



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **ESTUDIO DE MODELIZACIÓN Y DE CONCEPCIÓN DE LA UNIDAD DE POTENCIA DE UN PROTOTIPO DE COMBUSTIÓN INTERNA FSAE**

AUTOR: BATISTE VIDAL VIDAL

TUTOR: ANTONIO SANCHIS SABATER

**Curso Académico: 2018-19**

Version 30 Junio 2019

# Agradecimientos

Dar las gracias a los compañeros del EPSA que han participado en el desarrollo del proyecto Optimus: los alumnos en primer curso de l'Ecole Centrale de Lyon que han dado su apoyo a la concepción del vehículo, a mis compañeros del departamento de Motorización: Ludovic DE SOUZA BEGHIN, Clément EMERIQUE y Mathieu PINAY por sus conocimientos y ayuda, a los compañeros de los otros departamentos y a los compañeros del tercer curso, con una mención especial a Aurélien BIENNER, Antoine MAROS, Arthur PERDEREAU, Guillaume TOUZÉ, Antoine ELAIN, Benjamin DELALANDE, Brice ROBLOT, Guillaume TSILEFSKI et Jacques MOULIN que nos han ayudado y gracias a su experiencia han aconsejado muy bien el proyecto Optimus.

Agradecer también a Nicolas GAMEIRO y a Maxime PRORIOL, los directores del proyecto, por haber mantenido la calma en todo momento. Han sabido motivar y dirigir el proyecto durante este año.

Dar las gracias a mi tutor en l'Ecole Centrale de Lyon, Patrick SERRAFERO, promotor de la mecánica de competición a Ecole Centrale de Lyon desde que creó el EPSA y que ha permitido que este año el proyecto sea llevado a cabo por 3 generaciones, la primera vez para el equipo. Ésto permitirá a los alumnos del primer curso empezar más rápidamente su proyecto Invictus, gracias a la experiencia y conocimientos que los alumnos de segundo curso y tercer curso les hemos transmitido.

Dar las gracias a Laurent BLANC, que ha aconsejado al departamento de motorización durante todo el año. Gracias igualmente a Béatrice CHERVET y a Isabelle TIXIER que se han ocupado de todos los pedidos del proyecto.

Dar las gracias a los socios del proyecto, los alumnos de los institutos La Giraudière, Boisard, La Mache y el lycée automobile Émile Béjuit. Un año más, han aportado un trabajo excepcional produciendo piezas de una gran calidad.

Dar las gracias también a los profesores de l'Ecole Centrale de Lyon: Paul Clozel, Christophe Janolin, Bertrand Houx, Didier Roux y Lionel Charles, por su ayuda y su implicación en el proyecto.

Dar las gracias a los sponsors del proyecto: TOTAL, Alten, AlpenTech... Han sido el apoyo financiero que ha hecho posible el proyecto.

Para finalizar, dar las gracias al director de l'Ecole Centrale de Lyon M. Debouck. A Mme. Galland y al equipo financiero de l'ECL que han creído en este vehículo en el que he participado.

# Resumen

El prototipo FSAE de la temporada 2019 (Optimus), realizado por el EPSA (Ecurie Piston Sport Auto), que incluye 37 proyectos de alumnos de primer y segundo año de l'Ecole Centrale de Lyon divididos en 4 departamentos. Este proyecto está centrado en la concepción detallada, la fabricación y la integración del sistema motor del vehículo, compuesto por: la admisión de aire, el circuito de gasolina, el circuito de refrigeración, el sistema de escape y la transmisión de potencia. Con un interés principal en el estudio de la combustión interna del motor, así como el consumo y el caudal necesario de combustible de éste.



# Abstract

The prototype FSAE of the 2019 season (Optimus), made by the EPSA (Ecurie Piston Sport Auto), which includes 37 projects of first and second year students of l'Ecole Centrale de Lyon divided into 4 departments. This project focuses on the detailed design, manufacture and integration of the motor system of the vehicle, consisting of: air intake, the gasoline circuit, the cooling circuit, the exhaust system and the power transmission. With a main interest in the study of the internal combustion of the engine, as well as the consumption and the necessary flow of fuel of the engine.

# Contents

<b>Chapitre 1 : Organización y objetivos del proyecto Optimus</b>	8
1.1 La Formula Student .....	8
1.1.1 Reparto de los puntos .....	9
1.2 Gestión del proyecto .....	9
1.2.1 Presentación del equipo .....	10
1.2.2 Objetivos.....	10
1.2.3 Presupuesto .....	12
1.2.4 Community mánager.....	12
<b>Chapitre 2 : Fase de estudio y de concepción</b>	14
2.1 Objetivos técnicos.....	14
2.2 Líneas generales del departamento de motorización .....	14
2.2.1 Responsabilidad del departamento .....	14
2.2.2 Especificaciones generales del departamento de motorización .....	15
2.2.3 Concepción de los subsistemas del departamento de motorización ....	16
2.2.4 Balance de la motorización de Optimus .....	28
<b>Chapitre 3 : Fase de fabricación</b>	29
3.1 Corte por láser .....	29
3.2 Fabricación .....	29
3.3 Verificación de piezas .....	30
<b>Chapitre 4 : Fase de integración</b>	32
4.1 Organización de la integración .....	32
4.2 Integración de las primeras piezas del departamento de motorización .....	33
4.3 Dificultades durante la integración .....	36
4.3.1 Circuito de gasolina .....	36
Annexes	39
.1 Fechas provisionales de los TOPs.....	40

# List of Figures

1.1	Foto de los equipos presentes en el FS Italy. . . . .	8
1.2	Diagrama de repartición de los puntos entre las diferentes pruebas . . . . .	9
1.3	Especificaciones técnicas del vehículo Optimus . . . . .	11
1.4	Foto de la plataforma pedagógica . . . . .	12
1.5	Página Instagram de l'EPSA, creada a finales de 2017 . . . . .	13
2.1	Especificaciones generales del departamento de motorización . . . . .	15
2.2	Arquitectura del circuito de gasolina . . . . .	16
2.3	Tubo de llenado [FSG Rules] . . . . .	17
2.4	Efecto de la fuerza centrífuga en el depósito . . . . .	17
2.5	Filtro de gasolina . . . . .	17
2.6	Bomba de gasolina FP601 Walbro . . . . .	18
2.7	Regulador de presión Sysc . . . . .	18
2.8	Rampa de inyección Honda CBR 600RR PC40 . . . . .	18
2.9	Especificaciones técnicas del circuito de gasolina . . . . .	19
2.10	Ciclo motor 4 tiempos . . . . .	20
2.11	Resumen del cálculo del caudal máximo de gasolina . . . . .	21
2.12	Resumen del cálculo del caudal máximo de gasolina . . . . .	21
2.13	Volumen del del circuito de combustible de los vehículos anteriores . . . . .	22
2.14	Cartografía del motor CBR600RR del vehículo Optimus . . . . .	22
2.15	Cálculo del volumen con los datos de la cartografía . . . . .	23
2.16	Tubo de llenado de Vulcanix (temporada 2017/2018) . . . . .	24
2.17	Planos del depósito . . . . .	25
2.18	Válvula mariposa . . . . .	25
2.19	Colector del escape de <b>Optimus</b> . . . . .	26
2.20	Circuito de refrigeración integrado en el chasis de Optimus . . . . .	27
2.21	Transmisión secundaria . . . . .	27
2.22	Motorización integrada al vehículo Optimus . . . . .	28
3.1	Ejemplo de piezas cortadas con láser . . . . .	29
3.2	Ejemplo de piezas fabricadas en La Mache . . . . .	30
3.3	Verificación de las medidas de nuestras piezas . . . . .	30
3.4	Verificación de nuestras piezas . . . . .	31
4.1	Organización del garaje de Bron . . . . .	32
4.2	Kit de montaje del vehículo Optimus . . . . .	33
4.3	Organización de la fase de integración . . . . .	33
4.4	Soldadura de las fijaciones del motor sobre el chasis . . . . .	34
4.5	Admisión de aire montada . . . . .	34
4.6	Motorización integrada en el vehículo Optimus . . . . .	35
4.7	Optimus, vehículo de la École Centrale de Lyon . . . . .	35
4.8	Comparación entre la distancia real y la distancia en la maqueta de Catia V5 . . . . .	36
9	Fechas provisionales de los TOPs(fase descendiente). . . . .	40
10	Fechas provisionales de los TOPs(fase ascendente). . . . .	40

# List of Tables

1.1	Resultados esperados del vehículo Optimus por el equipo . . . . .	11
-----	---	----

# Introducción

Cada año, l'Écurie Piston Sport Auto propone diferentes trabajos a los alumnos de l'Ecole Centrale de Lyon con el objetivo de fabricar un vehículo para participar en la Formula Student.

La concepción del vehículo de esta temporada, Optimus, empezó el año pasado. Este año se ha realizado la concepción detallada, la fabricación y la integración del nuevo vehículo con la contribución de los alumnos de primer año miembros del EPSA. Con este trabajo intergeneracional el equipo evoluciona año tras año.

El equipo ha terminado la fase de concepción entre septiembre y diciembre, realizando una maqueta digital de todo el vehículo, para después subir el ciclo en V. Esta etapa es la fase de producción y de integración del vehículo. Después se realizó la presentación del vehículo en la escuela el 10 de abril.

En estos momentos el vehículo se encuentra en la período de tests, reglajes y optimización del vehículo antes de las competiciones de la Formula Student Netherland (FSN), del 7 al 11 de julio, y de la Formula Student Italy (FS ATA), del 24 al 28 de julio.

El objetivo de este vehículo es de acabar en el Top 5.

