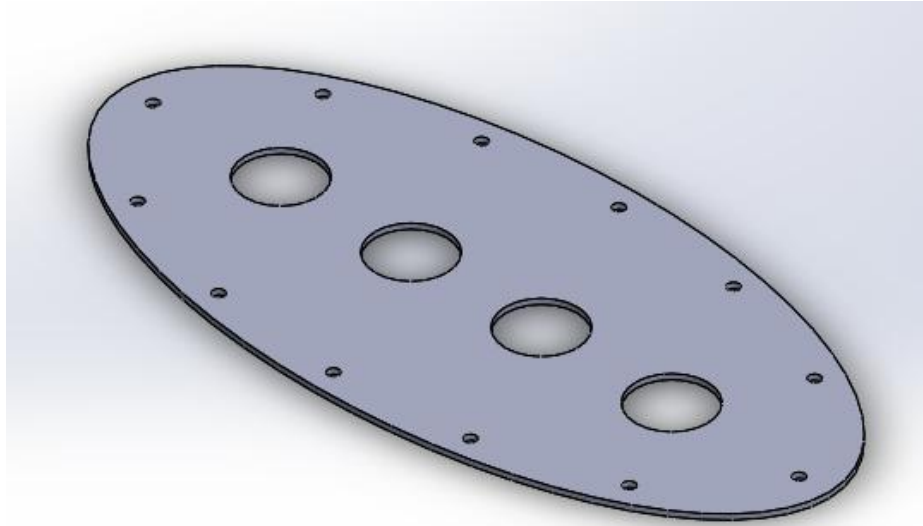


**FIGURA 12.** Plenum

### 3.1.6 Planxa plenum

La funció de la planxa del plenum és la d'unir el plenum amb els col·lectors d'admissió. Aquesta s'ha dissenyat per fabricar-se amb planxa d'acer S275 de 3mm i que anirà unida

mitjançant cargols al plenum, amb una junta d'estanqueïtat entre els dos elements, i que on els 4 col·lectors es soldaran a aquesta. A la mateixa planxa, també aniran units mitjançant cargols, les trompetes d'admissió que es parlarà a continuació.



**FIGURA 13.** Planxa plenum

### 3.1.7 Trompetes d'admissió

Les trompetes d'admissió serveixen per guiar l'aire cap a un conducte i aquesta no entri en règim turbulent quan l'aire ve amb velocitat. Com es podrà veure a les simulacions amb CFD a *l'Annex D: La simulació*, es creaven moltes turbulències i per tant pèrdua d'energia a la xapa del plenum degut a que l'aire xocava contra la planxa quan aquest venia amb velocitat i no era capaç de guiar-se cap als col·lectors d'admissió, fent que el motor perdés potència. Degut a aquest fenomen, per tal de solucionar-ho, s'han instal·lat unes trompetes d'admissió comercials de la firma GT2i per tal de guiar aquest aire a través dels col·lectors i que aquest arribi al motor amb l'energia més alta possible.



**FIGURA 14.** Trompeta admissió comercial GT2i

### 3.1.8 Col·lectors d'admissió

Els col·lectors són els encarregats de guiar l'aire des del plenum fins a cada un dels cilindres. S'han fabricat de tub d'acer S275 de 40mm de diàmetre i 3mm d'espessor, degut a que ha de ser una unió molt resistent i rígida, ja que seran els components sotmesos a més moment flector.

Aquest seran corbats per tal de guiar la resta dels components cap a la barra antibolcada i tindran un bon acabat superficial intern per tal de millorar el pas del flux d'aire i seran units a la planxa del plenum amb soldadura, i amb la rampa d'injecció original del motor mitjançant brides metàl·liques i una unió de silicona per a la estanqueïtat.



**FIGURA 15.** Col·lectors d'admissió

### 3.2 Sistema d'escapament

El sistema d'escapament és l'encarregat d'evacuar els gasos cremats del motor a l'atmosfera i que s'ha d'intentar majorar el màxim possible, per a tenir el cilindre completament buit per la fase d'admissió. Aquests, surten cap a l'atmosfera per la seva pròpia pressió, tot i que es pot controlar quan aquest sistema és més efectiu o ho és menys. La geometria del sistema d'escapament, per sobre de tot, controla quan i com les ones de pressió actuen. Quan un gas amb molta energia com és el cas dels gasos d'escapament, es troba amb un estrenyiment, es retorna una ona de depressió en sentit contrari que un cop arriba a la sortida de la vàlvula d'escapament, ajuda a buidar els cilindres de gasos cremats.

Primerament, es va plantejar la idea de dissenyar un escapament complert nou per al vehicle, degut a que l'original passa per sota del motor, i si es fessin passar pel costat, es podria fer baixar el motor i per tant el centre de gravetat del vehicle considerablement, ajudant en el comportament del vehicle. Aquesta solució va ser analitzada com es podrà veure a *l'Annex D: La simulació* però que va ser descartada degut a la pujada de pressupost i complicació que portaria fer un sistema d'escapament nou.



Per aquest fet, s'ha decidit fer servir els col·lectors originals del motor de sèrie, adaptar una sortida final d'escapament i un silenciador per tal de complir la normativa referent a la prova de soroll.

Tot i així, s'explicarà amb detall les característiques de tot el sistema d'escapament que incorporarà el vehicle:

### 3.2.1 Col·lectors d'escapament

Els col·lectors d'escapament són els encarregats de guiar els gasos d'escapament cap a l'exterior on van units directament a les sortides de les vàlvules d'escapament. La seva longitud afecten al rendiment del motor degut a les ones de pressió explicades anteriorment, per això, ha sigut una variable pel disseny de l'escapament que es podrà veure a l'*Annex D: La simulació*.

Tot i així, degut a l'alt pressupost que suposava dissenyar i fabricar uns col·lectors nous, s'han fet servir els de la motocicleta original, on aquests ja són òptims per treballar a règims mitjos degut a les característiques principals de la Yamaha FZ6 S2.



**FIGURA 16.** Col·lectors originals Yamaha FZ6 S2

### 3.2.2 Unions 4-2-1

Les unions d'escapament 4-2-1 o 4-1 (dels 4 col·lectors passa a 2 i a 1, o de 4 col·lectors passa a 1 sortida directament) són les encarregades de transformar els 4 col·lectors a una única sortida d'escapament. La disposició i la posició d'aquestes unions respecte tota la

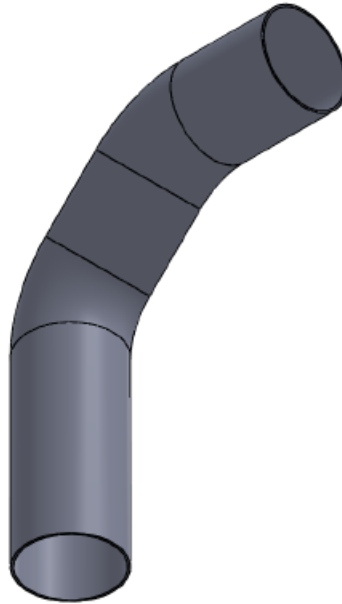
geometria, tenen un paper molt important en el comportament del motor degut a les ones de pressió ja anomenades. Una unió 4-1 acostuma a entregar una ona de pressió molt potent que ajuda a evacuar el cilindre de manera molt eficient però que ho fa en un règim de rpm molt concret, mentre que una unió 4-2-1 no ho fa de manera tant eficient, però el rang de treball és molt més ampli. Respecte a la posició de les unions, si la unió és més propera a la vàlvula d'escapament, aquesta ona de pressió actuarà en baixes rpm i a mesura que l'allunyem, treballarà en règims més alts.

Respecte el disseny primerament estudiat, es va determinar que la millor solució un escapament amb unió 4-2-1 i de col·lector de gran longitud com es podrà veure a *l'Annex D: La simulació*.

Degut a l'elevat pressupost que suposaria dur a terme el disseny i la fabricació, s'ha decidit mantenir aquesta posició respecte al motor de sèrie, degut a que aquest ja és òptim per a treballar a règims mitjans-alts, justament el que interessa pel fi que està preparat aquest motor.

### **3.2.3 Sortida final d'escapament**

Per tal d'unir la sortida dels col·lectors d'escapament amb el silenciador, s'ha hagut de dissenyar un component intermig que unís aquests dos components. Aquest disseny es veia afectat principalment per l'espai disponible en el vehicle, on no podia interactuar amb altres components del vehicle, i havia de ser el més curt possible per tal de no sobrepassar els 45cm per darrere de l'eix posterior tal i com marca el reglament que podem veure a *l'Annex A: Reglament tècnic*.



**FIGURA 17.** Sortida d'escapament final

### **3.2.4 Silenciador**

El silenciador és un component que serveix per extreure energia als gasos d'escapament que surten cap a l'exterior per tal de mitigar el soroll que aquests generen. Degut a que el reglament de la competició exigeix una prova de soroll, s'ha hagut d'incorporar aquest component.

Com ens interessa obtenir la major potència i parell possible i el silenciador, redueix l'energia dels gasos d'escapament i per tant l'energia amb la que surten i per tant la potència total del motor, hem escollit un silenciador per tal d'estar al límit de soroll que marca la normativa. Per això, hem escollit un silenciador de competició de la firma Ixil, que restringirà poc aquesta sortida de gasos i que es fàcilment adaptable a la sortida final d'escapament mitjançant una brida metàl·lica.



**FIGURA 18.** Silenciador de competició de la firma IXIL

#### 4 RESUM DEL PRESSUPOST

<b>TAULA RESUM DE PRESSUPOSTOS PARCIALS</b>	
<b>Descripció</b>	<b>Import</b>
Col·lectors d'admissió	146,5
Xapa plenum	68,85
Plenum	896,4
Unió plenum-restrictor	70,3
Altres elements d'admissió	471,2
Escapament	403,8
<b>TOTAL</b>	<b>2057,05</b>

A la taula podem veure el resum dels costos associats al projecte i al seu desenvolupament, és a dir, fabricació i muntatge del producte. El cost total del producte és de **2057,05 €**.

Per a més detalls sobre el pressupost, consultar el *Document 5. Pressupost*.

## 5 CONCLUSIONS

Pel que fa al disseny del sistema d'admissió, ha complert totes les especificacions que se li van demanar i tots els articles del reglament relatius.

S'ha millorat el comportament del motor en règims mitjans amb la incorporació de la brida d'admissió, imprescindible per a la utilització del vehicle en la Formula Student gràcies a l'estudi amb simulacions amb el software Lotus Engine i Ansys CFD. El motor aconsegueix rendir una potència màxima de 84cv a 10500 rpm i un parell de 60,5 Nm a 8000 rpm.

S'ha aconseguit un pes molt contingut dels components degut a la utilització de materials lleugers com poden ser alumini i fibra de carboni, i sobretot, aquests han sigut utilitzats a la part més alta del sistema, on reduirà la volada i per tant el moment flector a la rampa d'injecció original.

Pel que fa al sistema d'escapament, es va denegar la possibilitat de fer tot el sistema d'escapament complert degut a temes de pressupost i es va fer servir part del sistema d'escapament original de la motocicleta, on aquest reduïa el pressupost considerablement. Tot i així, es va haver de dissenyar un component per tal d'adaptar el col·lector original al silenciador sempre complint la el reglament tècnic vigent.

## 6 RELACIÓ DE DOCUMENTS

### **Document N°1:** Memòria i annexos

Annex A. Reglament tècnic de la Formula Student 2015

Annex B. Elecció del motor de l'Eagle Force 1

Annex C. Adquisició de dades

Annex D. La simulació

### **Document N°2:** Plànols

### **Document N°3:** Plec de condicions

### **Document N°4:** Estat d'amidaments

### **Document N°5:** Pressupost

# **ANNEX A. REGLAMENT TÈCNIC DE LA FORMULA STUDENT 2015**

## **ANNEX A. REGLAMENT TÈCNIC DE LA FORMULA STUDENT 2015**

### **A.1 INTRODUCCIÓ**

En aquest capítol es citaran tots els articles del reglament tècnic de la Formula Student 2015 que afecten, d'una manera o altre, a la modificació del motor del vehicle. El dia de la competició es verifica que es compleixi cada un d'ells, per tant és imprescindible tenir-los en compte tots plegats.

### **A.2 REGLAMENT TÈCNIC RELATIU A MOTORS**

#### **IC1.1 Engine limitation**

##### **IC1.1.1**

El motor ha de ser de pistó de 4 temps amb una cilindrada màxima de 610cm<sup>3</sup>. Els motors híbrids no estan permesos.

##### **IC1.1.2**

El motor es pot modificar dins de les restriccions de la normativa

##### **IC1.1.3**

Es pot fer servir més d'un motor sempre que la cilindrada total no sobrepassi els 610cm<sup>3</sup> i hi hagi una sola entrada de l'admissió.

#### **IC1.2 Engine inspection**

Es mesurarà la cilindrada del motor amb una eina especial pel forat de la bugia per tal de comprovar que es compleix la cilindrada total del motor.

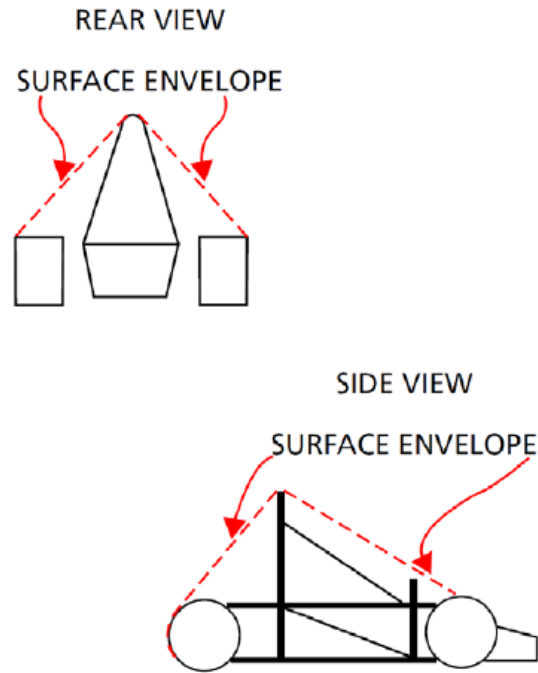
#### **IC1.3 Starter**

Cada vehicle ha de tenir el botó d'engegada del vehicle a dins del *cockpit*. Durant la competició s'ha d'engegar el cotxe sempre a partir d'aquest botó. No es pot posar en marxa el motor emputxant o amb un botó de control remot.

#### **IC1.4 Air intake system**

##### **IC1.4.1 Air intake system location**

Totes les peces d'admissió d'aire (filtre, caixa d'aire, papallona...) i de control de combustible (accelerador, injecció...) ha de quedar en dins del volum comprès entre les següents superfícies (definites per la barra antibolcada i el límit dels 4 pneumàtics).



**FIGURA A.1** Air intake system location

#### IC1.4.2

Qualsevol part del sistema d'admissió d'aire que estigui a menys de 350 mm (13,8 polzades) per sobre del sòl ha de ser blindada per una estructura construïda complint l'article T3.25 o T3.34 segons correspongui, pel costat i per la part posterior per la possibilitat de col·lisions.

#### IC1.4.3

Col·lector d'admissió - El col·lector d'admissió ha d'estar fermament subjecte al bloc del motor o de la culata amb suports i fixacions mecàniques. Això impedeix l'ús de brides, brides de plàstic o cables de seguretat. L'ús de casquets de cautxú és acceptable per a la creació i segellat dels conductes d'aire, però no es considera una unió estructural. Els cargols roscats utilitzats per assegurar el col·lector d'admissió es consideren unions crítiques i han de complir amb l'article 11.

#### IC1.4.4

Els sistemes d'admissió amb una massa significativa o amb un voladís excessiu, han de ser recolzats per prevenir la fatiga en el sistema d'admissió. Els suports al motor han de ser rígids. Si es suporta al bastidor o xassís ha d'incorporar silent blocks per permetre el moviment del motor o de la flexibilitat del xassís.



**IC1.5 Throttle and Throttle Actuation**

## IC1.5.1

El motor ha d'equipar papallona d'admissió. El cos de la papallona pot ser de qualsevol diàmetre.

## IC1.5.2

L'accelerador ha de ser accionat mecànicament (per cable o barra). Llevat si s'aplica la norma IC1.11-IC1.16 és a dir, per control electrònic de l'accelerador que substitueix la resta de IC1.5.

## IC1.5.3

El cable de l'accelerador ha de funcionar suaument, i no pot quedar-se enganxat amb la funda.