Este trabajo presenta en el primer capítulo los elementos de contexto para explicar la dimensión del proyecto global y mi integración a éste. En el segundo capítulo, la presentación del departamento de motorización en el cual se integra mi trabajo del estudio de la combustión interna del motor, así como el consumo y el caudal necesario de combustible de éste. En el tercer capítulo, la fabricación del vehículo y más en concreto: el circuito de gasolina. Y en el cuarto capítulo, el ensamblaje del vehículo y en más detalle: el ensamblaje del circuito de gasolina.

# Chapter 1

## Organización y objetivos del proyecto Optimus

### 1.1 La Formula Student



Figure 1.1: Foto de los equipos presentes en el FS Italy.

Este año, he participado a la concepción y la integración del sistema motor de **Optimus**. Voy a describir el contenido de las pruebas de la Formula Student. De hecho, para poder realizar el objetivo que es de hacer Top 5 en las competiciones, el equipo tiene que entender y respetar los criterios de las diferentes pruebas para conseguir el máximo de puntos que son los que determinan la clasificación final. Las pruebas de la competición son las siguientes :

#### Pruebas estáticas

- **Technical Inspection** : Esta prueba no concede ningún punto pero sin su realización, un vehículo no puede participar en la competición. El jurado verifica las diferentes partes del vehículo siguiendo el reglamento [3]: Se realiza una verificación de los elementos mecánicos y eléctricos del coche, seguida del Tilt Test, para verificar que el vehículo no tiene fugas de líquidos. Finalmente, se realizan los controles de funcionamiento de corto-circuitos, de los frenos y del volumen sonoro producidos por el vehículo.

- **Cost and manufacturing** : Se debe realizar y presentar un documento delante de un jurado para justificar los costes de fabricación del vehículo producido a 1000 unidades. Se realiza un debate, seguido de una puesta en situación.
- **Business event** : Es una presentación oral que tiene como objetivo vender el vehículo a inversores ficticios. Esta prueba evalúa las competencias de márketing del equipo.
- **Design event** : Esta prueba tiene como objetivo evaluar "la historia del proyecto". Los jueces tratan de determinar cómo el vehículo ha sido concebido. La elección de los conceptos, de la arquitectura y la técnica utilizadas son justificadas durante esta prueba.

### Pruebas dinámicas

- **La prueba de aceleración** : Es una prueba de arranque y frenado de 75m en línea recta. Con el objetivo de determinar la aceleración del vehículo.
- **La prueba del Skid-Pad** : El vehículo debe realizar una vuelta al círculo de 16.75m de diámetro en un sentido y después en el otro. Esta prueba sirve para medir la conducción en curva.
- **La prueba del Autocross** : El piloto debe realizar una vuelta a un circuito que contiene: slaloms, chicanes, horquillas... Este circuito mide cerca de 1km y la velocidad media es de 50 km/h. Esta prueba combina la aceleración, el frenado y la manejabilidad.
- **La prueba de resistencia** : Se pone a prueba la resistencia y la fiabilidad del vehículo. Un dúo de dos pilotos debe realizar una distancia de 22km en el circuito de Autocross (entre 20 y 25 vueltas aproximadamente). El relevo se realiza a mitad de la prueba.
- **La prueba de eficiencia** : Durante la prueba de resistencia, se mide el consumo de gasolina. Los vehículos con el menor consumo son recompensados.

#### 1.1.1 Reparto de los puntos

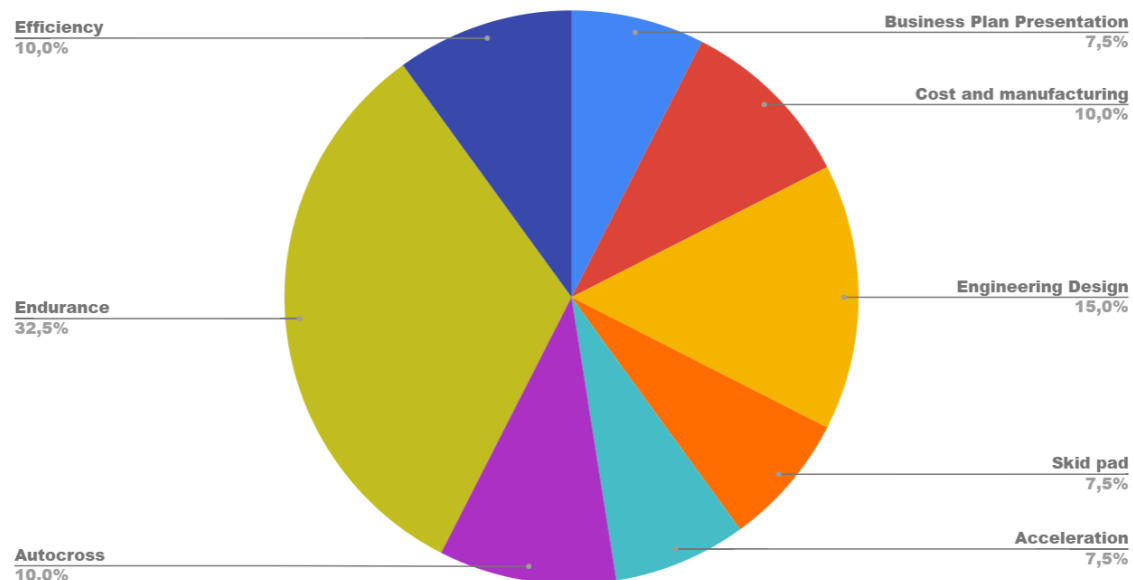


Figure 1.2: Diagrama de repartición de los puntos entre las diferentes pruebas

## 1.2 Gestión del proyecto

Éste año, el grupo está formado por un equipo de 15 alumnos de segundo curso, 22 alumnos de primer curso 9 alumnos de tercer curso

### 1.2.1 Presentación del equipo

El equipo está formado por 15 estudiantes de segundo curso de École Centrale de Lyon, repartidos en 4 departamentos:

- Departamento de contacto con el suelo
- Departamento de electrónica
- Departamento de chasis y de la aerodinámica.
- Departamento de motorización

Cada departamento posee un director el cual es el intermediario principal entre el equipo y la dirección. El equipo de dirección está formado por el **director proyecto** y el **director técnico** durante el período de concepción y del **director logístico, del director financiero, del director de la integración** y el **director de los tests** durante el período de subida del ciclo en V.

Este trabajo ha sido encomendado por el departamento de motorización, donde he desarrollado mi estudio de manera individual pero al mismo tiempo he tenido que me coordinar tanto con mis compañeros de departamento como con mis compañeros de los otros departamentos que están en contacto con el sistema motor, y más en concreto con el circuito de gasolina

Además para la fase de fabricación y de integración hemos contado con la ayuda de 22 alumnos del primer curso que hacen parte del proyecto general.

La ayuda de éstos nos ha permitido avanzar más rápidamente en el proyecto. Además su presencia en el proyecto actual ha permitido transmitirles nuestros conocimientos para que, a su vez, ellos puedan realizar su proyecto la temporada que viene.

### 1.2.2 Objetivos

Al inicio del proyecto, el equipo definió los objetivos del vehículo Optimus en las competiciones, es decir, el puesto final en el que equipo estima acabar después de la repartición de puntos en las diferentes pruebas.

#### Elección de las competiciones

Había que decidir en qué competiciones iba a participar el vehículo. Las competiciones se separan principalmente en dos categorías: las competiciones de alto nivel (FS UK y FS Germany) y las competiciones de nivel más asequible (todas las otras competiciones como el FS ATA o el FS Netherlands). Los criterios de elección fueron los siguientes: el rigor de la competición, la dificultad de la competición, la distancia con respecto a Francia, las fechas de la competición, etc.

Se ha elegido el FS ATA, ya que la organización y el desarrollo de la competición es conocido por el equipo. Y este año, por primera vez, el equipo participará en una segunda competición en Holanda, el FSN. Las dos competiciones siguen el reglamento del FS Germany, por lo que la documentación necesaria para participar tiene el mismo formato.

#### Resultados provisionales

Una vez elegido las competiciones, el equipo, después de un estudio de la competencia, ha definido la posición en la que estima acabar: el TOP 5. Con esta elección, el equipo ha estimado la repartición de puntos en cada prueba (tabla 1.1). Aunque se ha estimado el resultado exacto, lo más importante es la comparación con el top 15, 10 y 5, y con respecto a los vehículos precedentes. Como sólo acaban la prueba de resistencia una decena de equipos, acabar la prueba de resistencia asegura de manera casi sistemática una buena clasificación. Es importante recordar que realizar un top 5 en la clasificación final no significa realizar un top 5 en cada prueba.



Con respecto a las pruebas estáticas, los resultados esperados son los mismos que los ya obtenidos por el equipo, excepto para el Design donde el equipo espera una puntuación un poco más elevada que los años anteriores. Para obtener este resultado, el equipo tiene que ser capaz de justificar delante de un jurado, todas las decisiones de concepción tomadas y presentar un **vehículo homogéneo**. Para las pruebas dinámicas, las puntuaciones esperadas siguen estando en los mismos órdenes de magnitud que los años anteriores. La única diferencia se encuentra en la prueba de resistencia, donde el equipo espera terminar con un tiempo respetable.

Epreuve	Meilleurs résultats	Prévision	Barème
Cost Event	86.9/100 Olympix	85	100
Business Event	63/75 Atomix v1.0	50	75
Design Event	106/150 Dynamix v1.0	85	150
Skid Pad	45/75 Kinétix	40	75
Accélération	60/100 Dynamix v2.0	75	100
Autocross	41/125 Atomix v2.0	55	125
Endurance	160/275 Dynamix v2.0	175	275
Efficiency	6/100 Atomix v1.0	10	100
Total Brut	480/1000 Dynamix v2.0	575	1000

Table 1.1: Resultados esperados del vehículo Optimus por el equipo

Esta primera repartición de puntos ha permitido establecer las líneas generales del proyecto. Para empezar, acabar la prueba de resistencia con un vehículo fiable (que ha tenido muchas horas de test), que pueda responder a las posibles averías (tener a mano un plan B). Además, se busca no tener grandes diferencias entre la complejidad de las piezas: por ejemplo, por un lado, una pieza muy pesada pero que es fácil de fabricar y del otro lado, una pieza muy ligera pero mucho más difícil de fabricar.