## IC1.5.4

El sistema d'accionament de l'accelerador ha d'utilitzar almenys dos (2) ressorts de retorn situats al cos de l'accelerador, de manera que la fallada de qualsevol component del sistema d'accelerador no evitarà que l'accelerador de tornar a la posició tancada.

NOTA: El sensor de posició de l'accelerador (TPS) no es considera com a molla de retorn.

## IC1.5.5

El cable d'accelerador ha de ser com a mínim a 50,8 mm (2 polzades) de qualsevol component del sistema d'escapament i sortida del corrent de gasos d'escapament.

## IC1.5.6

S'ha de ficar un límit al pedal de l'accelerador per evitar forçar el cable de l'accelerador.

## IC1.5.7

El cable d'accelerador ha d'estar protegit de ser doblegat o retorçat pel peu del conductor quan és operat pel conductor o quan el conductor entra o surt del vehicle.

## IC1.5.8

Si el sistema d'accelerador conté cap mecanisme que podria quedar-se encallat, per exemple, un mecanisme d'engrenatge, llavors ha d'estar cobert per evitar l'entrada de qualsevol residu.

## IC1.5.9

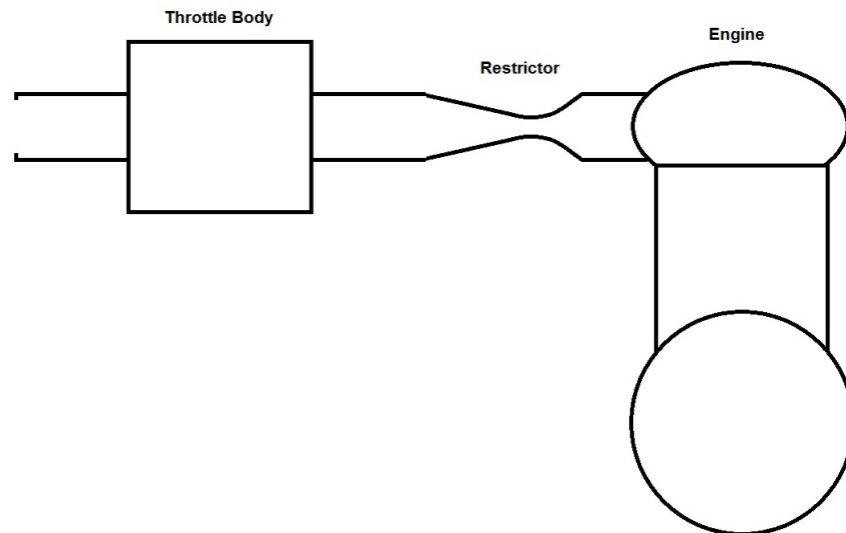
El carburadors no estan permesos en motors sobrealimentats

**IC1.6 Intake System restrictor**

## IC1.6.1

Amb la finalitat de limitar la capacitat de potència del motor, un sol restrictor circular ha de ser col·locat en el sistema d'admissió i tot el flux d'aire del motor ha de passar a través del restrictor. L'única seqüència permesa dels components són els següents:

Per als motors d'aspiració natural, la seqüència ha de ser (veure figura 1): Cos de l'accelerador, restrictor, i el motor.



**FIGURA A.2** Seqüència d'admissió permesa en motors atmosfèrics

## IC1.6.2

Els diàmetres màxims de restricció que han de ser respectats en tot moment durant la competició i són:

- a. Vehicles de combustió - 20,0 mm (0,7874 polzades)

IC1.6.3 La brida ha d'estar situat per facilitar el mesurament del diàmetre durant el procés d'inspecció.

## IC1.6.4

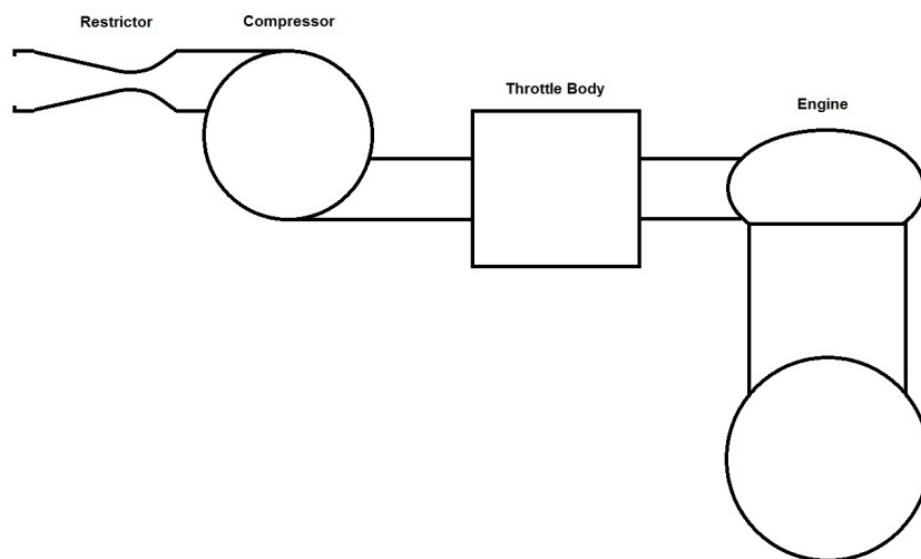
El restrictor no pot ser mòbil o flexible, per exemple, el restrictor pot no ser part de la part mòbil del cos de la papallona.

## IC1.6.5

Si es munta més d'un motor, l'admissió de tots els motors ha de passar pel restrictor.

**IC1.7 Turbochargers & Superchargers**

IC1.7.1 El restrictor ha de ser col·locat aigües amunt del compressor i la papallona ha de ser col·locada aigües avall del compressor. Per tant, l'única seqüència permesa és: restrictor, el compressor, papallona i el motor:



**FIGURA A.3** Seqüència d'admissió permesa en motors sobrealimentats

## IC1.7.2

L'aire d'admissió es pot refredar amb un intercooler. Només l'aire ambient pot ser usat per eliminar la calor del sistema de intercooler. Es permeten intercanviadors de aire-aire i aigua-aire. El refrigerant d'un sistema intercooler aigua-aire ha de complir amb l'article T8.1.

**IC1.7.3**

La recirculació de vàlvules estan prohibits per a tots els sistemes sobrealimentats.

NOTA: Les vàlvules de recirculació s'apliquen al compressor i no a la vàlvula de descàrrega que s'utilitzen per controlar la turbina.

**IC1.7.4**

Els *plenums* o caixa d'aire a qualsevol lloc aigües amunt del cos de l'accelerador estan prohibits. S'anima als equips a presentar els seus dissenys a la Comissió de Reglament per a la seva revisió abans de la competició si la legalitat del seu sistema proposat està en dubte.

**IC1.7.5**

La distància màxima permesa del col·lector entre el restrictor d'admissió i la papallona és de 60 mm de diàmetre, o l'àrea equivalent (és a dir  $2,827 \text{ mm}^2$ ) si no és circular.

IC1.7.6 Si s'utilitza un intercooler/aftercooler, ha d'estar situat aigües avall de la papallona.

**IC1.8 Fuel Lines****IC1.8.1**

Es prohibeixen les línies de combustible plàstiques entre el dipòsit de combustible i el motor (alimentació i retorn).

**IC1.8.2**

Si s'utilitza la línia de combustible de goma o una mànega, els components sobre els quals se subjecta la mànega han de tenir adaptadors dentats per retenir la mànega. També, s'han d'utilitzar abraçadores dissenyades específicament per a les línies de combustible. Aquestes pinces tenen tres (3) característiques importants, (i) unió completa de 360 graus amb un embolcall. (ii) Un sistema de rosca i cargol per estrènyer, i (iii) Goma per prevenir el tall en el tub de la brida.

**IC1.8.3**

Les línies de combustible han d'estar ben subjectes al vehicle i/o el motor.

#### IC1.8.4

Totes les línies de combustible han d'estar protegides davant de possibles fallades en els equips que roten o de danys per col·lisió.

### IC1.9 Fuel Injection System Requirements

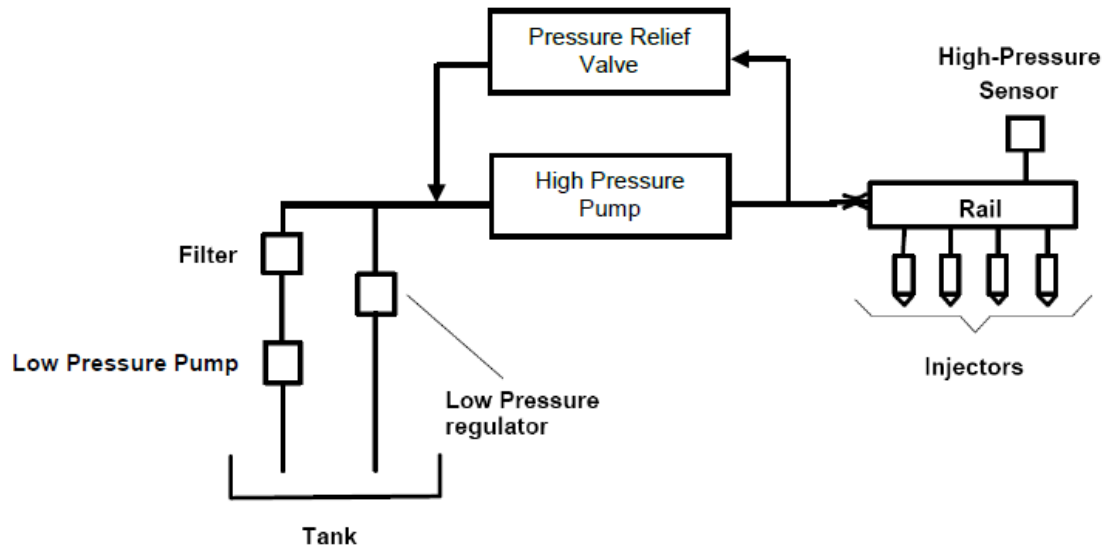
#### IC1.9.1 Low Pressure Injection (LPI)

Els sistemes d'injecció de combustible de baixa pressió són els que funcionen a una pressió per sota de 10 bar (145 psi). La majoria dels sistemes d'injecció amb port de combustible (PFI) són de baixa pressió.

- a. **Línies de combustible** - En els sistemes de combustible d'injecció de baixa pressió, els conductes de combustible flexibles han de ser: (i) (Linia metàl·lica trenada) o (ii) una mànega flexible de goma reforçada amb un material reforçat resistent a la abrasió segons B8.8.2.
- b. **Rail de combustible** - El rail de combustible ha d'estar fermament subjecte al bloc de cilindres del motor, la culata, o al col·lector d'admissió amb fixacions mecàniques (cargols). Això impedeix l'ús de brides, brides de plàstic o filferro de seguretats. Les fixacions roscades que s'utilitzen per fixar el rail de combustible es consideren fixacions crítiques i han de complir amb l'article 11.
- c. **Col·lector d'admissió** - En els motors amb injecció de combustible de port, el col·lector d'admissió ha d'estar fermament subjecte al bloc del motor o de la culata.

#### IC1.9.2. High Pressure Injection (HPI) / Direct Injection (DI)

Els sistemes de combustible d'alta pressió són els que funcionen a 10 bar o més de (145 psi). Sistemes de combustible d'injecció directa són aquells en què es produeix la injecció directament en el sistema de combustió. El DI, sovint utilitzen una bomba elèctrica de combustible de baixa pressió i una d'alta pressió mecànica impulsada pel motor. Les línies d'alta pressió són aquelles entre la bomba i els injectors d'impuls, i les línies de baixa pressió condueixen des de la bomba d'alimentació elèctrica a la bomba de càrrega.



**FIGURA A.4** Seqüència d'injecció directa

**a. Línies d'alta pressió de combustible**

Tots els conductes de combustible d'alta pressió, normalment els que estan aigües avall de la bomba d'alta pressió en els sistemes d'injecció directa, ha de ser un conducte rígid, d'acer inoxidable o mànega tipus Aeroquip FC807 PTFE llisa amb un reforç d'acer inoxidable i els fils de Nomex visibles. Productes equivalents poden ser usats amb l'aprovació prèvia Comitè de Regles. Es prohibeix l'ús de juntes de goma. Les línies han de ser connectades rígidament cada 100 mm per cargols mecànics als components del motor estructurals com ara culates o bloc.

**b. Línies de baixa pressió de combustible** - Línies de baixa pressió, normalment els d'aigües amunt de la bomba d'alta pressió que són flexibles, han de ser o bé (i) de mànega de metall trenada, o de mànega de goma (ii) reforçat amb algun recobriment que sigui resistent a l'abradió amb les abraçadores per que compleixen l'article B8.8.2. NOTA: Abraçadores sobre la mànega de metall trenat no serà acceptat.

**c. Rail de combustible** - El rail de combustible ha d'estar fermament subjecte a la culata del motor amb cargols mecànics. Això impedeix l'ús de brides, brides de plàstic o filferro de seguretat. El mètode de fixació ha de ser suficient per mantenir el rail de combustible en el lloc amb la pressió màxima regulada actuant sobre la part interna de l'injector i menyspreant qualsevol ajuda de la pressió en el cilindre que

actua sobre la punta de l'injector. Els sostenidors roscats que s'utilitzen per fixar el rail de combustible es consideren sostenidors crítics i han de complir amb l'article 11.

- d. Bomba de combustible d'alta pressió** - La bomba de combustible ha d'estar muntat rígidament als components del motor estructurals com ara la culata o el bloc del motor.
- e. Regulador de pressió** - Un regulador de pressió de combustible s'ha de col·locar entre els costats d'alta i baixa pressió del sistema de combustible en paral·lel amb la bomba de càrrega de DI. El regulador extern ha de ser utilitzat fins i tot si la bomba de càrrega de DI ve equipada amb un regulador intern.
- f. Prova d'inclinació** - Abans de la prova d'inclinació especificat en B9.9, els motors equipats amb bombes de combustible accionades mecànicament s'han de fer funcionar per omplir el sistema.

#### **IC1.10 Crankcase / engine lubrication venting**

##### IC1.10.1

Les línies de ventilació del càrter connectades al sistema d'admissió han d'estar connectats aigües amunt del restrictor d'admissió.

IC1.10.2 Està prohibit connectar el respirador del càrter o els sistemes de buit al sistema d'escapament.

#### **EXHAUST SYSTEM AND NOISE CONTROL**

##### **IC3.1 Exhaust System General**

###### IC3.1.1 Exhaust Outlet

La sortida d'escapament s'ha de col·locar de manera que el pilot no estigui sotmès als fums a qualsevol velocitat.

###### IC3.1.2

La sortida (s) d'escapament no s'ha d'estendre més de 45 cm (17,7 polzades) darrere de la línia central de l'eix posterior, i no més de 60 cm (23,6 polzades) per sobre del terra.

### IC3.1.3

Tots els components de l'escapament (silenciador, etc) que sobresurten pel costat del cockpit o per davant de la barra d'antibolcada han de ser cobertes per evitar el contacte amb les persones que s'acostin el vehicle o amb el mateix pilot al sortir del cotxe.

### IC3.1.4

L'aplicació de fibres o materials absorbents a l'exterior dels col·lectors o de la resta de l'escapament, està prohibit.

## **IC3.2 Noise Measuring Procedure**

### IC3.2.1

El nivell de so es mesurarà durant una prova estàtica. Els mesuraments es realitzen amb un micròfon de camp lliure col·locat lliure d'obstruccions a nivell de sortida d'escapament, a 0,5 m (19,68 polzades) des de l'extrem del tub d'escapament, en un angle de quaranta-cinc graus (45°) amb la sortida en el pla horitzontal. La prova es durà a terme amb la caixa de canvis en punt mort i a la velocitat del motor que es defineix un article posterior. Si hi ha més d'una sortida d'escapament, la prova es repeteix per a cada un d'escapament i s'utilitzarà la lectura més alta.

### IC3.2.2

El cotxe ha de complir la prova de soroll en tots règims de gir per sota de la velocitat màxima de prova que es defineix a continuació.

### IC3.2.3

Si el escapament té alguna forma movable o algun dispositiu d'estrangulament movable, s'ha de passar la prova en totes les configuracions possibles. La posició d'aquest estrangulament ha de ser visible pels oficials i ho han de poder variar ells mateixos manualment.

### IC3.2.4 Test Speeds

La velocitat d'assaig màxima per a un motor donat serà la velocitat del motor que correspon a una velocitat mitjana del pistó de 914,4 m / min (3000 ft. / Min) per a motors d'automòbils o motocicletes, i 731,5 m / min (2400 ft. / Min) per a motors industrials. La velocitat calculada s'arrodoneix al 500 rpm més proper. Les velocitats de prova per a motors típics seran publicades pels organitzadors.



La velocitat de la prova serà al ralenti per un motor en concret i determinat per la seva velocitat de ralenti calibrat. Si la velocitat de ralenti varia llavors el cotxe es posarà a prova en tota la gamma de velocitats en buit determinats per l'equip.

Un motor industrial es defineix com un motor que, d'acord amb les especificacions del fabricant i sense el restrictor requerit, no és capaç de produir més de 5 hp per 100cc. Per tenir un motor classificat com un motor industrial, l'aprovació ha de ser obtinguda pels organitzadors abans de la competició.

### **IC3.3 Maximum Sound Level**

A ralenti, el màxim soroll permès és 100 dBC. En totes les altres velocitats, els límits màxims per al nivell de so és de 110 dBC.

### **IC3.4 Noise Level Re-testing**

Els oficials poden mesurar el soroll en qualsevol moment durant la competició. Si un cotxe no passa la prova de soroll, es retindrà de la competició fins que s'hagi modificat i re-passa la prova de soroll.

### **T8.1 Coolant Fluid Limitations**

Només es pot fer servir aigua per refrigerar, no líquids refrigeradors, simplement aigua. Motors elèctrics, acumuladors o l'electrònica d'alta tensió poden utilitzar aigua corrent o oli com a refrigerant. Queda terminantment prohibida la base de glicol anticongelant, lubricants de la bomba d'aigua de qualsevol tipus, o qualsevol altre additiu.

### **T8.2 Sistem Sealing**

#### **T8.2.1**

Qualsevol sistema de refrigeració o de lubricació ha de ser segellat per evitar fuites.

T8.2.2 Ha d'utilitzar-se un vas d'expansió separat per retenir els líquids de qualsevol entrada d'aire per al sistema de refrigeració o sistema de lubricació del motor. El vas ha de tenir un volum mínim de deu (10) per cent del líquid o 0,9 litres (un quart de galó dels EUA), el que sigui més gran.

NOTA: Les combinacions de motor/caixa de canvi han de complir amb T8.2.2.

T8.2.3 Qualsevol respirador en altres sistemes que contenen lubricant líquid, és a dir, un diferencial o la caixa de canvis, ha de tenir un pot de 50ml o amb un volum mínim de deu (10) per cent del líquid que està continguda, el que sigui més gran.

T8.2.4 El vas d'expansió ha de poder contenir aigua bullint sense deformació, i es troba cap enrere del tallafocs sota del nivell de l'espalla del conductor, i es subjectaran de manera ferma, és a dir, no s'aprova fer-ho amb cinta.

T8.2.5 El vas d'expansió ha d'estar ventilat a través d'una mànega amb un diàmetre intern de 3mm (1/8") fins al nivell inferior del xassís.

## **ANNEX B. ELECCIÓ DEL MOTOR DE L'EAGLE FORCE 1**

## **ANNEX B. ELECCIÓ DEL MOTOR DE L'EAGLE FORCE 1**

### **B.1 INTRODUCCIÓ**

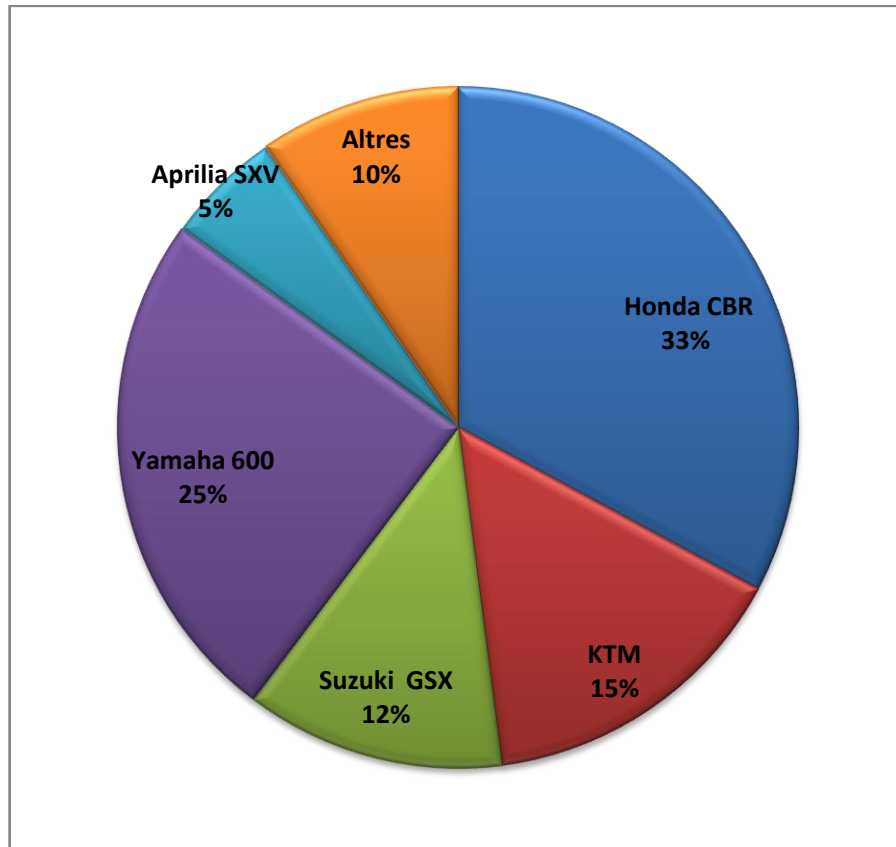
En aquest capítol es justificarà l'elecció del motor que l'UdG Racing Team va adquirir pel seu vehicle, l'eagle force 1. Per fer la elecció, es va revisar el reglament tècnic i es va estudiar quins motors equipava la competència, i quins motors oferia el mercat.

### **B.2 ESTUDI DE MERCAT**

Un cop estudiat el reglament, el següent pas és el de buscar un motor pel monoplaça que compleixi el reglament descrit a l'ANNEX A, sempre buscant les millors prestacions possibles.

En primer lloc, es descarta la possibilitat de dissenyar i fabricar un motor per un projectista, ja que tot i que el reglament ho permet, demoraria massa temps, dificultats i recursos que l'associació no pot assumir. Per això, es va decidir adaptar un motor de motocicleta comercial d'alt rendiment, ja que hi han molts models comercials amb motor de 4T, a prop dels 610cc i que ofereixen altes potències. A més, aquestes incorporen la caixa de canvis en el propi motor, dotant el vehicle de canvi de marxes d'una manera molt compactada.

Per tal d'escollir un model en concret, el primer que s'ha fet és fer un estudi dels models que acostumen a muntar la resta d'equips de Formula Student amb més experiència, per així poder escollir un motor d'unes característiques concretes i un model en concret. S'ha fet un estudi amb una mostra de N=73 (73 vehicles estudiats de 73 universitats diferents).



Honda CBR	KTM	Suzuki GSX	Yamaha 600	Aprilia SXV	Altres
24	11	9	18	4	7

**FIGURA B.1** Estudi de mercat mostra N=73

Segons el gràfic, es pot extreure les següents conclusions:

- El 70% dels equips estudiats adopten motors comercials de 600cc, 4 cilindres i injecció electrònica (Honda CBR, Yamaha 600 o Suzuki GSX).
- La resta, opten per altres motors comercials monocilíndrics o bicilíndrics de Aprilia o KTM. Dintre d'aquest estudi, una petita minoria el motor es dissenyat per ells mateixos (dintre de altres).

Vistes les estadístiques, ja es podria arribar a concloure que els motors més usats són els comercials de 600cc i 4 cilindres. Tot i així, s'ha intentat esbrinar la raó d'això per tal d'acabar de decidir-nos fent un segon estudi ja que creiem que el tipus de motor escollit té alguna cosa a veure segons les característiques generals del vehicle, sobretot amb el pes.

El segon estudi tracta de comparar la potència màxima que extreu cada model (mateixa mostra, N=73) de motor muntat en els vehicles i quin pes total té aquest últim, per tractar de contrastar si té alguna relació el motor escollit amb el pes del vehicle.

	<b>Pes (Kg)</b>	<b>Pes+100(Kg)</b>	<b>Potència(Cv)</b>	<b>Pes+100/potència</b>
<b><i>Mitjana Total</i></b>	213,6	314,6	72,7	4,31
<b>MITJANA HONDA CBR</b>	241,5	341,5	82,2	4,16
<b>MITJANA SUZUKI GSX</b>	227,4	327,4	90,1	3,63
<b>MITJANA YAMAHA 600</b>	216,1	316,1	81,0	3,95
<b>MITJANA KTM</b>	186,2	286,2	52,5	5,45
<b>MITJANA APRILIA</b>	202,5	302,5	65,0	4,65
<b>MITJANA ALTRES</b>	197,5	297,5	61,9	4,80

**TAULA B.1** Relació Pes/Potència de l'estudi de mercat

Com s'observa a la taula, els motors que són capaços de proporcionar més potència són el de Honda CBR, Suzuki GSX, i Yamaha 600, i també, en la totalitat del vehicle, obtenen una millor relació pes/potència. Tots tres tenen aspectes comuns que els diferencien de la resta: Motor de 4 cilindres, 600c.c. i injecció electrònica.

Observem també d'altra banda, que els motors de KTM, Aprilia i altres, els seus cotxes acostumen a pesar menys, fet de que els motors són més lleugers (monocilíndrics o bicilíndrics), i per tant els fan servir equips amb un vehicle molt lleuger, per intentar encara reduir el pes total del vehicle.

Vist tot això, es pot concloure que es necessita un motor comercial de 4 cilindres, 600cc i injecció electrònica, ja que aquests proporcionen més potència. D'altra banda, la resta de motors ofereixen un pes més contingut, però degut a que la predicció del pes total de l'Eagle Force 1 serà d'uns 300 Kg, no val la pena reduir una mica de pes amb el motor a costa de perdre una quantitat considerable de potència.

### B.3 CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL MOTOR ESCOLLIT

Com s'ha vist al passat estudi de mercat, el motor adient per la nostra aplicació és un motor de 4 cilindres, 600cc i injecció electrònica de Honda, Yamaha o Suzuki, tots tres de característiques molt similars.

No s'han fet diferenciacions en quina firma comercial adquirir, ja que no s'ha observat diferències de prestacions entre ells. El que si s'ha buscat és que sigui d'injecció electrònica, donat que són motors més moderns i que donen més potència amb menys consum (que millorarà considerablement la prova d'eficiència).

El motor adquirit és un motor que prové d'una Yamaha FZ6 Fazer S2 de 2007, un motor de 4 cilindres, 600cc, injecció electrònica i amb una potència màxima de 98 cv.

S'ha escollit aquest motor ja que es va trobar una bona oportunitat d'adquirir-lo degut al seu bon estat i a un preu raonable. Dintre d'aquesta mateixa firma hi ha un model amb el mateix motor però amb petites modificacions que el fan més potent, la Yamaha R6, molt més explosiu a altes rpm, però degut a la restricció de 20mm que t'obliga a muntar la normativa, es veurà a l'ANNEX D que això no serviria de res i inclús el motor de FZ6 treballarà millor degut a que està preparat per treballar a més baixes RPM.

Les característiques tècniques del motor es poden veure a continuació:

Motor	
Tipo de motor	4 tiempos, refrigerado por agua, 4 cilindros, 16 válvulas, DOHC
Cilindrada	600 CC
Diámetro x carrera	65.5 mm x 44.5 mm
Relación de compresión	12.2 : 1
Potencia máxima	72 kW (98 CV) a 12,000 rpm
Par máximo	63.1 Nm (6.4 kg-m) a 10,000 rpm
Lubricación	Cárter Húmedo
Tipo de embrague	Multidisco, bañado en aceite
Sistema de encendido	TCI
Sistema de arranque	Eléctrico
Sistema de transmisión	6 velocidades de toma constante
Final transmission:	Por cadena
Cap. depósito combustible	19,4 L
Cap. depósito de aceite	3,4 L

**TAULA B.2** Característiques tècniques Yamaha FZ6 S2



**FIGURA B.2** Motor adquirit per l'Eagle Force 1



## **ANNEX C. ADQUISICIÓ DE DADES**







## ANNEX C. ADQUISICIÓ DE DADES

### C.1 MOTOR YAMAHA FZ6 S2

En aquest capítol s'adquiriran les dades necessàries del motor Yamaha FZ6 S2 per tal de fer les simulacions de l'Annex D. La simulació, el més acurat possible. El software permet l'adquisició de centenars de paràmetres i dades a introduir, però degut a la complicació d'adquirir algunes dades físicament, o la dificultat d'adquirir alguna informació confidencial que Yamaha no revela, hem adquirit únicament les dades que afecten significativament al comportament del motor, deixant les secundàries el paràmetre estandarditzat que generalment és bastant comú per la gran majoria de motors o s'han posat els paràmetres a partir de l'experiència d'altres professionals del sector.

#### C.1.1 Dades internes del motor

Pel que fa a les dades internes del motor, el software admet les següents dades:

Label	Cylinder (copied)	▲
Bore (mm)	65,5000	
Stroke (mm)	44,5000	
Cyl Swept Volume (l)	0,14995	
Total Swept Volume (l)	0,59978	
Con-rod Length (mm)	129,80	
Pin Off-Set (mm)	0,50	
Compression Ratio	12,20	
Clearance Volume (l)	0,013388	
Phase (ATDC)	0,00	
Combustion Model		
Open Cycle HT		
Closed Cycle HT		
Surface Areas		
Surface Temperatures		
Scavenge-Cylinder		▼

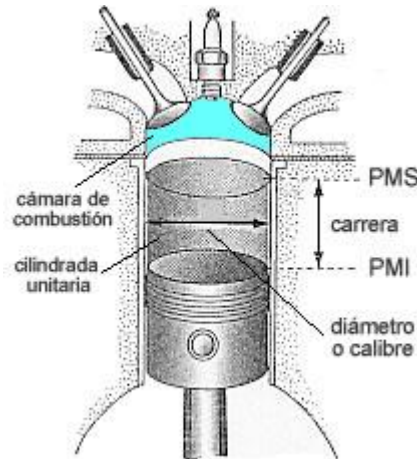
**FIGURA C.1** Dades internes motor

Vistes les dades, hem mesurat i hem fet recerca de les següents dades del motor Yamaha FZ6 S2, considerant les altres com a valors estàndards:

**- Cilindrada:**

La cilindrada és el volum total que hi ha dins dels cilindres d'un motor de combustió. A major cilindrada, major és l'aire aspirat i per tant major és la potència.

La cilindrada total del nostre motor és de  $600\text{cm}^3$ .  $150\text{cm}^3$  per cilindre i amb un diàmetre de pistó de 65,5mm i una cursa de 44,5mm (distància entre PMI i PMS), un motor superquadrat, que permet obtenir millors potències a altes rpm.

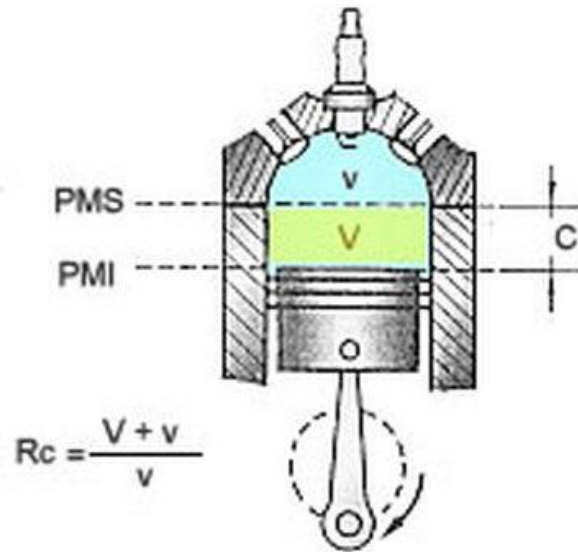


**FIGURA C.2** Cilindrada d'un motor

**- Relació de compressió:**

La relació de compressió d'un motor és el ratio en que l'aire es comprimeix, des de que el pistó està al PMI, fins que arriba al PMS. A majors relacions de compressió, major és la potència i el rendiment, però el limita la capacitat antidetonant del combustible, on relacions de compressió massa elevades podrien malmetre el motor.

El nostre motor té una relació de compressió de 12,2:1.