### Definición de las especificaciones generales del vehículo

Una vez estimadas las puntuaciones, el equipo ha podido definir las especificaciones del vehículo global (Figura 1.3). A partir de estas especificaciones generales, se han generado las especificaciones de los diferentes sistemas y subsistemas.

Fonction principale	Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
FP1 : Respecter le réglements FSG 2019	FC1 : Respecter les exigences techniques	Nombre de place	1	/
		Nombre de roue	4	/
	FC2 : Passer l'épreuve du Tilt test	Hauteur centre de gravité	300 mm	10%
	FC3 : Passer l'épreuve du Nosie test	Bruit à la sortie de l'échappement	103 dB	maximum
	FC4 : Passer l'épreuve du brake test	Nombre de roue à bloquer en même temps	4	/
FP2 : Faire un TOP 5 au FS ATA	FP1 : Réaliser 4.1 secondes à l'épreuve d'accélération	Masse	220 kg	10%
		Empattement	1525	10%
		Répartition masse avant/arrière	45/55	5%
		Voie	1225	/
	FP4 : Réaliser 10 points à l'épreuve d'efficiency	Consommation	15L/100km	10%
	FP5 : Réaliser 1820 secondes à l'épreuve d'endurance	Volume réservoir	4L	10%

Figure 1.3: Especificaciones técnicas del vehículo Optimus

Para poder capitalizar nuestros conocimientos y los conocimientos de los años anteriores, realizamos articulos en nuestra plataforma pedagógica: EPSABox [1].

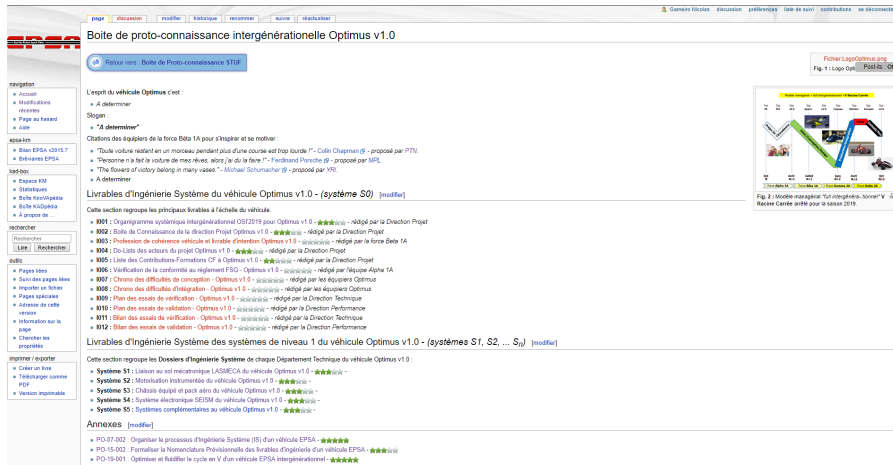


Figure 1.4: Foto de la plataforma pedagógica

### 1.2.3 Presupuesto

Cada año, el EPSA utiliza un presupuesto total de unos 150 000€ repartidos entre los diferentes socios para la fabricación de las piezas y los pedidos con nuestros proveedores. Este presupuesto viene únicamente de nuestros sponsors. Pero los miembros del equipo intentan obtener reducciones en nuestros pedidos. Ésto también representa un trabajo importante, pero que no es tan reconocido como el trabajo técnico realizado sobre el vehículo.

Para ocuparse del presupuesto, el equipo cuenta con un director financiero, que pone en contacto los alumnos que quieren pedir piezas y la administración de la universidad, para que la administración dé el visto bueno. También se encarga de la repartición del presupuesto entre los diferentes departamentos.

### 1.2.4 Community mánager

Otra parte poco reconocida al Epsa es la comunicación hacia el exterior, indispensable para aportar visibilidad a nuestros sponsors. Este año, el equipo ha continuado a desarrollar este punto, con un newsletter mensual enviado a cada sponsor, las publicaciones en redes sociales (Facebook, Twitter, LinkedIn e Instagram) y los correos electrónicos para proponer a las empresas ser nuestros sponsors.

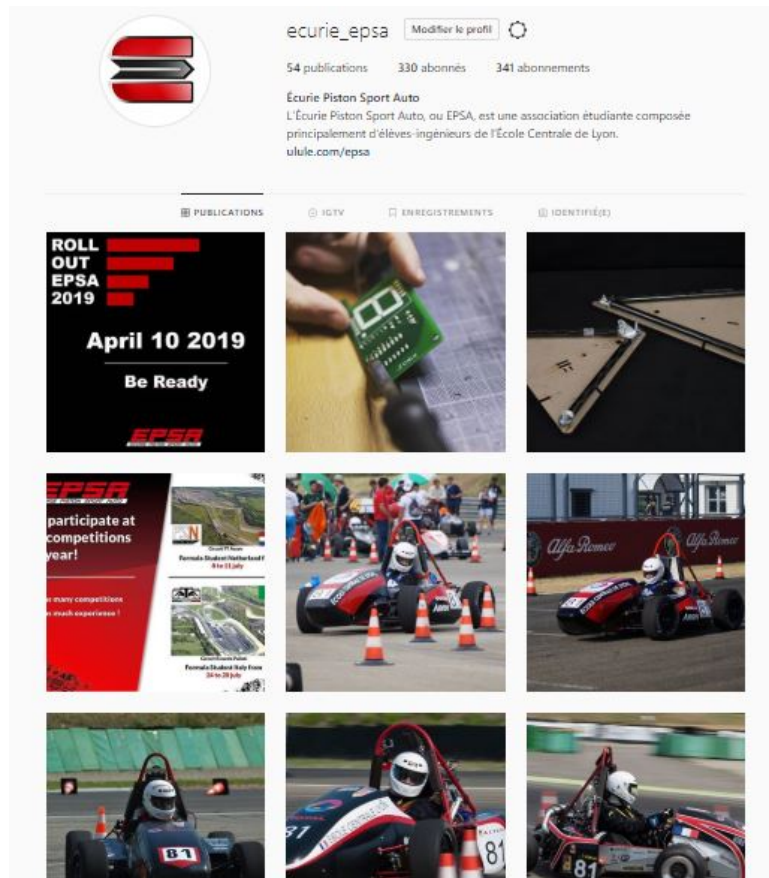


Figure 1.5: Página Instagram de l'EPSA, creada a finales de 2017

## Chapter 2

# Fase de estudio y concepción del departamento de motorización

## 2.1 Objetivos técnicos

El objetivo de este trabajo es el de optimizar el consumo de gasolina del vehículo Optimus de la temporada 2018/2019.

## 2.2 Líneas generales del departamento de motorización

### 2.2.1 Responsabilidad del departamento

El departamento de **motorización** está encargado de la concepción del conjunto de sistemas en relación al motor y a la transmisión de potencia del vehículo. La primera etapa es la de elegir un motor. Después, se tiene que equipar con los diferentes subsistemas :

- **Admisión de aire** : el objetivo de este subsistema es doble. Por un lado tiene que regular la cantidad de aire que entra en el motor según lo solicitado por el piloto desde el pedal de aceleración. Por otro lado, maximizar la cantidad de aire entrante en el motor en plena carga (Caudal de aire máximo).

El sistema de admisión se divide en dos partes: la válvula del acelerador y el plénium.

- La válvula del acelerador, tiene como objetivo variar el flujo de aire hacia el motor según las necesidades del piloto.
- El plénium, tiene como objetivo tener a disponible una gran cantidad de aire para que el motor no cale en los procesos transitorios, como las aceleraciones o las deceleraciones.
- **Escape** : este subsistema se encarga de colectar y evacuar los gases escape.
- **Refrigeración** : el objetivo de este sistema es mantener la temperatura del motor a una temperatura óptima para que no se deteriore por sobrecalentamiento
- **Transmisión secundaria** : del eje del motor al eje de las ruedas, este subsistema permite transmitir la potencia del motor a las ruedas, permitiendo al coche tener una buena dinámica en curva cuando las ruedas interiores y exteriores no tienen la misma velocidad de rotación
- **Circuito de gasolina** : dimensionado desde el depósito hasta los inyectores, el principal objetivo de este subsistema es el de subministrar la cantidad de gasolina requerida por el motor en cada momento.

Después de esta descripción general se han determinado las especificaciones generales para el departamento, de donde se han basado las especificaciones para cada subsistema.

## 2.2.2 Especificaciones generales del departamento de motorización

Las **especificaciones funcionales del departamento de motorización** han sido establecidas por el equipo a finales del año pasado dentro de la primera etapa del ciclo en V : el análisis de necesidades. Ha sido realizado a partir de los objetivos generales del vehículo Optimus. Los criterios que se han valorizado son los siguientes :

- conseguir un vehículo ligero : masa total < 210kg
- tener un vehículo fiable y con una buena puesta a punto.

Este último objetivo implica finalizar el vehículo pronto (finales de marzo 2019) para tener un largo período de tests antes de las competiciones de julio 2019.

Finalmente se han redactado las especificaciones técnicas, como se puede ver en la figura 2.1. Para cuantificarlo, se debe elegir el motor, que influye por una parte, en la masa total del vehículo y por otra parte, en el rendimiento que vamos a obtener.

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilités	Articles règlement
<b>FT1 : Propulser la voiture</b>				
FT1-1 : Optimiser les performances Optimus	Etre léger	< 85 kg	5 kg	/
	Etre puissant et avoir une large plage de puissance	> 85 cv entre 9500 et 13000 rpm	5 cv	/
	Délivrer un couple élevé sur une large plage	> 70 Nm entre 9500 et 13000 rpm	5 Nm	/
FT1-2 : Respecter le règlement	Cylindrée pas trop grande	< 710 cm <sup>3</sup>	0	CV1.1.1
FT1-3 : Etre robuste et fiable	Supporter la phase d'essai et le(s) FS	200h	10h	/
<b>FT2 : Transmettre la puissance aux roues</b>				
FT1-1 : Optimiser les performances Optimus	Avoir une bonne tension de chaîne	10 positions possible	1	/
	Vitesse de passage de rapport	< 100 ms	10 ms	/

Figure 2.1: Especificaciones generales del departamento de motorización

Hasta 2018, el reglamento de la competición imponía una cilindrada inferior a 610cm<sup>3</sup>. Por ello, los vehículos anteriores del EPSA estaban equipados con el motor de la moto **Honda CBR600 RR** que tiene una cilindrada de 599cm<sup>3</sup>. Este motor dispone de una cartografía adaptada a la Fórmula Student en internet. Teniendo en cuenta la restricción en la admisión [CV 1.7 (FSG Rules)], las cartografías básicas de motos no permiten arrancar los motores equipados con admisiones de la Fórmula Student.

Para el año 2019, esta norma ha cambiado. 710cm<sup>3</sup> es el nuevo límite. Por esta razón, se ha estudiado de cambiar de motor con el fin de aumentar su cilindrada, con el objetivo de aumentar su potencia.

Para respetar el objetivo principal de **Optimus** que es de ser más ligero con respecto a los años anteriores, se ha optado por el motor de la moto **Yamaha MT-07**. Un motor bi-cilindro, en vez de un 4 cilindros en línea del motor Honda, por lo que es más ligero. Además, se reduce la masa del escape y de la admisión de aire, con el paso de cuatro a dos conductos. Sin embargo, este motor, poco utilizado en las competiciones de Formula Student, no dispone de una cartografía compatible con la restricción de la admisión impuesta por el reglamento. En definitiva, su elección supondría un gran riesgo para el arranque y por lo tanto, el **riesgo de no acabar el vehículo**. Cambiar de motor implicaba rehacer completamente:

- la cartografía de arranque del motor
- la admisión
- el escape
- la parte trasera del chasis
- los puntos de la unión al suelo (puntos sobre los que los triangulos de suspensión se fijan)

En resumen, este cambio de motor habría supuesto empezar de cero para muchas partes del vehículo, además de mucho más tiempo para su puesta a punto. Como uno de los principales objetivos para el vehículo era de ser acabado a finales de marzo 2019, se necesitaba acabar la fase de concepción a finales de noviembre, para poder empezar la producción desde diciembre del 2018. Ésto dejaba al equipo con sólo tres meses para realizar todo el trabajo. Si el objetivo de reducir la masa era coherente, no se podría haber finalizado el coche a tiempo. Finalmente se optó por conservar el motor Honda CBR 600RR y de se centrar en la reducción de masa y en realizar una buena optimización del motor ya conocido.

A partir de esta decisión se han podido cuantificar las especificaciones técnicas del departamento de motorización.

### 2.2.3 Concepción de los subsistemas del departamento de motorización

#### Arquitectura y estudio del circuito de gasolina

Los objetivos del circuito de gasolina son:

- Almacenar la gasolina
- Inyectar la cantidad justa de carburante en la fase de admisión
- Adaptar la forma y posición de sus componentes con respecto a los sistemas colindantes
- Resistir a las condiciones exteriores
- Respetar el reglamento

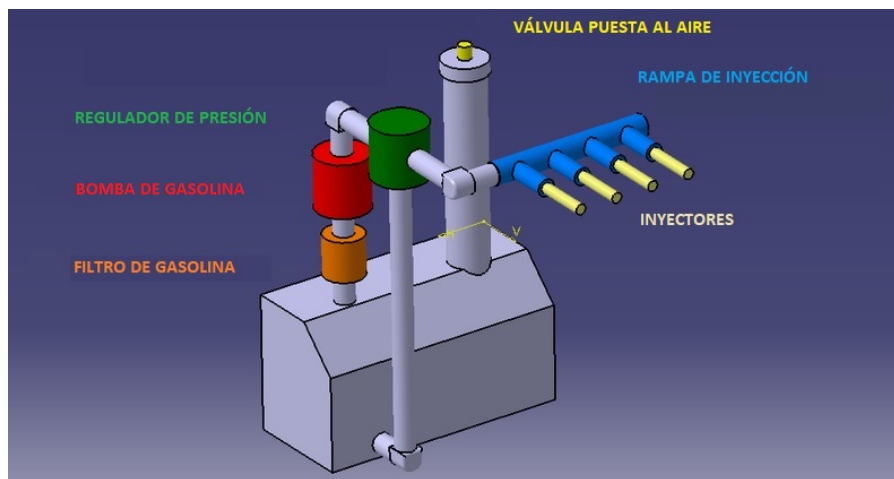


Figure 2.2: Arquitectura del circuito de gasolina

Componentes:

- **Tubo de llenado:** La gasolina pasa por el tubo de llenado hasta llegar al depósito. Esta pieza no tiene que tener una inclinación superior a  $30^\circ$  con respecto a la vertical, tener un diámetro mínimo de 35mm y disponer de un tramo transparente de como mínimo 125mm [CV2.6 (FSG Rules)]. La válvula de puesta al aire se utiliza para controlar la presión y para evacuar los gases de la gasolina evaporada.

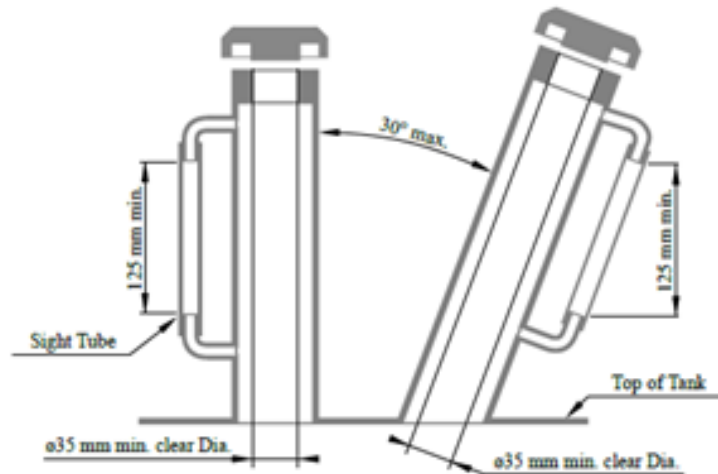


Figure 2.3: Tubo de llenado [FSG Rules]

- **Depósito :** Contiene el combustible que se utilizará durante la competición y debe estar dimensionado para contener la gasolina necesaria para finalizar la prueba de resistencia. Debe estar diseñado de tal forma que minimice los efectos del movimiento de la gasolina en curva. Ya que puede darse el caso que para los instantes finales de la prueba de resistencia, cuando en el volumen de gasolina se ve reducido, en una curva la gasolina se desplazará dentro del depósito por la fuerza centrífuga. La bomba puede tener problemas para aspirar la gasolina, y en su lugar, aspirar aire, causando problemas para la combustión e incluso ocasionar averías en los diferentes componentes del circuito de gasolina.

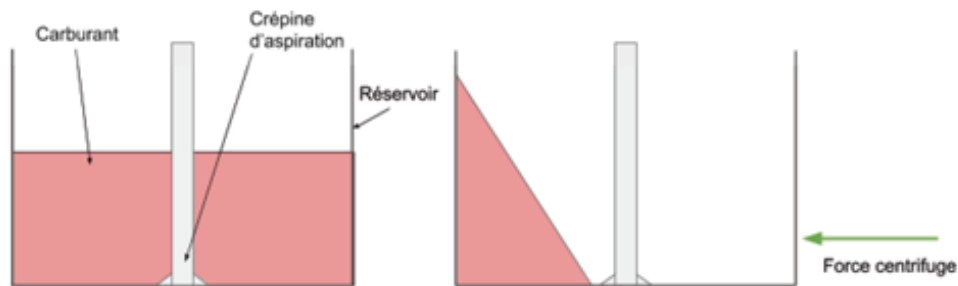


Figure 2.4: Efecto de la fuerza centrífuga en el depósito

- **Filtro de gasolina:** Tamiza el combustible para limitar la llegada de cualquier partícula a la bomba de gasolina, al regulador de presión y a los inyectores.



Figure 2.5: Filtro de gasolina

- **Bomba de gasolina:** Una bomba de gasolina volumétrica accionada por un motor eléctrico. Hemos elegido la bomba FP601 Walbro capaz de suministrar 220 l/h a 3.5bars.





Figure 2.6: Bomba de gasolina FP601 Walbro

- **Regulador de presión:** Tiene como objetivo mantener la presión en la rampa de admisión a 3.5 bars. Cuando hay un exceso de presión, el regulador devuelve este exceso al depósito por el conducto de retorno. Se ha optado por un regulador de presión regulable entre 1.5 y 6 bars. Y con un caudal máximo de 5L/min



Figure 2.7: Regulador de presión Sysc

- **La rampa de inyección:** Conducto sobre el cual se montan los inyectores. Gracias a la rampa, se pueden reducir las variaciones de presión ocasionadas por la bomba, el regulador y el funcionamiento de los inyectores.