**FIGURA C.3** Relació de compressió d'un motor

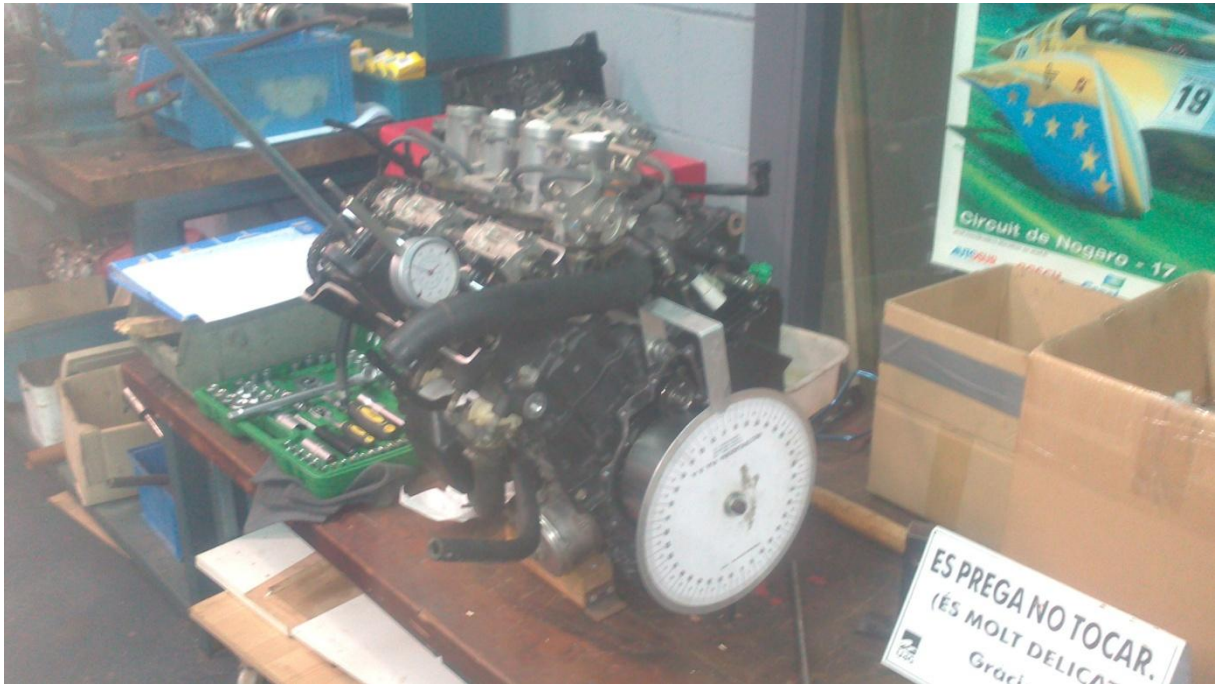
Un cop explicat aquests dos aspectes importants, en total hem adquirit les següents dades:

DADA	VALOR	FONT	DESCRIPCIÓ
Bore (mm)	65,5	manual de taller	diàmetre del cilindre
Stroke (mm)	44,5	manual de taller	carrera del cilindre
Pin Off-Set (mm)	0,5	manual de taller	descentrament del buló del pisto
Compression Ratio	12,2	manual de taller	Relació de compressió
Phase (ATDC)	1-3-4-2	manual de taller	Ordre d'encesa de la mescla

**TAULA C.1** Dades internes motor

### C.1.2 Diagrames de distribució

Per tal de adquirir els diagrames de distribució (apertura i tancament de vàlvules), s'ha tingut que fer un muntatge. Primerament, es va adaptar un mesurador d'angles que es va situar al plat magnètic, on quan el motor girava, feia girar de la mateixa manera el mesurador d'angles.



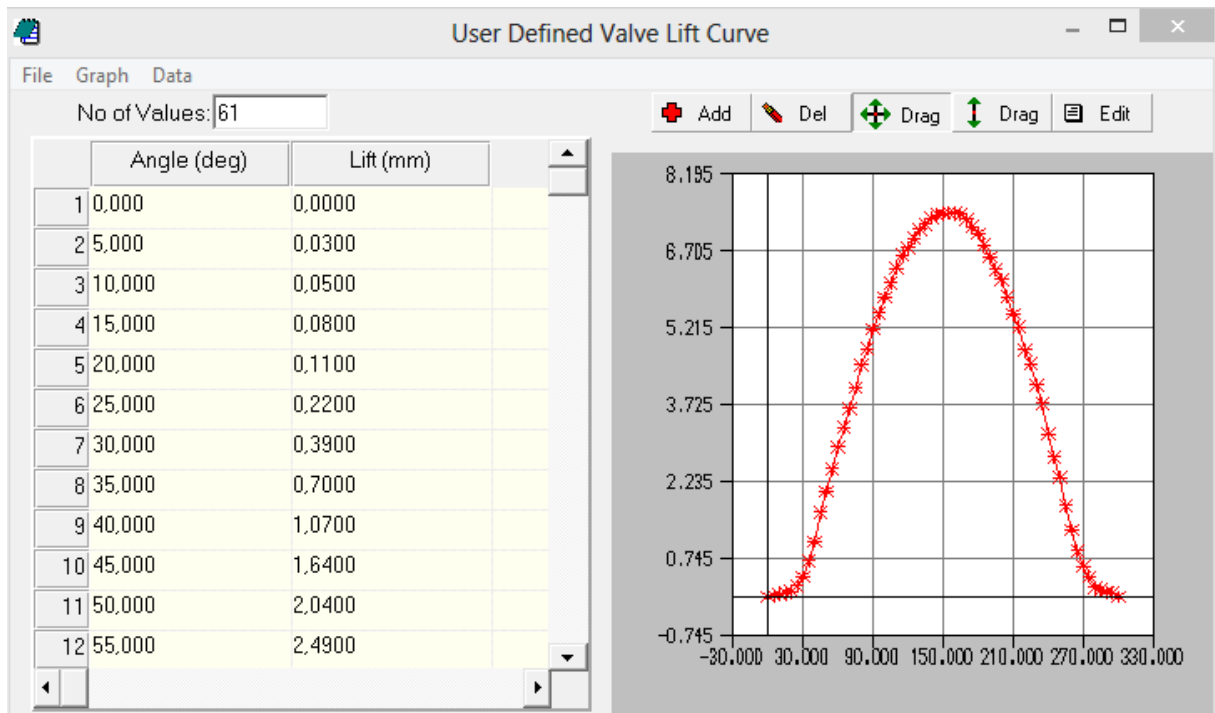
**FIGURA C.4** Muntatge diagrama de distribució

Un cop muntat el mesurador, amb una petita peça d'alumini que marcava els angles, es va obrir la tapa de balancins i es va adaptar un rellotge comparador al totxo de la vàlvula mitjançant un passamà cargolat als suports dels coixinets de l'arbre de lleves. Això permetia mesurar amb precisió quant s'aixecava la vàlvula d'admissió o d'escapament.

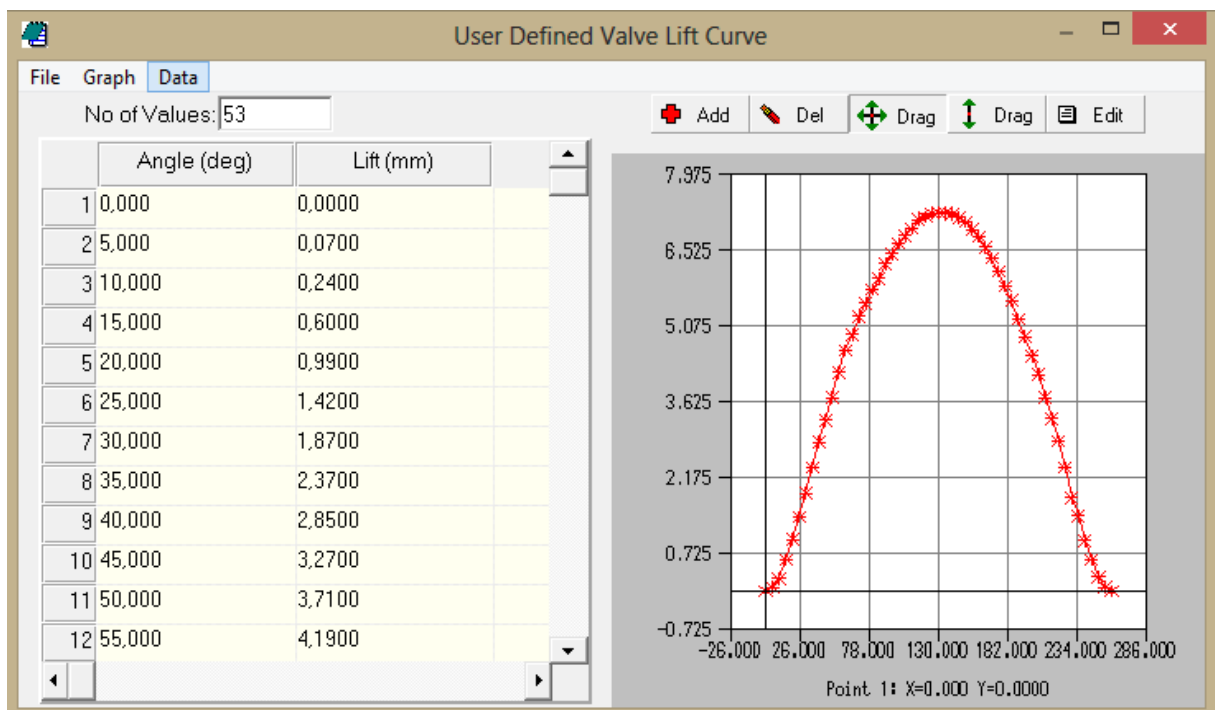


**FIGURA C.5** Muntatge diagrama de distribució, aixecament de vàlvula**FIGURA C.6** Muntatge diagrama de distribució, aixecament de vàlvula

Seguidament es va procedir a anar girant el motor de  $5^{\circ}$  en  $5^{\circ}$  de cigonyal ( $2,5^{\circ}$  de arbre de lleves) fins a mesurar tot el recorregut de vàlvula, des de que es comença a obrir fins a que es comença a tancar, per tenir tot el diagrama complet. Es va realitzar primer per la vàlvula d'admissió, i seguidament per a la de escapament, obtenint el següent resultat:



**FIGURA C.7** Perfil aixecament de vàlvula d'admissió



**FIGURA C.8** Perfil aixecament de vàlvula d'escapament

Un cop obtingut el perfil d'aixecament de vàlvula, hem de calcular els avanços i retardaments de l'admissió i de l'escapament. Per a calcular-ho, es va fer un muntatge amb una barra llarga i fina però rígida que introduïem pel forat de la bugia per tal de saber en

quin angle del mesurador d'angles, el pistó es troba en el PMI o PMS. Un cop calibrat a quin angle en el mesurador d'angles tenim el PMI i PMS, giravem el motor fins a que la lleva comença a fer contacte amb la vàlvula, obtenint els avanços i retardaments d'admissió i escapament.

Un cop mesurades aquestes dades i amb l'ajuda del manual de taller, obtenim les següents dades a introduir a les simulacions:

#### DADES PORT I VÀLVULA D'ADMISSIÓ

DADA	VALOR	FONT	DESCRIPCIÓ
nº of Valves	2	manual de taller	Nº de vàlvules d'admissió per cilindre
Valve Throat Dia (mm)	25	manual de taller	Diametre de cap de vàlvula
Valve Open (deg)	47	mesurat	Avanç d'admissió respecte PMS
Valve Close (deg)	73	mesurat	Retràs d'admissió respecte PMI
Max Lift (mm)	7.45	mesurat	Màxima obertura de vàlvula
MOP (deg)	113	mesurat	Punt de màxima obertura de vàlvula
Lift option data	gràfica*	mesurat	Obertura de vàlvula segons gir del cigonyal

#### DADES PORT I VÀLVULA D'ESCAPAMENT

DADA	VALOR	FONT	DESCRIPCIÓ
nº of Valves	2	manual de taller	Nº de vàlvules d'escapament per cilindre
Valve Throat Dia (mm)	22	manual de taller	Diametre de cap de vàlvula
Valve Open (deg)	54	mesurat	Avanç d'escapament respecte PMI
Valve Close (deg)	26	mesurat	Retràs d'escapament respecte PMS
Max Lift (mm)	7.25	mesurat	Màxima obertura de vàlvula
MOP (deg)	-99	mesurat	Punt de màxima obertura de vàlvula
Lift option data	gràfica*	mesurat	Obertura de vàlvula segons gir del cigonyal

Finalment, amb totes aquestes dades, obtenim el següent diagrama de distribució:



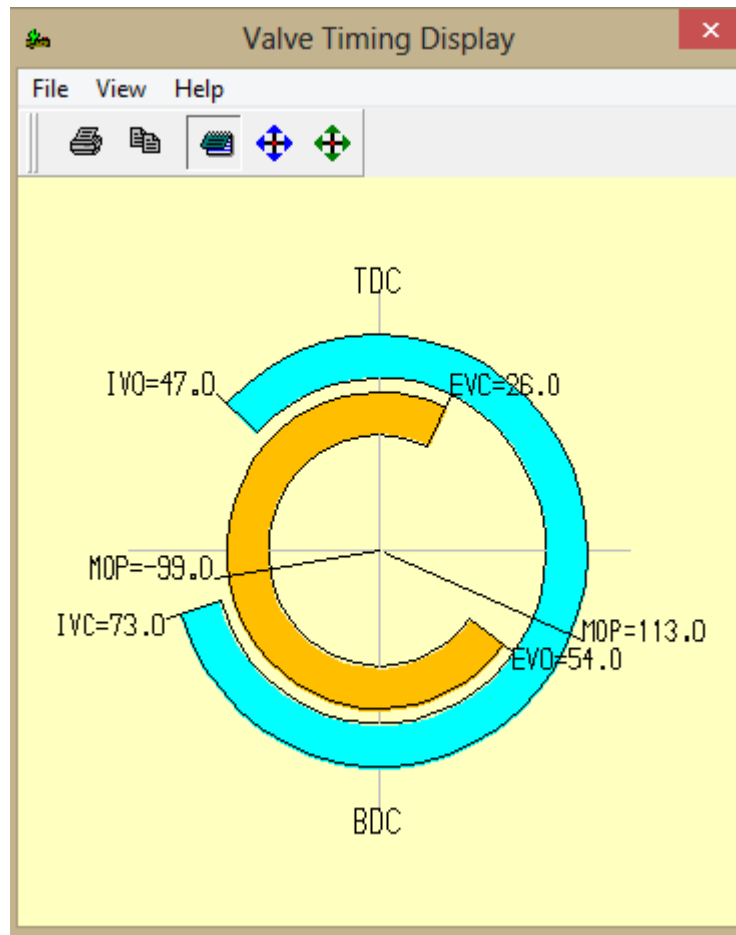


FIGURA C.9 Diagrama de distribució

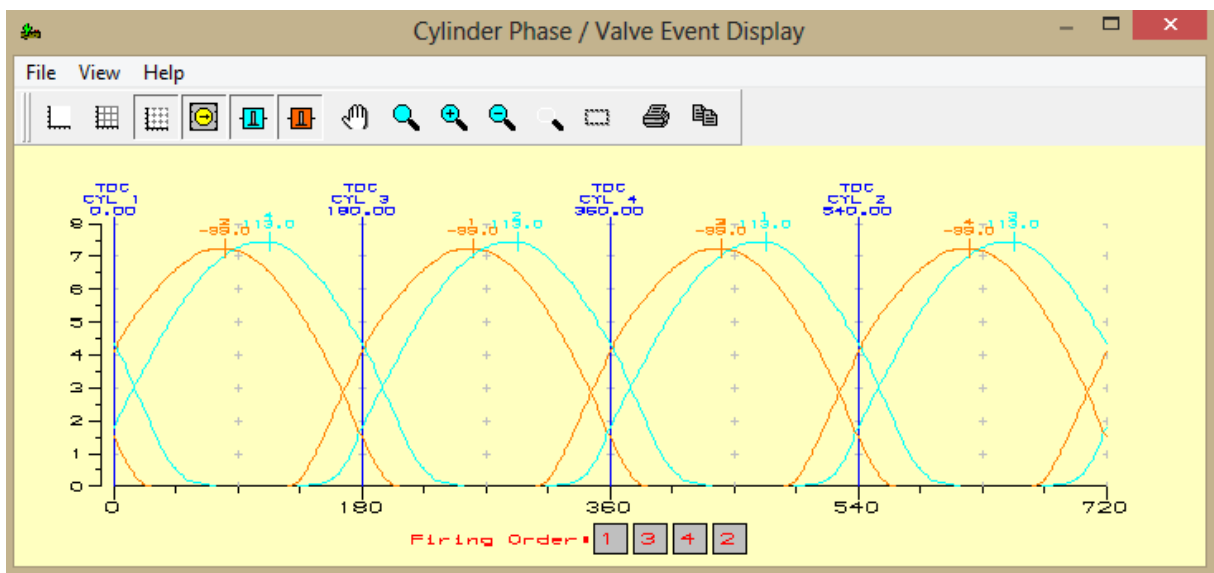


FIGURA C.10 Diagrama de distribució dels 4 cilindres.

## C.2 GEOMETRIES D'ADMISSIÓ I ESCAPAMENT DE YAMAHA FZ6 DE SÈRIE

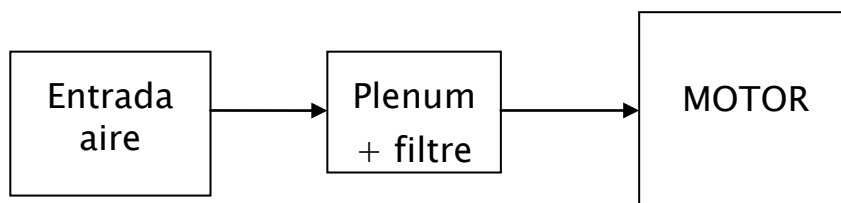
En aquest capítol explicarem el procediment per adquirir les dades de la geometria d'admissió i escapament del motor original per tal de poder introduir-les en la simulació. La motocicleta a analitzar és el mateix model, una Yamaha FZ6 S2 de 2006.



**FIGURA C.11** Yamaha FZ6 S2 a estudiar

### C.2.1 Geometria d'admissió

Respecte la geometria d'admissió original, ens trobem la següent configuració:



Mesurem les geometries i obtenim les dades a introduir al software de simulació:

DADA	VALOR	FONT	DESCRIPCIÓ
Entrada aire (mm)	70x23	mesurat	Dimensions de l'entrada d'aire del motor
Volum plenum (L)	5	mesurat	Volum del plenum
Longitud col·lectors (mm)	115	mesurat	Longitud col·lectors d'admissió
Diàmetre col·lectors (mm)	38	mesurat	Diàmetre interior col·lectors



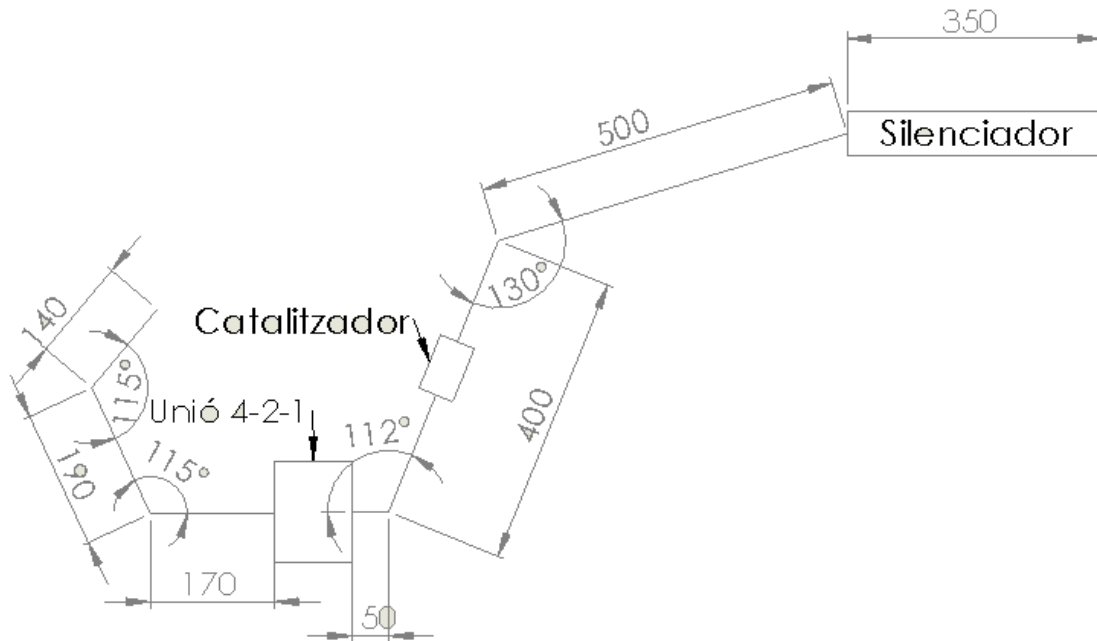
**FIGURA C.12** Plenum + filtre original



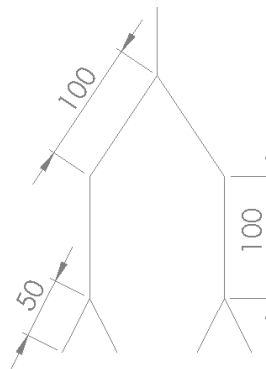
**FIGURA C.13** Entrada d'aire principal

### C.2.2 Geometria d'escapament

Pel que fa al sistema d'escapament, varem mesurar el següent la geometria d'escapament que es pot veure al següent croquis:



Unió 4-2-1:



Mesurem les geometries i obtenim les dades a introduir al software de simulació:

DADA	VALOR	FONT	DESCRIPCIÓ
Diàmetre col·1 tram (mm)	33	mesurat	Diàmetre interior col·lectors fins unió 2-1
Diàmetre col· 2 tram(mm)	42	mesurat	Diàmetre interior unió 2-1 fins silenciador
Volum plenum (L)	5	mesurat	Volum del plenum
Angle unió 4-2 (°)	60	mesurat	Angle d'entrada dels col·lectors a la unió
Angle unió 2-1 (°)	60	mesurat	Angle d'entrada unió 2-1

## **ANNEX D. LA SIMULACIÓ**

## **ANNEX D. LA SIMULACIÓ**

### **D.1 INTRODUCCIÓ**

L'objectiu de la simulació ha sigut el de simular virtualment el comportament del motor amb les modificacions necessàries que exigeix la competició. Amb això s'ha aconseguit veure com es comportarà el motor al llarg de diferents règims un cop adaptat a normativa, i aconseguir optimitzar les geometries de les modificacions en admissió i escapament per a tenir un comportament òptim.

Per fer aquestes simulacions s'ha fet servir el software "Lotus Engine Simulation" que permet modelar un model de motor de 4 cilindres, el sistema d'admissió i el sistema d'escapament amb tots els seus components. Permet també fer llançades virtuals en banc per veure la potència i el parell generat en tots els règims de velocitat del motor, entre altres paràmetres.

A partir del modelat base que es veurà a continuació, s'han fet bàsicament 3 tipus de simulacions: Motor de sèrie, motor de sèrie amb la restricció de 20mm que imposa la normativa i la optimització del motor amb la restricció canviant les geometries d'admissió i escapament per tal d'equipar-lo al vehicle de Formula Student.

L'objectiu principal de les simulacions és veure com afecta una restricció en la admissió en un motor comercial, i com es pot optimitzar el seu comportament canviant les geometries d'admissió i d'escapament.

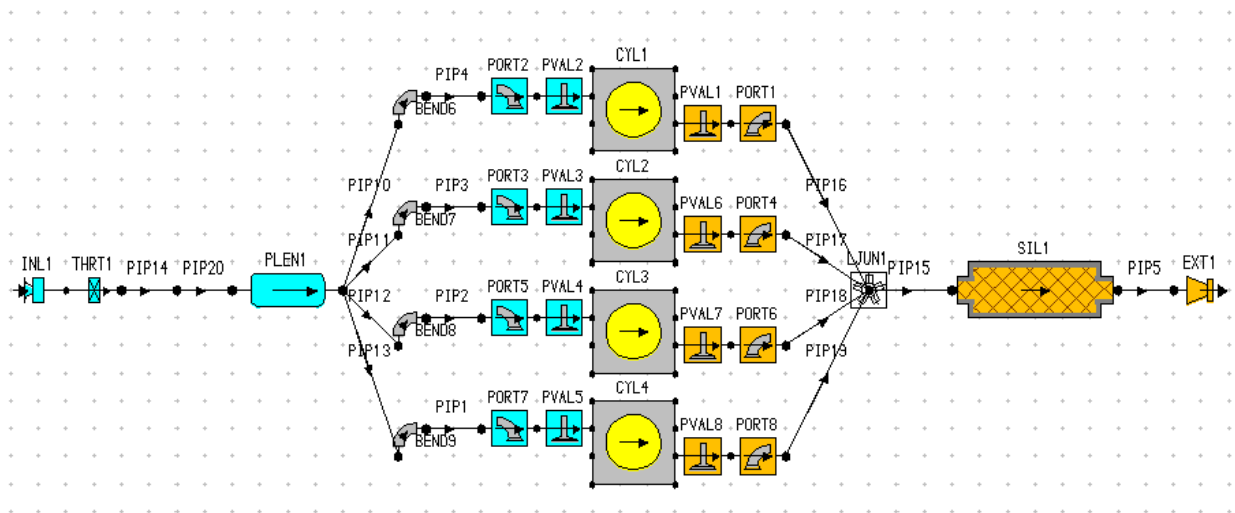
La primera simulació, de la Yamaha FZ6 de sèrie, en serveix per tal de corroborar si les dades adquirides són força acurades. Les següents, es van acostant poc a poc a la solució final.

L'abast d'aquestes simulacions ha sigut el de variar les geometries dels components del sistema d'admissió i escapament (longituds, diàmetres i volums) sense entrar en la simulació de possibles modificacions internes del motor.

### **D.2 SIMULACIONS AMB LOTUS ENGINE**

### D.2.1 Modelat del motor

Per tal d'executar la simulació del motor, s'ha hagut de modelar el motor amb el software per tal de fer esquemàticament com seria el motor real. S'ha modelat un esquema base, on a partir d'aquest s'ha anat modificant segons els canvis convenients. El modelat base del motor és el següent:

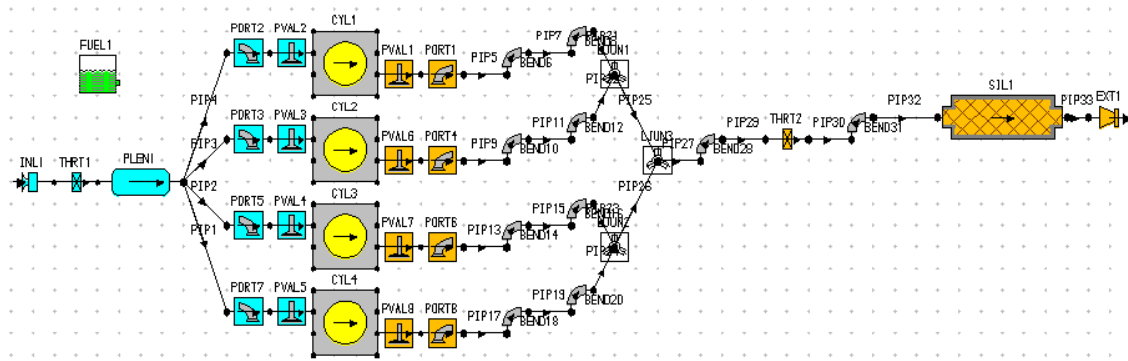


**FIGURA D.1** Modelat motor 4 cilindres

L'aire entra per la trompeta d'admissió (INL1) on passa pel cos de la papallona d'admissió (THRT1). Seguidament, circula per unes toberes (PIP14 i PIP20) fins arribar a la caixa d'aire (PLEN1), on a partir d'aquí es distribueix a cada cilindre del motor passant pels col·lectors d'admissió, corbes i els ports d'admissió i les vàlvules d'admissió. Un cop feta la combustió, el gas cremat surt per les vàlvules d'escapament, passant pels ports, i passant pels col·lectors d'escapament fins a arribar a la unió de tots 4 col·lectors (PIP15). Finalment, el gas passa per un silenciador per sortir a l'exterior.

### D.2.2 Yamaha FZ6 de sèrie

Com es pot veure a l'Annex C. *Adquisició de dades*, es van adquirir totes les dades del motor, i totes les dades geomètriques del sistema d'admissió i d'escapament. Un cop adquirides, es van modelar al software:



**FIGURA D.2** Modelat motor Yamaha FZ6 S2 de sèrie

Com es pot veure en el model, i tal i com ho fa en el motor original, l'aire entra en el motor per la trompeta d'admissió (INL1).

Seguidament arribaria al filtre d'aire, on aquest, generaria una pèrdua de càrrega que cal contemplar. Com el programa no permet modelar un filtre d'aire com a tal, s'ha modelat com si aquest fos un cos d'accelerador totalment obert (THRT1), però que genera una pèrdua de càrrega, que a efectes pràctics, faria tenir el mateix efecte. S'ha considerat un coeficient de descàrrega de 0,95, dada obtinguda del coneixement de professionals del sector.

Un cop l'aire filtrat, aquest s'expandeix en la caixa d'aire o plenum (PLEN1) de 5L, per després distribuir-se pels 4 col·lectors d'admissió d'alumini de 115mm, 2mm de paret i de 38mm de diàmetre interior que arriben a les vàlvules d'admissió. Aquí no s'han inclòs les vàlvules de papallona per accelerar, ja que volem fer la simulació a plena càrrega, per tant les menyspreem.

L'aire arriba al port d'admissió (PORT) on aquí s'ha indicat el nº de vàlvules d'admissió per cilindre (dues) i el seu diàmetre, i s'ha indicat que és un bon port amb un baix coeficient de descàrrega, típic d'aquests tipus de motors d'altres prestacions amb un bon acabat superficial dels conductes.

Seguidament l'aire entra al motor a través de les vàlvules d'admissió (PVAL). Aquí s'han introduït els diagrames de distribució que es poden veure a l'Annex C. *Adquisició de dades* i les dades de l'admissió que s'han detallat anteriorment.

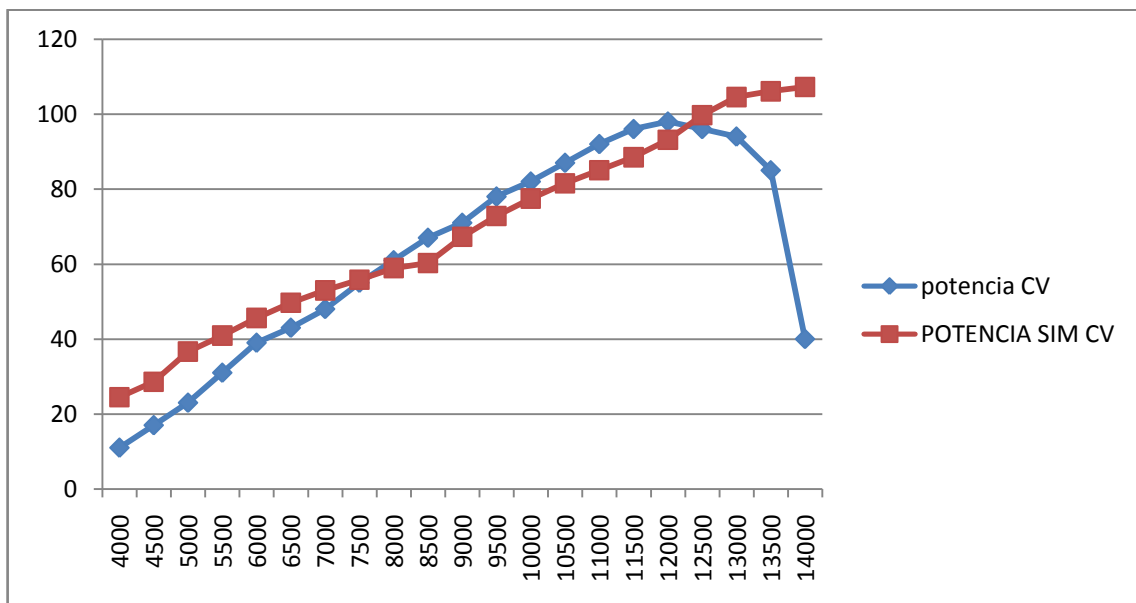


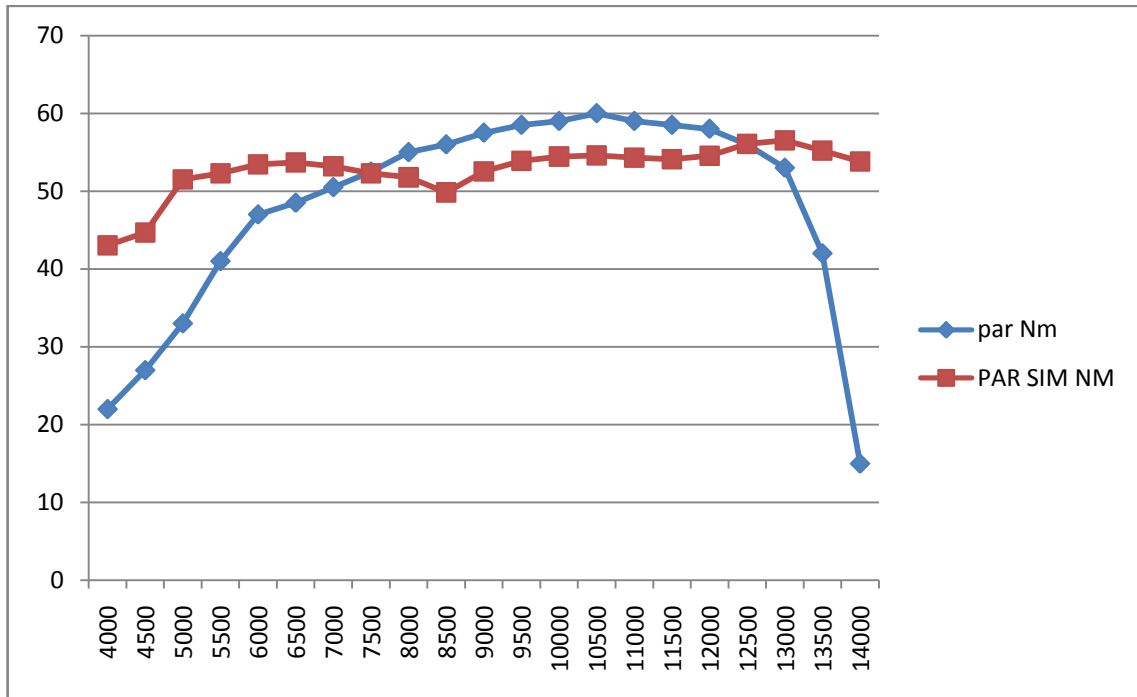
Aquest aire entra a cada un dels 4 cilindres, on aquí s'han inclòs les dades ja esmentades, i surt pel port d'escapament (PORT) i la vàlvula d'escapament.