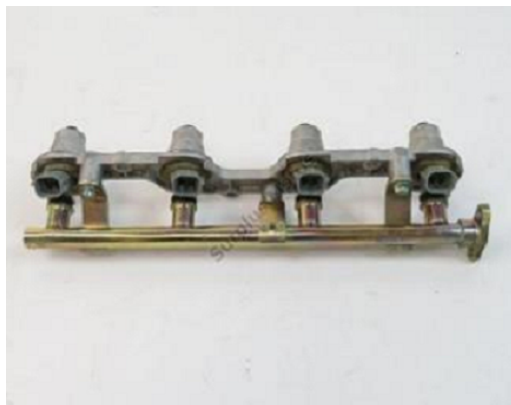


Figure 2.8: Rampa de inyección Honda CBR 600RR PC40

- **Inyectores:** Los inyectores pulverizan el combustible para realizar el mezclado aire-combustible antes de entrar en la cámara de combustión. Se utilizan los inyectores que vienen de serie en la moto: Denso 12-holes injecteur con una inyección de 269 g/min.

Con todo ésto, definimos las especificaciones técnicas del circuito de combustible:



Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité	Articles du règlement
<b>FT1 - Alimenter la motorisation en carburant</b>				
• FT11 - Contener le carburant	C11a - Contenance	7L	3L	
	C11b - Étanchéité	100%	0	
	C11c - Vidange	100%	0	IC2.4.5
	C11d - Évacuation de l'air	100%	0	IC2.8.1 / IC28.2
• FT12 - Injecter la bonne quantité de carburant dans la phase d'admission	C12a - Adapter l'injection	100%	0	
	C12b - Pression de carburant	100%	0	
<b>FC1 - Adapter la forme du réservoir en fonction des systèmes proches</b>	C1a - Adaptation à la forme du châssis équipé	100%	0	
	C1b - Adaptation à la forme de la motorisation	100%	0	
<b>FC2 - Résister aux conditions extérieures</b>	C2a - Limiter le ballonnement du carburant	60%	10%	
	C2b - Chaleur du moteur	100%	0	
	C2c - Conditions météorologiques	100%	0	
<b>FC3 - Respecter le règlement du FS</b>	C3a - Remplissage du réservoir	Dimensions imposées	0	IC2.6 / IC2.7
	C3b - Emplacement du réservoir	Dans le châssis	0	IC2.5
	C3c - Matière du circuit	Acier Inox	0	IC1.8.1 / IC1.9.1 / IC2.4.1&2
	C3d - Fixations du système	Matériaux et emplacements	0	IC1.9.1

Figure 2.9: Especificaciones técnicas del circuito de gasolina

### Concepción y diseño del circuito de gasolina

Este año, los principales objetivos para este sistema eran:

- Cálculo del caudal de gasolina máximo
- Cálculo del volumen óptimo del depósito para finalizar la prueba de resistencia
- Control de la temperatura del sistema

### Cálculo del caudal de gasolina máximo

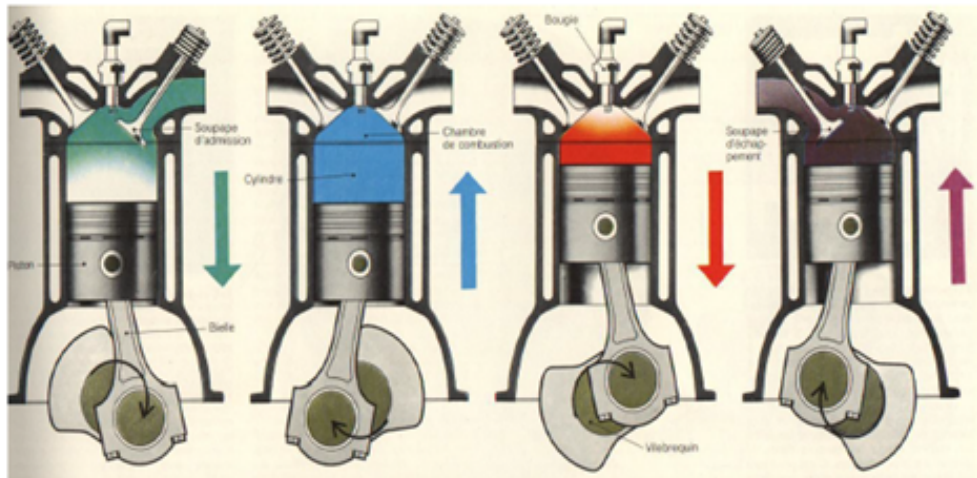
El motor de la Honda CBR 600RR es un motor 4 tiempos con:

- cuatro cilindros en línea
- una cilindrada de 599cc
- un ratio de compresión 12.2:1
- 89 kW (120 caballos)
- 13500 rpm de máxima

Un motor 4 tiempos:

- **Primer tiempo o admisión:** El pistón baja, y con este movimiento crea una depresión en el cilindro que facilita la entrada de gases desde la válvula de admisión.
- **Segundo tiempo o compresión:** El pistón sube, comprimiendo la mezcla de gases.
- **Tercer tiempo o combustión y expansión** La bugía genera la chispa en la cámara de combustión que genera la inflamación de los gases y el aumento en presión que hace desplazar el pistón hacia abajo.
- **Cuarto tiempo o escape:** Cuando el pistón desciende a su punto más bajo, las válvulas de escape expulsan el resultado de la combustión y el pistón vuelve a subir para recomenzar el proceso.

### Cycle-Moteur: cycle à 4 temps



- ✓ phase de combustion: une fois tous les 2 tours de vilebrequin
- ✓ phase d'aspiration: une fois tous les 2 tours
- ✓ phase de compression: une fois tous les 2 tours
- ✓ phase d'échappement: une fois tous les 2 tours

Figure 2.10: Ciclo motor 4 tiempos

El ratio de compresión corresponde a la fracción entre: el volumen de la cámara de combustión + el volumen del cilindro entre el volumen de la cámara de combustión Para calcular el caudal máximo de combustible: Se empieza calculando el flujo máximo de aire en la admisión:

$$\text{Flujo máximo de aire} = \rho_{\text{aire}} \times V_{\text{cilindro}} \times \frac{\text{tpm}}{\alpha \times 60}$$

Parámetros:

- La densidad del aire es de  $1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- El volumen del cilindro es de 600cc
- Los ciclos por minuto máximos: 13500 rpm
- $\alpha$  el número de entradas de aire en los cilindros por ciclo, es decir, 2.

El calculo nos da  $82 \frac{\text{g}}{\text{s}}$  como flujo máximo de aire.

Elegimos un coeficiente lamda de consumo: 0.88. El coeficiente lamda hace referencia a la riqueza de la mezcla:

- Para coeficientes inferiores a 1, la mezcla se considera rica (más gasolina que en el ratio estequiométrico). Se trata de lambdas en modo de máximo consumo
- Para coeficientes superiores a 1, la mezcla se considera pobre (más aire que en el ratio estequiométrico).

El ratio estequiométrico para la gasolina de tipo 98RON es de 14.7

$$\lambda = \frac{\left[ \frac{\text{caudal}_{\text{aire}}}{\text{caudal}_{\text{carburante}}} \right]_{\text{real}}}{[14.7]_{\text{esteq}}}$$

Gracias a la fórmula anterior, encontramos el ratio aire-combustible de 12.9. Como conocemos el flujo máximo de aire, junto con el ratio anterior, obtenemos un caudal de combustible de  $6.26 \frac{g}{s}$ .

Por último, conociendo la densidad de la gasolina:  $765 \frac{kg}{m^3}$  obtenremos el caudal máximo de combustible:  $0.49 \frac{L}{min}$ .

El resumen de los cálculos:

FUEL FLOW CALCUL	
Rpm Max (89 kw)	13500 rpm
Air density at 20 °C (kg/m3)	1.2
Air flow Max(g/s)	81
Air flow Max(g/s) x0.9(air replacement)	72.9
Stoichiometric rate	14.7
Fuel Density (Kg/m3)	765
Performance Lambda	0.88
Air/Fuel rate	12.9
Fuel Flow Max (g/s)	6.26
Fuel Flow Max (L/min)	0.49

Figure 2.11: Resumen del cálculo del caudal máximo de gasolina

Gracias a este calculo se ha comprobado que la bomba que se utilizaba hasta presente estaba sobredimensionada, ya que el caudal de ésta llega hasta los  $210 \frac{L}{hora}$ , mientras que sólo necesitamos  $30 \frac{L}{hora}$ . Se debe cambiar de bomba a una menos potente por ejemplo: FP 100 de Bosh con un caudal de  $120 \frac{L}{hora}$ .

### Cálculo del volumen óptimo del depósito para finalizar la prueba de resistencia

Para este cálculo, seguimos el mismo procedimiento que en el apartado anterior, pero utilizamos unas 9000 rpm y una velocidad de  $50 \frac{Km}{h}$  de media para completar la prueba de resistencia (22km). El flujo de aire se multiplica por el coeficiente 0.9 (ratio de evacuación de los gases en la etapa de escape del motor). Obtenemos 6.8 L de gasolina para completar la prueba de resistencia Resumen de los cálculos:

FUEL TANK VOLUME	
Endurance average speed (m/s)	13.89
Endurance length (m)	22000
Endurance duration a 50 km/h (s)	1584
Rpm Moy	9000
Consumption Lambda	1
Air/Fuel Rate	14.7
Average RPS	150
average Air Flow (g/s)	54
Average air flow (g/s) x0.9(replacement)	48.6
Average Fuel Flow (L/min)	0.26
Average Fuel Tank capacity (L)	6.84

Figure 2.12: Resumen del cálculo del caudal máximo de gasolina

Si comparamos estos cálculos con los volúmenes de los años anteriores:

Vehículo	Capacidad del depósito
Atomix 2.0	6.8L
Kinetix	7.03L
Vulcanix	7.9L (en condiciones reales)
Optimus	6.4 L+0.4L Tubo

Figure 2.13: Volumen del del circuito de combustible de los vehículos anteriores

Todos los vehículos tienen el mismo motor, y vemos que nuestro cálculo sirve como orientación pero que debe realizarse un estudio junto con la cartografía del motor.

No se disponían de datos fiables para la cartografía del año anterior, entonces no se utilizaron en la etapa de concepción.