Un cop els gasos surten del port, passen pels col·lectors d'escapament on cada un té dues corbes (BEND) i s'uneixen amb una unió 4-2-1, és a dir, els 4 col·lectors passen a ser 2 per finalment tornar a passar a un única sortida d'escapament.

Finalment, els gasos passen per una única sortida passant pel catalitzador per tal de reduir els gasos contaminants, per acabar sortint pel silenciador. Com no hi havia cap manera de moderlar-lo, aquest s'ha modelat de la mateixa manera que el filtre d'aire, se l'ha considerat com una vàlvula amb un coeficient de descàrrega de 0,95.

Un cop modelat tot el sistema, s'ha fet una llançada en banc virtual per tal de generar la seva corba de potència i parell. S'ha fet la llançada de 4000 a 14000 rpm en intervals de 500 rpm per tal de donar més precisió a la simulació. El resultat és el següent:





**TAULA D.1** Potència i parell motor de sèrie

En aquest gràfic es pot veure comparades les corbes de potència del motor (Potència vs. RPM, eix y i x respectivament) que dona el fabricant (línia blava) amb el motor modelat (línia vermella) i les corbes de parell.

Es pot observar com el resultat de les simulacions és bastant bo i precís, sent les dues corbes de potència i parell bastant semblants amb les dades que declara Yamaha. El motor modelat és lleugerament més potent en règims baixos, de 4000 a 7500 rpm, i menys potent a altes rpm, de 8000 a 12500 rpm. Aquesta diferència pot ser degut a la imprecisió al prendre algunes dades. Molt probablement sigui l'acumulació d'errors en els diagrames de distribució, geometries d'admissió i d'escapament, on tot ells, han fet una geometria més conservadora que treballi millor en baixes rpm i pitjor a altes rpm.

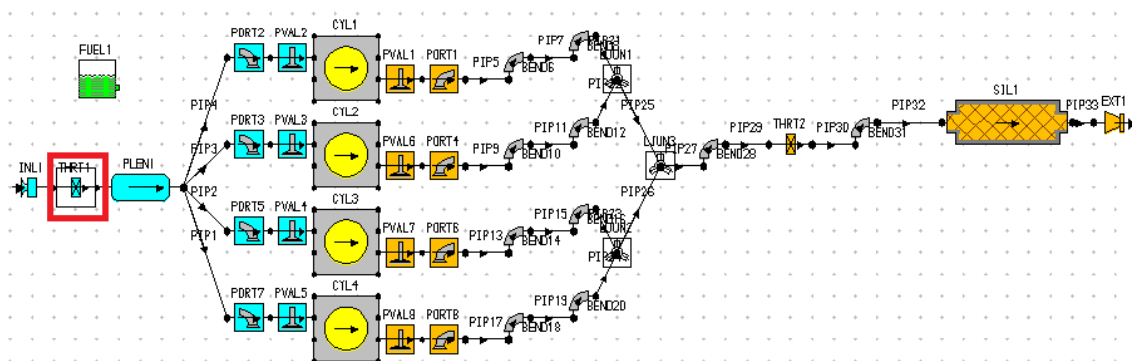
Finalment, veiem com la corba que dona el fabricant cau a partir de les 12500 rpm on obté la potència màxima, mentre que el model, segueix generant potència. Després de diferents canvis en la simulació per corroborar això, s'ha observat que aquest és un defecte típic, on en el model, el motor no disminueix la seva potència ni el seu parell en gran mesura per molt que augmentem de rpm, però que rebutgem en tots els casos per la experiència pròpia on

sabem que un motor d'aquestes característiques no pot seguir generant més potència a prop de les 13000 rpm.

En conclusió, podem donar per bones les dades adquirides del motor original (dades generals i de distribució), ja que el model és força semblant a les prestacions declarades per Yamaha.

### D.2.3 Yamaha FZ6 de sèrie amb restrictor de 20mm

Per tal de simular el motor de sèrie amb la restricció de 20mm que imposa la normativa i que ha d'anar entre el cos de la papallona i els col·lectors, hem modificat les dades del cos de l'accelerador que havíem inclòs abans per tal de simular el filtre:

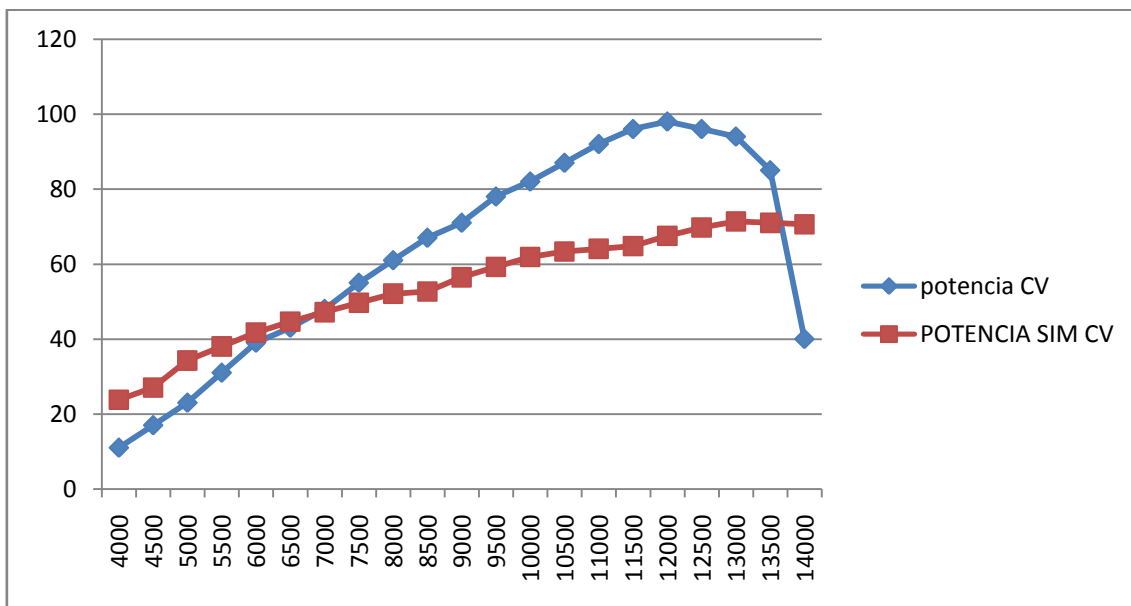


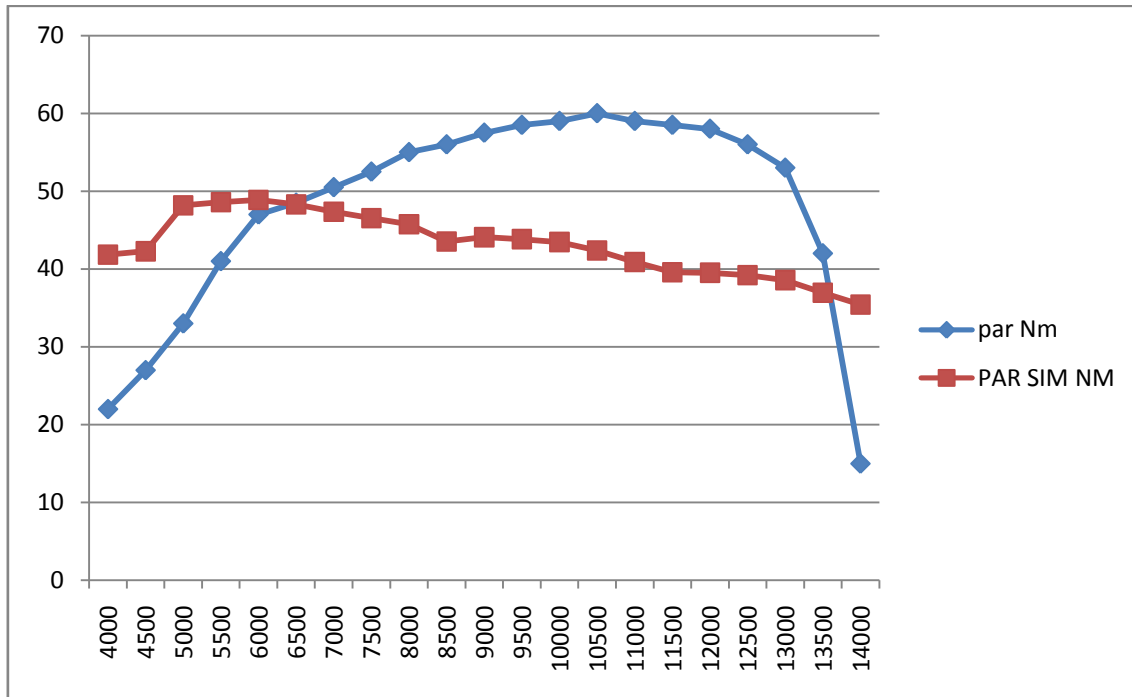
Label	default intake throttl
Throttle Type	Simple Area
Discharge Data Type	CF Fixed Value
Discharge Directionality	Common
Discharge CF	0,9500
Minimum C.S.A (mm <sup>2</sup> )	314,16
Equiv. Diameter (mm)	20,000
Harness Connector	Off

**FIGURA D.3** Modelat motor Yamaha FZ6 S2 amb restrictor de 20mm

Com veiem a la figura, hem posat un cos d'accelerador, completament obert (Throttle Type – Simple Area) amb un diàmetre equivalent de 20mm (Equiv.Diameter – 20mm) i un coeficient de descàrrega de 0,95, que segueix simulant la restricció del filtre d'aire.

Un cop modificades les dades, obtenim les següents corbes de potència i parell:

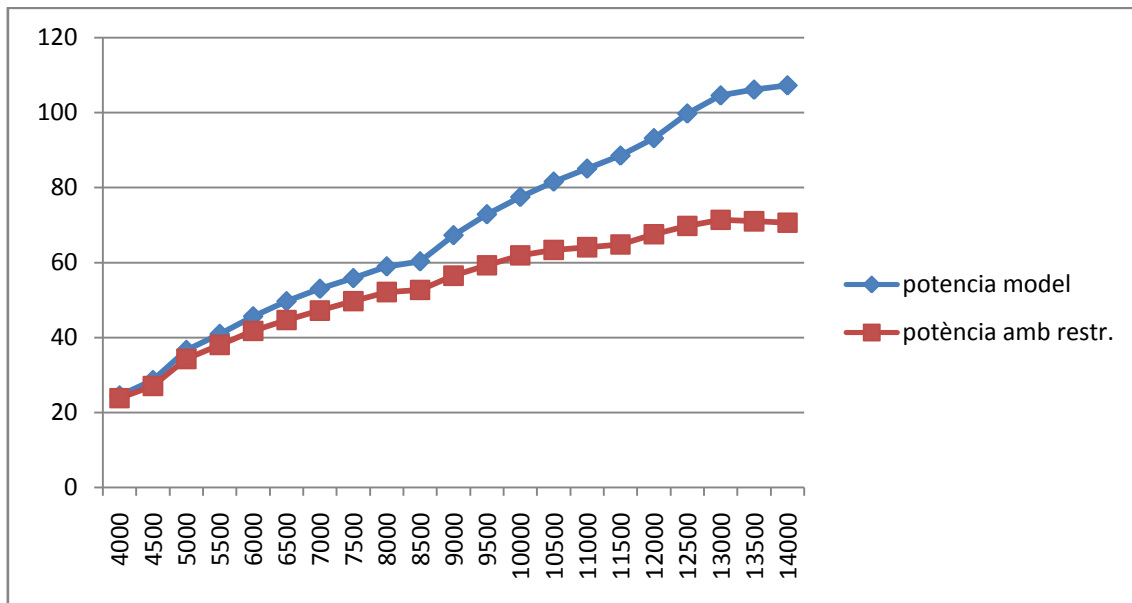




**TAULA D.2** Potència i parell motor amb restrictor de 20mm

Com veiem a les figures, i ha hagut una clara baixada de potència i parell a altes RPM, on comença a decreïxer considerablement a partir de les 7000 rpm. També observem com tot i la restricció, la potència i parell a baixes RPM segueix sent superior en el model amb restricció. Això és degut únicament a la restricció de 20mm que crea un tap a l'admissió a partir de certa velocitat del gas (1,4 Mach aproximadament) i per tant, per baixos cabals d'aire (baixes rpm), aquesta no afecta.

Si comparem la corba de potència del model sense restricció amb el model amb restricció podrem veure clarament com canvi la potència únicament amb la restricció:



**TAULA D.3** Comparació potència i parell motor de sèrie amb restrictor de 20mm

### D.2.4 Optimització del model amb la restricció de 20mm

Com s'ha vist al passat apartat, la restricció limitava considerablement la potència del motor, on aquesta no superava els 70cv de màxima. Sabem, per l'Annex B. *Elecció del motor de l'Eagle Force 1* que els motors de 4 cilindres de Formula Student tenien de mitjana un cop aplicada la restricció, una potència entre els 80 i 90cv, inclús alguns arribant als 100cv.

En aquest apartat es tractarà de canviar les geometries d'admissió i escapament per tal d'augmentar aquesta potència màxima i de millorar el comportament en règims mitjans, que és el que ens interessa pels circuits tant revirats de la competició.

Primer de tot, definim les variables a optimitzar:

ADMISSIÓ	
VARIABLE	VALORS
Diàmetre papallona	28,30 i 35mm
Diàmetre entrada del con del plenum	25,30 i 40mm
Diàmetre sortida del con del plenum	25,30,40,50 i 80mm

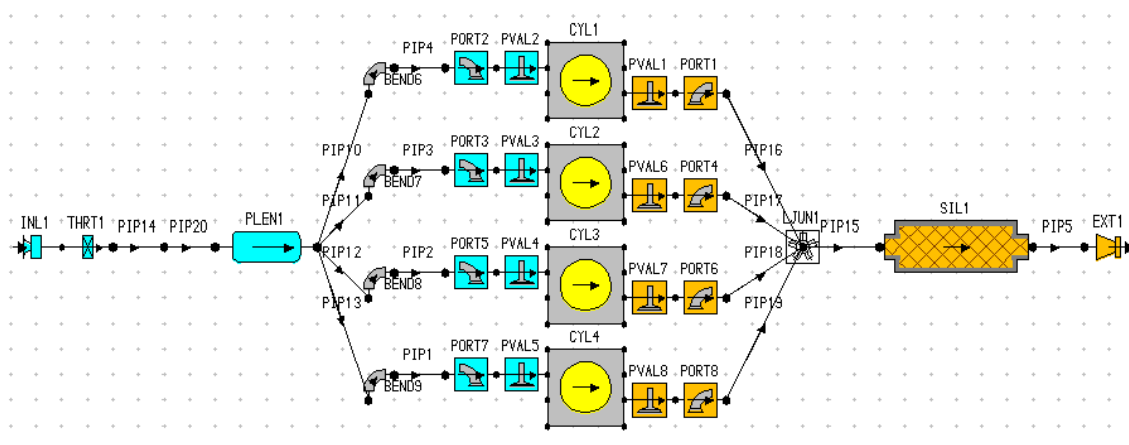
Volum del plenum	0, 1, 2, 3, 4 i 5L
Nombre de iteracions: 216	
ESCAPAMENT	
VARIABLE	VALORS
Configuració escapament	4-1 i 4-2-1
Longitud col·lectors amb 4-1	400 i 750mm
Longitud 2on tram amb 4-1	850 i 500mm
Longitud col·lectors amb 4-2-1	400 i 750mm
Longitud 2on tram amb 4-2-1	250, 350 i 600mm
Longitud intermig amb 4-2-1	250 i 600mm
Nombre de iteracions: 5	

**TAULA D.4** Nombre d'iteracions per a la simulació

Un cop definides les variables a optimitzar, s'han considerat les possibles combinacions que es poden simular. Degut al alt temps de càlcul per a cada simulació, i a la gran quantitat de simulacions, s'ha decidit fer les simulacions d'admissió i escapament per separat i simular només les simulacions amb teòricament millors resultats.