Finalmente el depósito de ésta año (Optimus) se dimensionó con 6.8L como Atomix 2.0 un vehículo al que se le redujo el volumen de gasolina para reducir el peso del vehículo.

Ésta es la cartografía que se realizó en abril 2019, ya con todo el vehículo integrado:

RPM MAP kPa ->	1000	1500	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000	11500	12000	13000	14000
10	0.2	0.21	0.21	0.21	0.25	0.25	0.25	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
17	0.3	0.36	0.36	0.36	0.43	0.43	0.43	0.47	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
25	0.5	0.51	0.51	0.51	0.61	0.61	0.61	0.8	0.8	0.8	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3
32	0.6	0.66	0.66	0.66	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.45	1.45	1.45
39	0.85	0.85	0.85	0.9	0.9	0.9	1.25	1.3	1.3	1.32	1.35	1.35	1.38	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
47	0.9	0.9	0.96	0.96	1.1	1.2	1.4	1.4	1.45	1.45	1.5	1.55	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8
54	1.1	1.1	1.2	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	1.8	1.9	2	2.2	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8
61	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.85	1.9	1.7	2.2	2.3	2.6	2.71	2.71	3	3.1	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3
68	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.4	2.3	2.5	2.9	3.03	3.03	3.03	3.59	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
76	1.4	1.4	1.5	2	2.1	2.4	2.8	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	4.15	4.15	4.15	4.15	4.15	4.32	4.32
83	1.7	1.7	1.9	2	2.6	3.2	3.8	4	4.2	4.3	4.8	4.8	4.8	4.7	4.7	4.7	4.7	4.85	4.85	4.85
90	2.1	2.1	2.1	2.4	2.7	3.5	4.1	4.2	4.6	5	5.6	5.6	5.6	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03
98	2.6	3	3.7	4.5	6	6	6	5	4.5	5.12	6.05	6.05	6.05	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51
105	4	5	6	6	6.5	7	7	6	5	5.5	6.5	6.5	6.5	7	7	7	7	7	7	7

Figure 2.14: Cartografía del motor CBR600RR del vehículo Optimus

- **Zona 1:** Zona denominada de ralentí. Se busca un dosado cercano al estequimétrico
- **Zona 2:** Dosados crecientes des del el ratio estequimétrico
- **Zona 3:** Zona crucero: Zona buscada para un consumo reducido. Entre el dosado estequimétrico y un lamda de 0.85
- **Zona 4:** Zona de máxima carga
- **Zona 5:** Zona de cambio de marcha
- **Zona 6:** Zona previa al corte de inyección. Se debe enriquecer la mezcla incluso por encima del dosado de máxima potencia para refrigerar las altas temperaturas que alcanza el motor
- **Zona 7:** Se alcanza esta zona cuando se suelta rápidamente el acelerador.

Si utilizamos la fórmula siguiente para calcular el caudal/segundo:

$$C = \frac{m_i * n * i}{60}$$

Con:

- $m_i$ : masa de combustible inyectada por ciclo en g. Para obtener este valor utilizamos la siguiente fórmula:

$$m_i = 0.0045 * T_i - 0.0032$$

realizada por Alejandro Gismero Galiatsantos en su TFG. Con  $T_i$ : tiempo de inyección que se obtiene de la cartografía

- n: las revoluciones por minuto del motor
- i: número de inyecciones por ciclo, 2 al ser un motor de 4 tiempos con 4 cilindros.

Ahora para el cálculo del volumen vamos a utilizar un tiempo de inyección que se encuentre en la zona 3 para los 9000 rpm:

RPM	> MAP kPa	9000	masa	consumo g/s	caudal carburante (L/min)	Volumen carburante
10	0.4	-0.0012	-0.366	-0.028706	-0.757835294	
17	0.6	-0.0004	-0.114	-0.008941	-0.236047059	
25	1.1	0.00172	0.516	0.040471	1.068423529	
32	1.1	0.00172	0.516	0.040471	1.068423529	
39	1.35	0.00277	0.831	0.065176	1.720658824	
47	1.55	0.00361	1.083	0.084941	2.242447059	
54	2.2	0.00634	1.902	0.149176	3.938258824	
61	2.71	0.00848	2.5446	0.199576	5.268818824	
68	3.03	0.00983	2.9478	0.2312	6.10368	
76	3.8	0.01306	3.918	0.307294	8.112564706	
83	4.8	0.01726	5.178	0.406118	10.72150588	
90	5.6	0.02062	6.186	0.485176	12.80865882	
98	6.05	0.02251	6.753	0.529647	13.98268235	
105	6.5	0.0244	7.32	0.574118	15.15670588	

Figure 2.15: Cálculo del volumen con los datos de la cartografía

Sigue siendo una estimación, pero ahora basada con datos del motor. Para el año que viene se recomienda utilizar los datos de la cartografía, y sobretodo los datos de la prueba de resistencia, para calcular los instantes en los que se está acelerando o en zona de crucero, etc.

También se recomienda de realizar un cálculo de la masa inyectada por los inyectores.

En conclusión:

Tener los datos de la cartografía es vital para calcular el consumo de gasolina y el caudal máximo. Con los cálculos que se han realizado obtenemos aproximaciones para valores medios que pueden ser mejorados con la utilización de la cartografía del motor y la telemetría de la prueba de resistencia.

### Control de la temperatura del sistema

Durante la competición FS ATA (Italia) del año pasado, hubo un problema con la bomba de gasolina. La hipótesis principal de la avería es la aparición del fenómeno de vaporlock.

El fenómeno de vaporlock es la vaporización del combustible dentro del conducto de gasolina, generando una depresión con la acción de la bomba. Ésto ocasiona que el circuito de gasolina no suba en presión. Este fenómeno se produjo por el recalentamiento del conducto de gasolina y de la bomba por estar cerca del motor.

Para evitar este problema, se ha posicionado la bomba debajo del depósito, para reducir el impacto del motor y del escape sobre la bomba.

Continuando con el control de la temperatura del sistema:  
Ni el conducto transparente utilizado en Vulcanix para medir el nivel de gasolina ni el conducto para conectar el tubo llenado con el depósito respetaban el reglamento (material resistente a 130°C)



Figure 2.16: Tubo de llenado de Vulcanix (temporada 2017/2018)

Este año, se va a utilizar un tubo reforzado de silicona de 35mm de diámetro interior para unir el depósito al tubo de relleno y el tubo de llenado con el tapon del del depósito.  
Para el tubo transparente, se va a utilizar un conducto de FEP (Etileno Propileno fluorado) de 6mm de diámetro interior.

Después de la elección de concepto y de arquitectura, se pasa a la concepción de los diferentes elementos del circuito de gasolina en un programa informático, en este caso, Catia V5.

Se han optimizado las dimensiones del depósito, que además, su forma se tiene que adaptar a los diferentes sistemas que están cerca, siempre respetando las especificaciones técnicas.

Finalmente, se han realizado los planos de depósito y de las chapas que fijan éste a la estructura tubular. Se debe tomar en cuenta los modos de fabricación utilizados para realizar cada pieza. Por ejemplo, el depósito está compuesto de 4 piezas plegables en Aluminio 2017A cortados al láser.

Los planos del depósito:



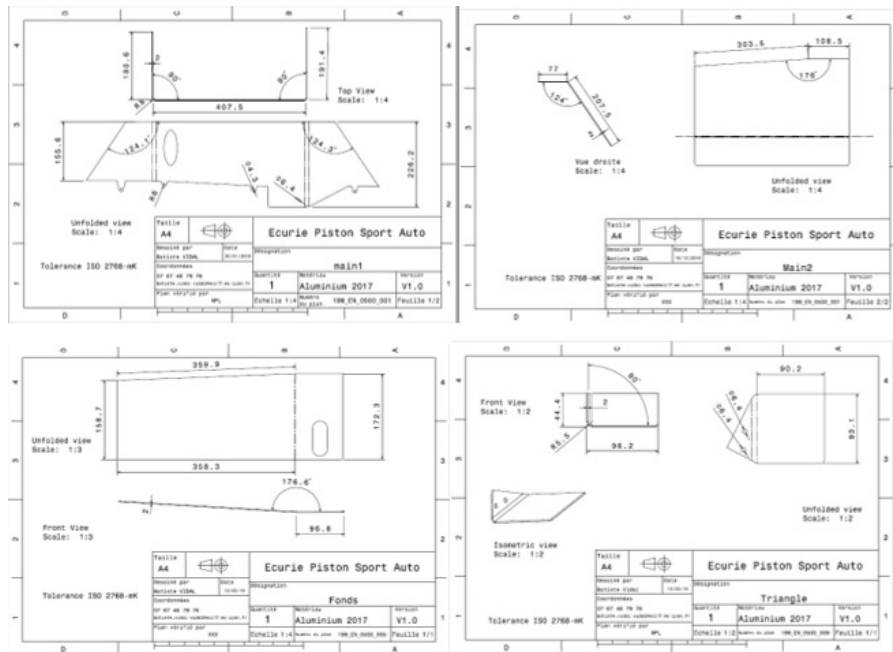


Figure 2.17: Planos del depósito

## Admisión

Este año, se ha cambiado la arquitectura de la válvula del acelerador. Se ha pasado de una válvula de tipo mariposa a una guillotina. Las razones de este cambio son las siguientes:

- **augmentar la potencia del vehículo**
- **reducir el peso del sistema**

El aumento de potencia se produce por el **aumento de la cantidad de aire entrante en el motor**. Hasta ahora, el equipo utilizaba un sistema de "mariposa". Como podemos ver en la figura 2.18. Por lo tanto, a plena carga, la válvula mariposa perturba el flujo de aire en el conducto.

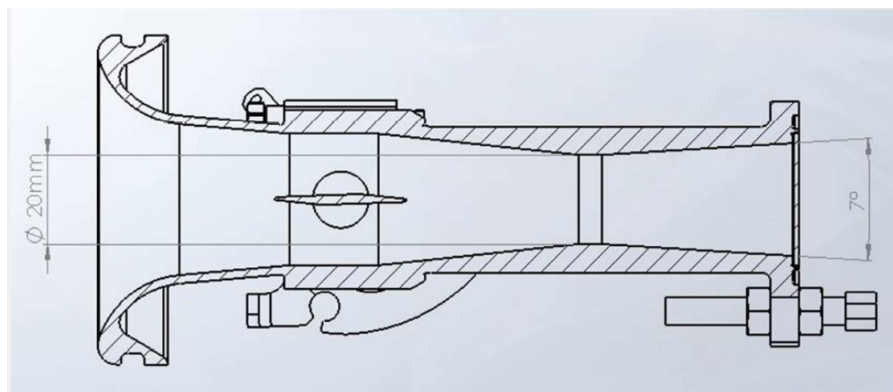


Figure 2.18: Válvula mariposa

Con la guillotina, el conducto está completamente libre a plena carga. Está constituida por una placa que entra y sale del conducto cuando el piloto activa el pedal del acelerador. Además, el reglamento impone una restricción con el fin de limitar la potencia del motor. El aire que llega al motor debe pasar por un conducto de diámetro estrictamente inferior a 20mm. Esta restricción se debe situar después de la válvula del acelerador. La válvula mariposa que se utilizaba hasta presente estaba realizada por una empresa dedicada a la fabricación de este sistema para la Formula Student.

Por lo tanto, estaba homologada para la competición y respetaba la normativa con respecto a la restricción de la admisión. La fabricación por parte del equipo de una válvula de aire es un riesgo que puede llevar a no respetar el reglamento. Y como consecuencia última, no poder participar en las competiciones.

### Escape

Este año, la gran novedad se sitúa en la orientación del tubo de escape. En 3/5 de los vehículos del EPSA, el escape se situaba en un lado hacia adelante. Ésto era contraintuitivo para la salida de los gases de la combustión. Además, el departamento de chasis ha decidido suprimir las branquias (elemento de carrocería lateral que permitía esconder el escape y proteger el piloto de los gases de escape). Sin branquias, el piloto no estaría protegido y no se respetaría el reglamento. Es por lo que se ha decidido de orientar el tubo de escape hacia atrás. Ésto permite reducir la longitud de los tubos y ganar algunos gramos. El colector del escape de **Optimus** está representado en la siguiente figura 2.19.

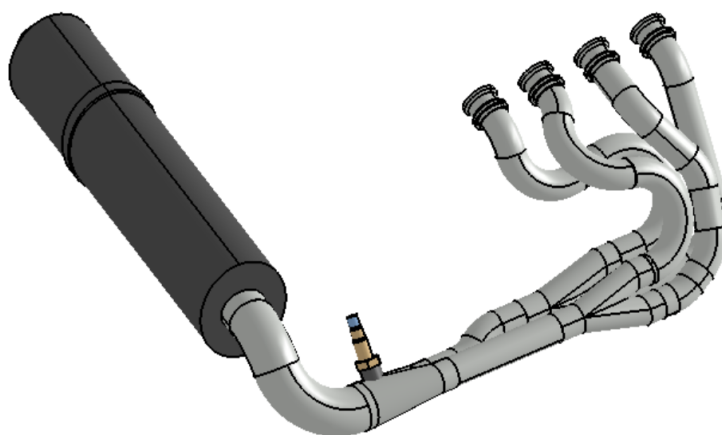


Figure 2.19: Colector del escape de **Optimus**

### Refrigeración

**Optimus** recupera el circuito de refrigeración del vehículo anterior: Vulcanix. El 90% de la masa total del sistema se debe al radiador y sus conductos para llevar el líquido al motor. Y esta masa no se puede reducir. Ésta es la razón principal por la que no se ha buscado optimizar este sistema.

En la figura 2.20 se puede ver el circuito de refrigeración integrado en el chasis de **Optimus**.



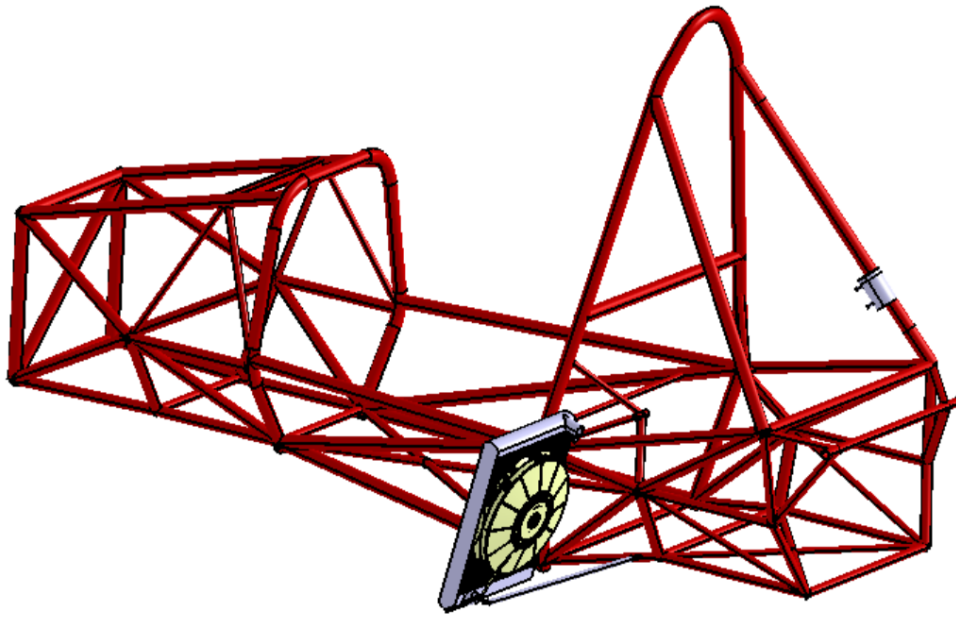


Figure 2.20: Circuito de refrigeración integrado en el chasis de Optimus

### Transmisión secundaria

La transmisión secundaria tiene las siguientes características:

- Transmisión por cadena
- Diferencial ajustable con deslizamiento limitado sin chasis
- Ajuste de la tensión de la cadena con la ayuda con discos excéntricos.
- Inclinación de los árboles de junta con tripodes.

Los diferentes elementos citados previamente pueden ser observados en la siguiente figura:

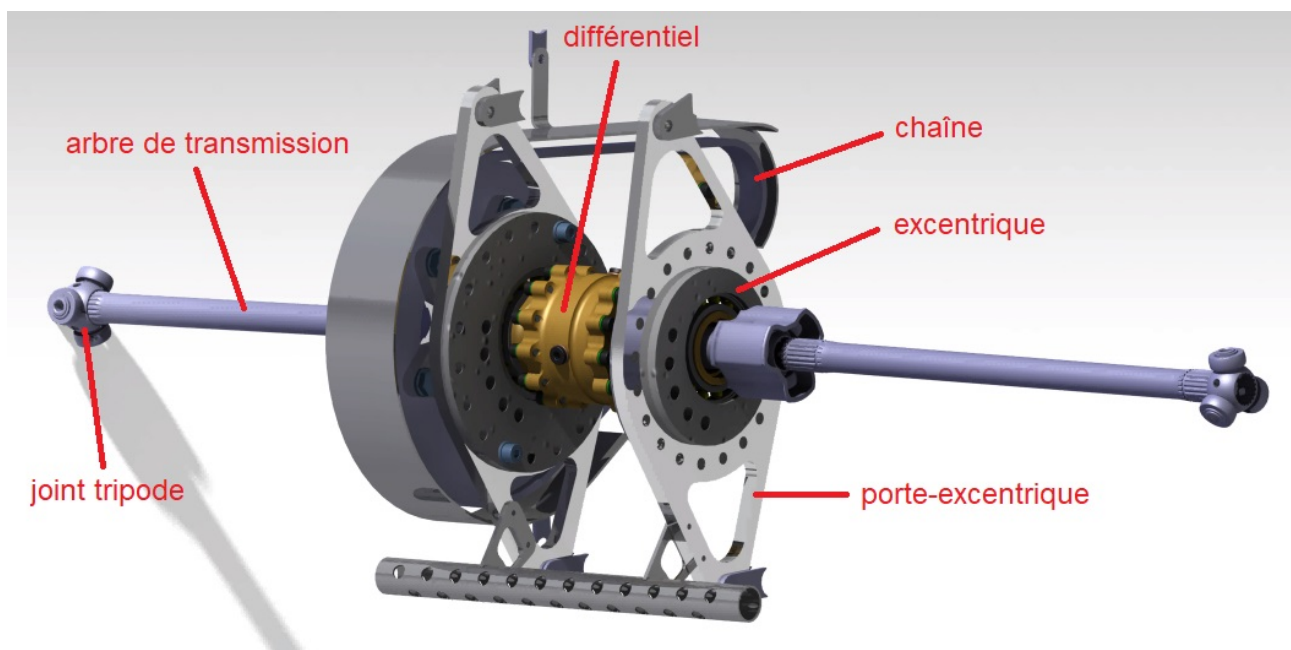


Figure 2.21: Transmisión secundaria

La transmisión por cadena es un sistema simple y fiable de conducir la potencia del motor al diferencial. Cabe añadir que el ratio final de transmisión puede ser ajustado según el número de dientes del par piñón/corona elegido. La elección ha sido una cadena más fina y por lo tanto más ligera que el año anterior (masa dividida por 3 con respecto a una corona en acero).

Estas soluciones permiten de minimizar tanto la masa como la fricción, en detrimento de esperanza de vida del sistema. Sin embargo, siendo un objetivo de rendimiento, el desgaste del sistema no es tan importante, mientras sea razonable. También se ha conseguido una ganancia de peso con el porta coronas (pieza que hace la unión entre la corona y el diferencial).