**D.2.4.1 Optimització del sistema d'admissió**

Per tal d'optimitzar el sistema d'admissió, s'ha fixat la geometria d'escapament amb una geometria senzilla per tal de reduir el temps de càlcul i s'ha anat variant la geometria de l'admissió. El model a optimitzar és el següent:



**FIGURA D.4** Modelat motor Formula Student

Com veiem a la figura, aquest ja compleix la normativa que exigeix la competició. Tenim el restrictor (PIP14) entre el cos de l'accelerador (THRT1) i la resta del sistema d'admissió. També veiem com el sistema d'escapament s'ha reduït considerablement amb una unió 4-1 i sense corbes.

Un cop tenim el model, s'han fet les següents simulacions:

	VOLUM PLENUM	DIAM. PAPALLONA	DIAM. CON ENTRADA PLENUM	DIAM. CON EXPANSIÓ PLENUM
102	1.5	35	25	80
101	2	35	25	80
100	2	35	25	50
125	3	30	25	80
136	3	35	25	50
140	3	35	30	50
212	5	35	30	50
216	5	35	40	80

**TAULA D.5** Nombre d'iteracions per a la simulació d'admissió

Es pot observar com no s'ha considerat la possibilitat de posar una papallona de 28mm ni s'han posat combinacions on el diàmetre del con d'entrada al plenum és més gran que el con d'expansió al plenum. En el primer cas és degut a que es van fer unes proves al diagrama de flux amb una papallona de 28mm (que es poden veure a l'Annex C. *Adquisició de dades*) i aquesta restringia poc més que el propi restrictor, i s'ha decidit posar una papallona de més diàmetre per seguretat. En el segon cas, no s'han posat degut a que ens interessa que s'expandeixi l'aire al plenum, per tant, l'aire que entra interessa que ja vingui amb la direcció adient (expandit-se) per emplenar tot el volum.

Un cop fetes totes les simulacions, el resultat són els següents:





**TAULA D.6** Comparativa resultats simulació d'admissió

A la comparativa primerament observem com totes les combinacions tenen una potència inferior que el motor de sèrie sense restricció a règims de voltes elevats, tal i com ja s'ha demostrat a apartats anteriors, i que per molt que optimitzem la geometria, difícilment es pot arribar a unes prestacions superiors.

També es veu com a mesura que augmentem el volum del plenum, la potència en règim transitori (accelerant, com és el cas) augmenta lleugerament, sobretot a altes RPM (100, 101 i 102 baixa potència a altes RPM, i 212 i 216, superior a altes RPM).

Podem veure també, si comparem les corbes 101 i 125, com una papallona amb un diàmetre de 35mm treballa millor que una de 30mm en tots els règims. Això és degut probablement a que aquesta última ofereix una pèrdua de càrrega superior a la de 35mm, reduint la potència del motor.

Finalment, veiem que les corbes de potència que ofereixen resultats més satisfactoris són la 136 i 212. Aquesta última ofereix una mica més de potència entre 12000 i 13500 rpm però lleugerament inferior entre 10000 i 12000 rpm, un rang de RPM molt més utilitzat en un circuit revirat.

Per aquest motiu, i degut a que el volum del plenum serà inferior (menys pes, menys cost de fabricació i millor comportament en règim estacionari), ens decantem per la combinació 136.

Geometria d'admissió definitiva:

VOLUM PLENUM	DIAM. PAPALLONA	DIAM. CON ENTRADA PLENUM	DIAM. CON ENTRADA PLENUM
3	35	25	50

**TAULA D.7** Resultats d'admissió òptims

#### D.2.4.2 Optimització del sistema d'escapament

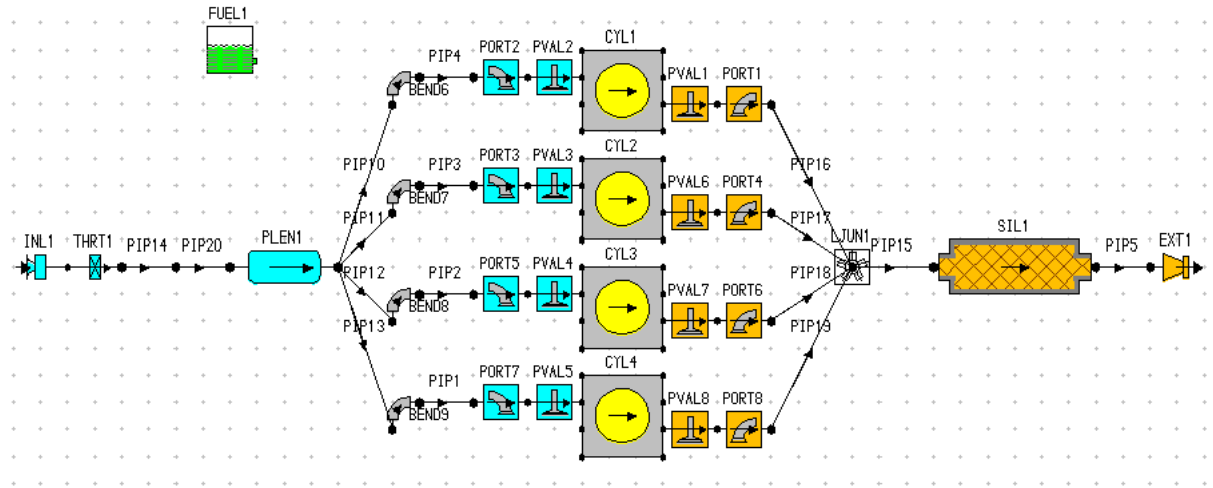
En aquest apartat es tractarà d'optimitzar el sistema d'escapament. S'ha partit del sistema d'admissió òptim calculat al passat apartat, ja que el considerarem com a definitiu.

En aquest cas, pel sistema d'escapament tenim les següents combinacions a simular:

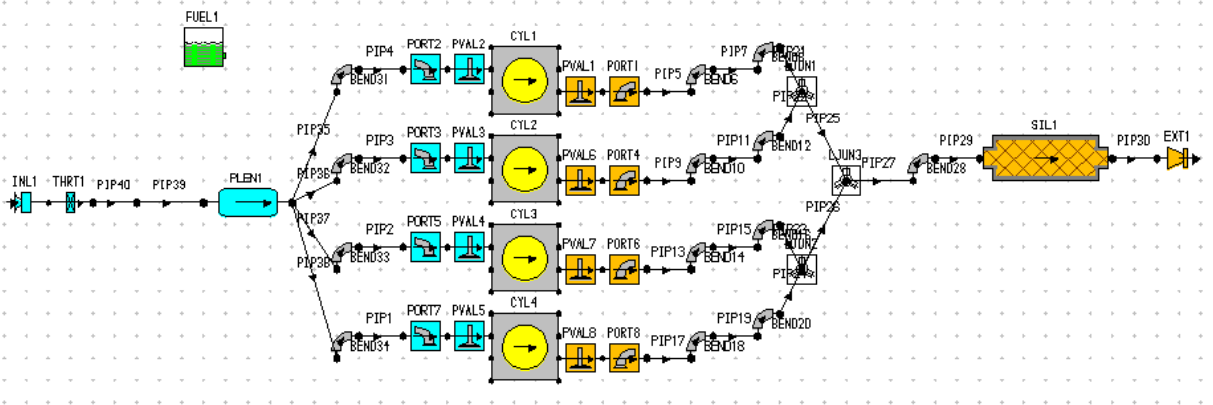
<b>4 en 1</b>			
<b>L coectors</b>	<b>2on tram</b>		
400	850		
750	500		
<b>4 en 2 en 1</b>			
<b>Lcoectors</b>	<b>2on tram</b>	<b>intermig</b>	
400	600	250	
400	250	600	
750	350	250	

**TAULA D.8** Combinacions a simular escapament

Com veiem, tenim dues configuracions d'escapament. En una tenim la unió 4-1 (de 4 col·lectors passem a 1) i la unió 4-2-1 (de 4 col·lectors passem a 2 i de 2 a 1). Per això, en aquest cas, s'han tingut que fer dos models:

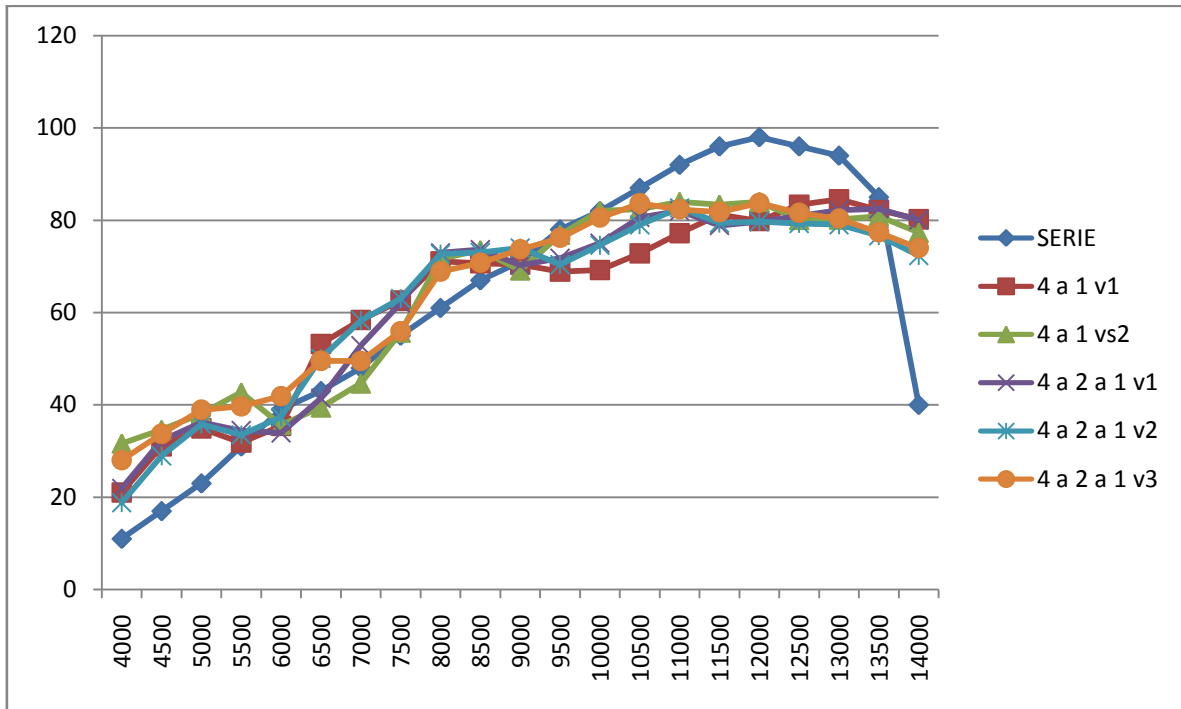


**FIGURA D.5** Modelat motor Formula Student amb unió 4-1



**FIGURA D.6** Modelat motor Formula Student amb unió 4-2-1

Un cop fetes totes les simulacions, el resultats són els següents:



**TAULA D.9** Comparativa resultats simulacions escapament

A la comparativa observem com els millors resultats són la combinació 4-1 amb el col·lector de 750mm, i la combinació 4-2-1 amb el col·lector de 750mm. Observem que aquestes dues combinacions tenen una clara avantatge a règims mitjans, això es degut, tal i com es parla a l'apartat d'escapament de la memòria, a les ones de xoc. Al ser un col·lector més llarg (750mm vs. 400mm), aquest escapament treballarà millor a mitjanes rpm. L'altre cas, el de 400mm, treballaria millor a altes rpm, però degut a que el restrictor d'admissió no permet que es treballi bé a altes rpm, aquesta combinació no valdria la pena.

També observem clarament com respecte les dues millors configuracions (4 a 1 amb 750mm de col·lector i 4-2-1 amb 750mm de col·lector), com la unió 4-2-1 té un millor comportament també a baixes rpm (entre 5000 i 7500 rpm), això és degut, tal i com s'ha parlat al capítol 3 de la memòria, que les unions 4-2-1 tenen un comportament molt més flexible, on les ones de xoc actuen per doble vegada (una per la primera unió 2-1 i l'altre per la darrera).

Vist això, la geometria òptima pel sistema d'escapament seria:

TIPUS D'UNIÓ	LONGITUD COL·LECTOR	LONGITUD INTERMITJA ENTRE UNIONS	LONGITUD 2ON TRAM
4-2-1	750mm	250mm	350mm

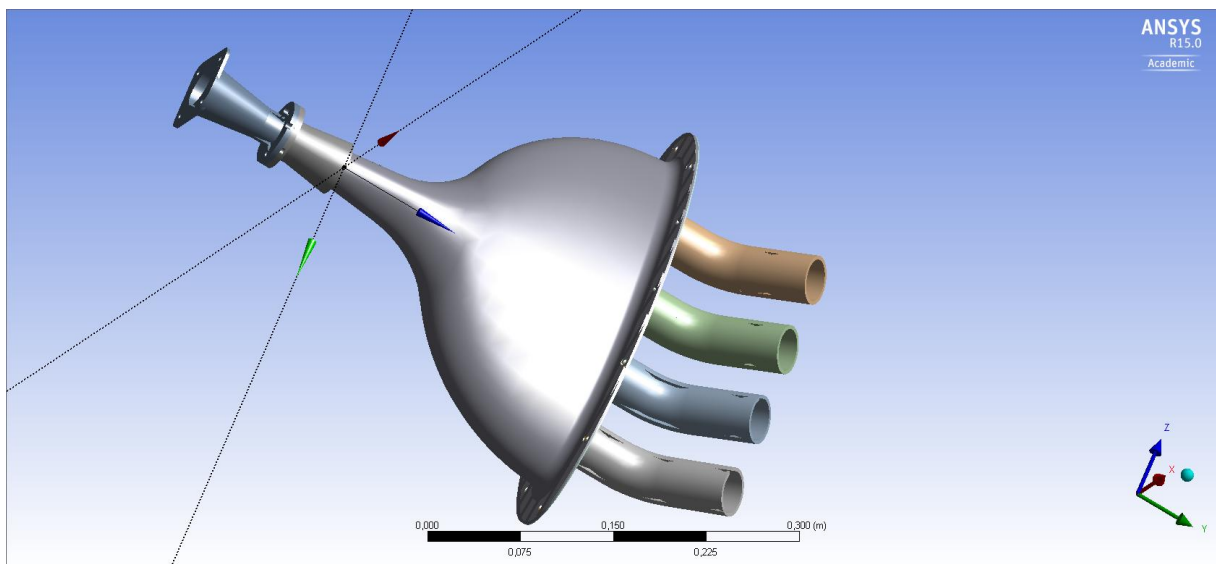
**TAULA D.10** Resultats simulacions escapament

Aquesta geometria, juntament amb la del sistema d'admissió tindriem un motor que rendiria una potència **màxima de 84cv a 10500 rpm i un parell de 60,5 Nm a 8000 rpm.**

### D.3 SIMULACIONS AMB ANSYS CFD

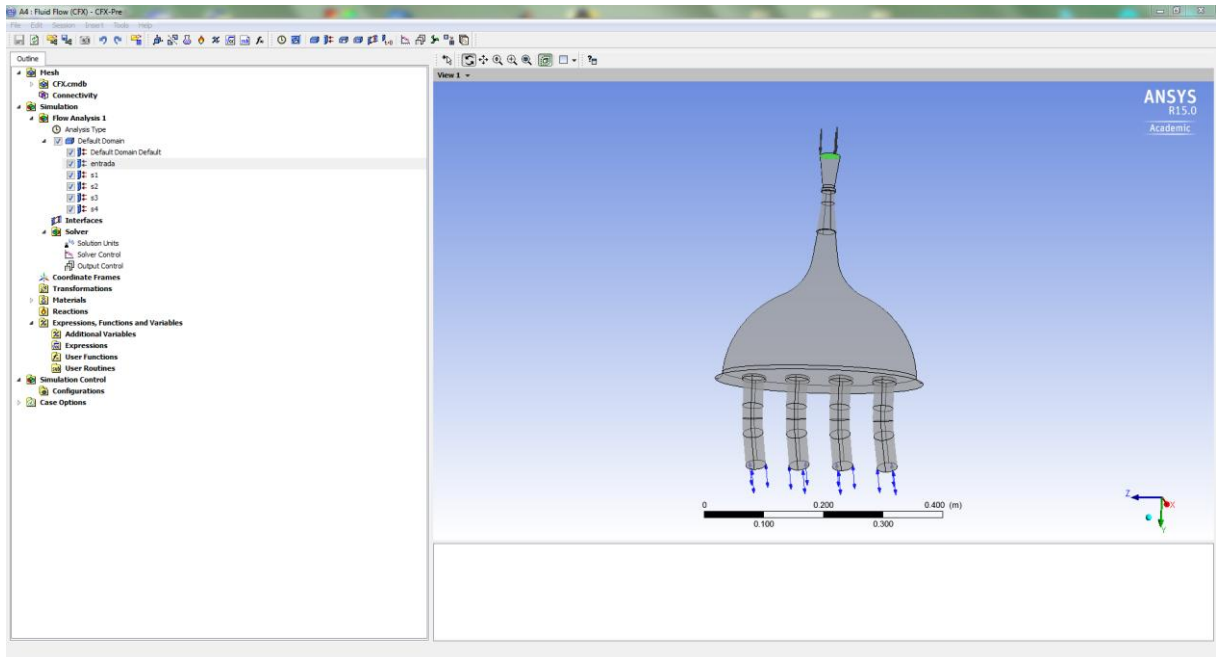
L'objectiu d'aquest apartat és el de analitzar mitjançant CFD el conjunt d'admissió per trobar quines mancances té el sistema, particularitats, i quines modificacions en el disseny es poden fer per millorar tot el sistema.

Primerament, s'ha carregat el model i s'ha adaptat per a la simulació:



**FIGURA D.7** Model admissió Ansys CFD

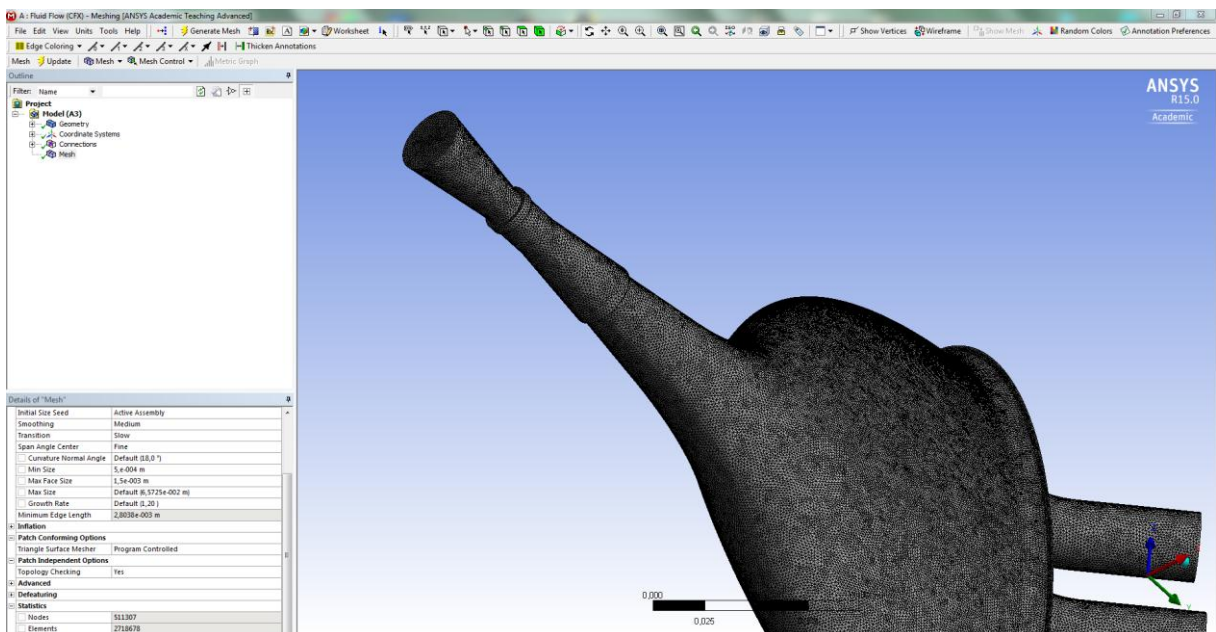
Un cop modelat, cal indicar per on entra l'aire i per on surt.



**FIGURA D.8** Entrada i sortides d'aire

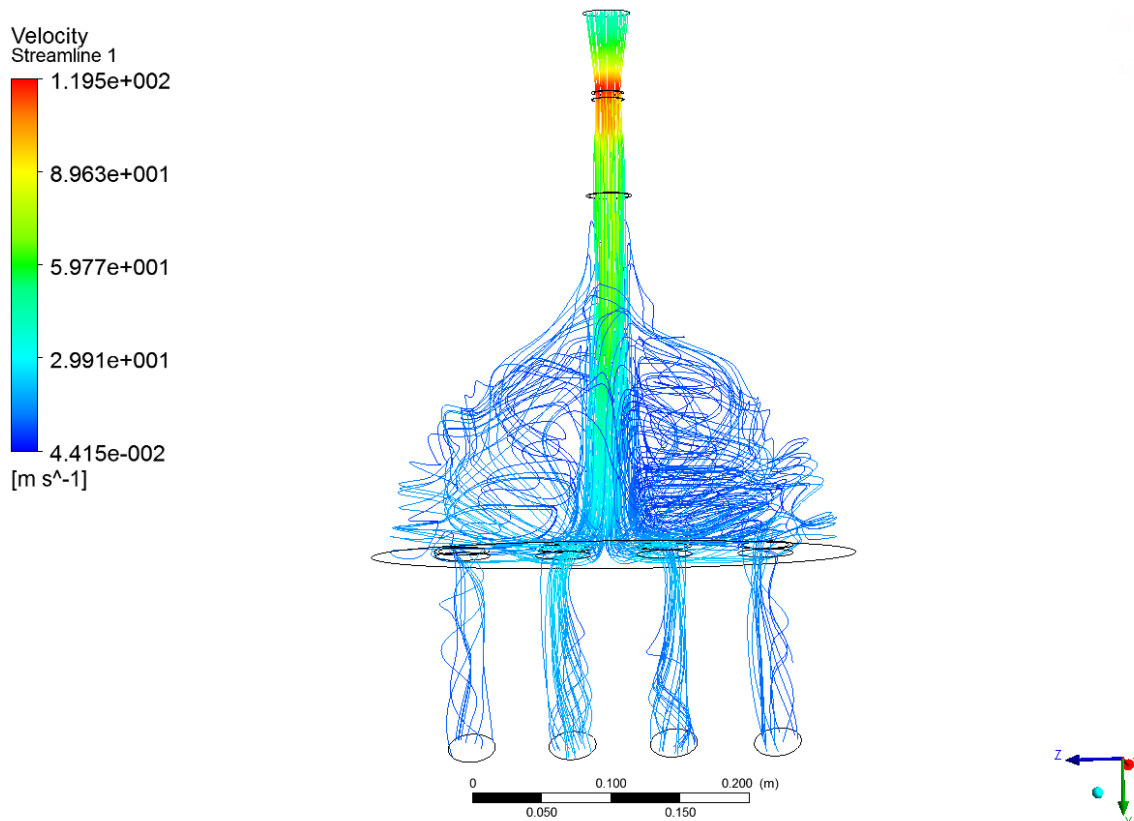
Cal dir que no s'ha considerat el model tal i com fa a la realitat. S'ha considerat que tot el flux entra pel restrictor, però que surt pels 4 col·lectors a l'hora. Això, a la realitat no és del tot així, ja que el motor admet aire de forma pulsant, és a dir, primer ho fa un cilindre i després ho fa un altre, no tots a l'hora. Tot i així, s'ha considerat que per buscar si la geometria del plenum és acceptable, era suficient.

Seguidament, malleu el conjunt:

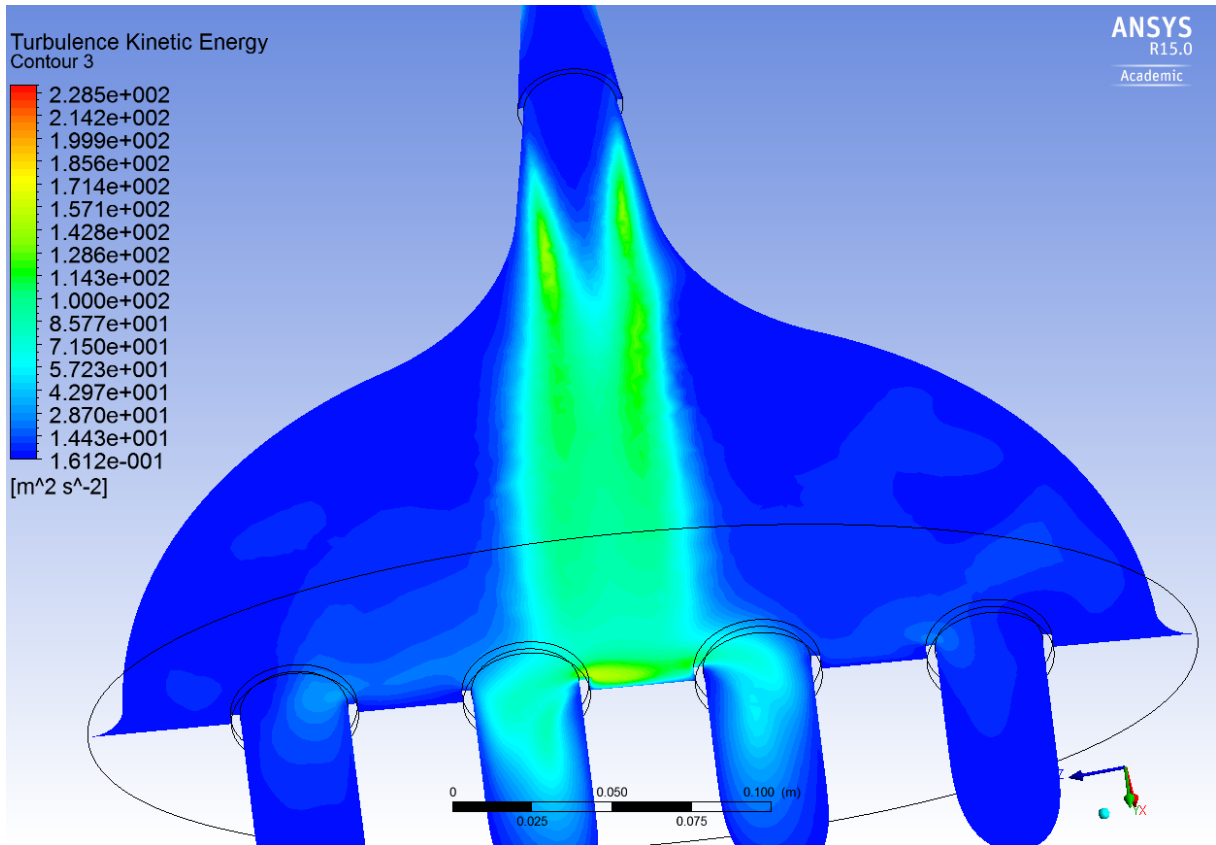


**FIGURA D.9** Mallat del conjunt

Un cop mallat, s'ha considerat que entra un cabal constant de  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ , l'equivalent a tenir un rendiment volumètric del 90% a 10500 rpm, on aconseguíem la potència màxima. Els resultats són els següents:

**FIGURA D.10** Línies de velocitat del gas d'admissió

Com veiem a la imatge, es creen moltes turbulències a dins del plenum. Aquest resultat és irrellevant, ja que com ja em dit, a la realitat el règim és pulsant, on d'aspiració en cada col·lector per separat guiaria l'aire cap a ell, exclouent-ho de les turbulències. També veiem com l'aire entra amb una velocitat propera als 120 m/s a prop del restrictor, on degut a aquesta gran velocitat, aquest aire xoca contra la paret de la xapa del plenum. Degut això, podem pensar que això genera una pèrdua d'energia en el gas, i com veiem a la figura:



**FIGURA D.11** Pèrdues d'energia del gas

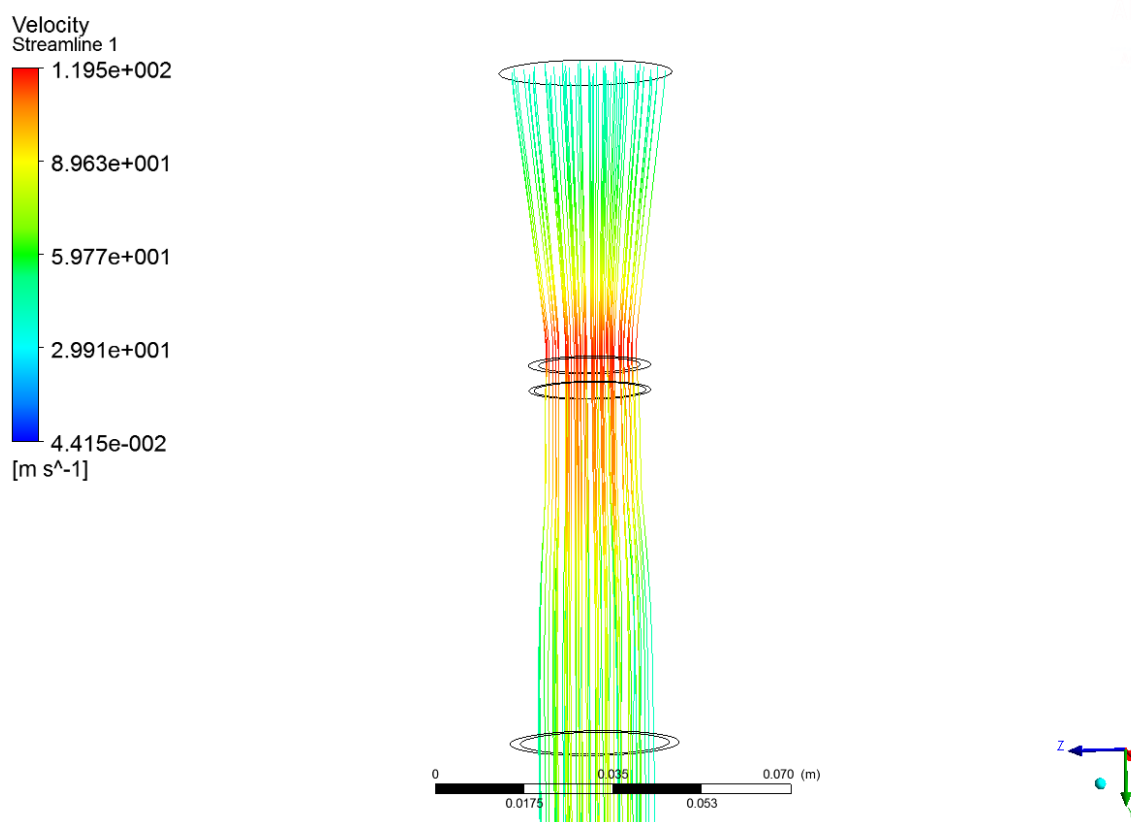
Com veiem a la figura, l'aire perd energia al xocar contra la xapa del plenum. Això és degut a que l'entrada als col·lectors es dona de manera massa sobtada, donant a aquesta pèrdua d'energia. Per solucionar-ho, decidim instal·lar unes trompetes d'admissió a la xapa del plenum que suavitzaran l'entrada d'aire als col·lectors degut a la major superfície i continuïtat del cantell:





**FIGURA D12.** Trompeta admissió

Finalment, observem també com es compleix la llei de continuïtat, on a la zona del restrictor, és on obtenim les velocitats més altes d'aire:



**FIGURA D13.** Velocitat del gas