#### 2.2.4 Balance de la motorización de Optimus

El vehículo **Optimus** contará de grandes mejoras en el departamento de motorización. Una reducción de peso de 3,5%. Ésto puede parecer poco pero significa un gran avance. De echo, en este departamento, el motor representa una masa fija de 65kg, es decir, el 77% de la masa total del departamento. Así, si consideramos nuestra ganancia de peso solamente con respecto a la masa que se podía reducir, se han perdido 3kg con respecto a los 23kg del año pasado. Es decir, una pérdida del 15%. También se ha ganado en potencia instalando el nuevo sistema de guillotina para la válvula de aire de la admisión de aire.

En estas mejoras también se tiene en cuenta los buenos ajustes al motor, que se realizaron el 30 de abril en el banco de pruebas de Chambéry.

El conjunto de los sistemas que componen el departamento de motorización está representado en la siguiente figura:

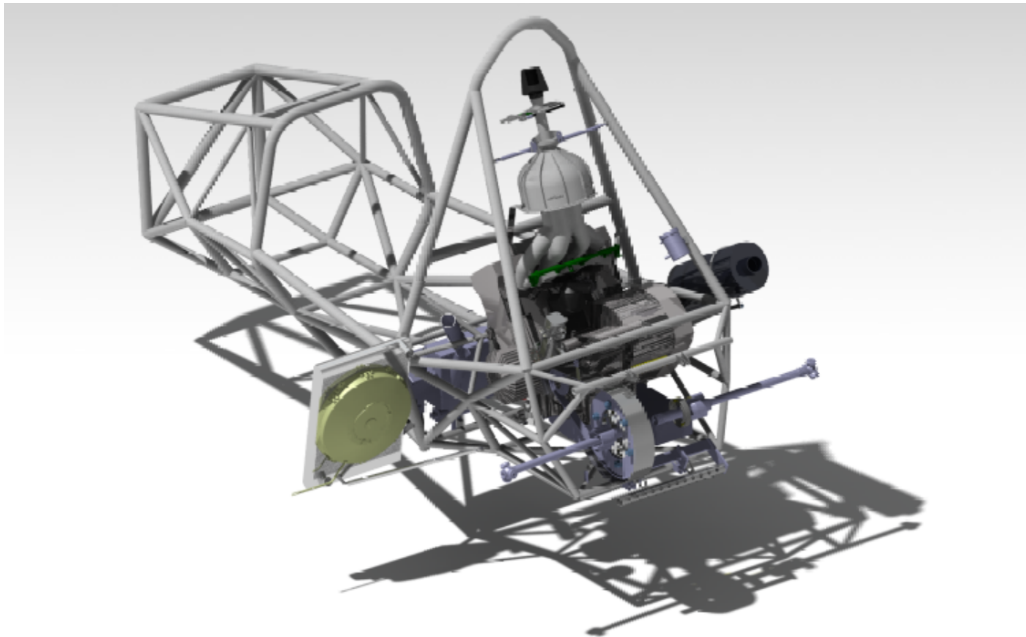


Figure 2.22: Motorización integrada al vehículo Optimus

## Chapter 3

# Desarrollo y seguimiento de la fase de fabricación del vehículo

### 3.1 Corte por láser

Una gran cantidad de piezas del vehículo se fabrican con un corte por láser en école La Mache. De echo, las chapas que sirven de fijación de todos los sistemas con el chasis se fabrican a partir de chapas de acero. Durante la concepción de las chapas, se han determinado los espesores para estandarizar la producción. Los espesores que se han utilizado son los siguientes: 1.5mm en acero S235, 3mm en acero S355 y 4mm en acero S700.

Una vez que se han fabricado las piezas, se han posicionado en el vehículo, es decir, se han soldado al chasis. Este proceso se ha realizado con uno de nuestros socios, École de production de la Giraudière. Ésto se ha realizado con la presencia de los responsables de los subsistemas implicados en los talleres de nuestro socio. Para ayudar a los miembros del proyecto en este procedimiento, se han realizado unos moldes de madera al FabLab de l'École Centrale de Lyon. Se han empleado para posicionar las chapas correctamente. Se han fabricado con la forma de los tubos del chasis para permitir posicionar las chapas con respecto a los tubos del chasis.

En total, 260 piezas se han producido en La Mache.



Figure 3.1: Ejemplo de piezas cortadas con láser

### 3.2 Fabricación

Algunas piezas con formas más complejas han tenido que ser fabricadas. 245 piezas del vehículo han sido fresadas/torneadas por La Mache, Boisard y por socios profesionales. La mayor parte de las piezas de la unión al suelo como las uniones de los triángulos o los concentradores han sido fabricados

en aluminio 7075 T6.

El mayor contratiempo que hubo durante el proyecto fue el incendio ocurrido en los locales de nuestro socio de École Boisard. La noche del 11 de febrero, el edificio de mecánica quedó reducido a cenizas junto con muchas de las piezas que estaban fabricando para nosotros. Por lo que han sido realizadas por otros socios como La Mache

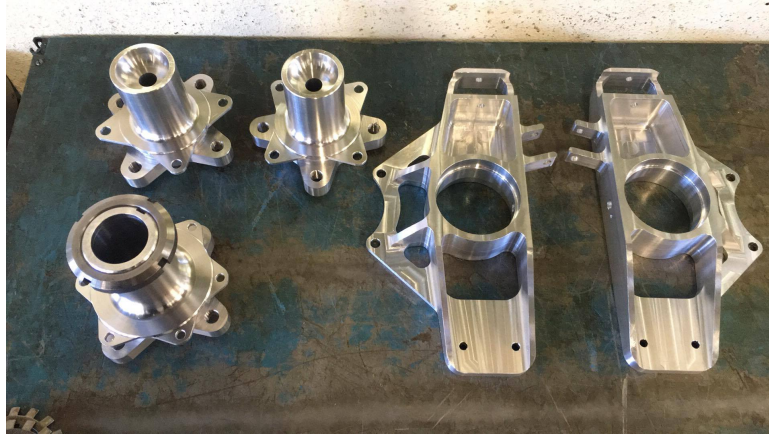


Figure 3.2: Ejemplo de piezas fabricadas en La Mache

### 3.3 Verificación de piezas

Después de la recuperación de cada pieza, se ha realizado la verificación unitaria de las medidas con la ayuda de los planos. Se han utilizado diferentes aparatos de medida según la precisión requerida: el pie de rey (figura 3.3) o la columna de medida (figura ?? )

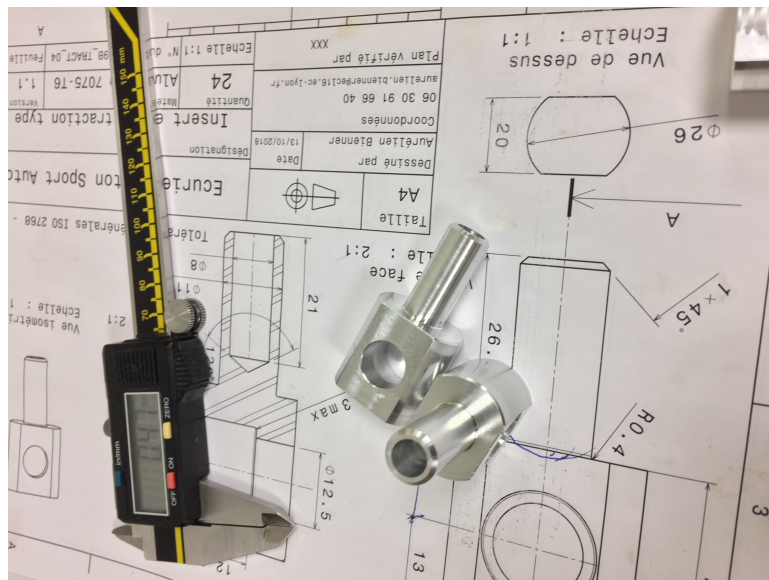


Figure 3.3: Verificación de las medidas de nuestras piezas





Figure 3.4: Verificación de nuestras piezas

Una vez que las piezas han sido verificadas, se envían a nuestro garaje en Bron donde se procederá a ensamblar el vehículo.

## Chapter 4

# Fase de integración del vehículo

### 4.1 Organización de la integración

El garaje se ha dividido en diferentes sectores. Cada departamento dispone de un sector con sus máquinas y herramientas. Los antiguos vehículos disponen también de un espacio asignado a ellos . En 4.1 se puede ver la sección de integración con un chasis sobre caballetes.



(a) Máquina de tracción utilizadaMachine de traction utilisée



(b) Foto de Vulvanix después de unos tests

Figure 4.1: Organización del garaje de Bron



(a) Estanterías para guardar los kits de montaje



(b) Ejemplo de kit de montaje con su ficha técnica

Figure 4.2: Kit de montaje del vehículo Optimus

Para gestionar la organización del garaje de Brin, se ha realizado un panel con etiquetas, figura 4.3. El director técnico, el director de proyecto y los directores de cada departamento definieron las etapas a realizar. El panel está dividido en 4 partes:

- Una parte «**recepción**» que indica la fecha para recuperar una pieza.
- una parte «**por realizar**» que indica las tareas que faltan por realizar
- una parte «**urgente**» que indica las tareas o pedidos urgentes.
- una parte «**pedido por realizar**» que indica los pedidos que se deben de realizar.



(a) Panel de planing con las etiquetas it



(b) Foto del chasis después de pintado

Figure 4.3: Organización de la fase de integración

## 4.2 Integración de las primeras piezas del departamento de motorización

La primera etapa es la de soldar los soportes del motor, que se realiza por nuestro socio del instituto de la Giraudière. Para simplificar esta tarea, se ha utilizado un antiguo motor que ha sido vaciado

completamente. Para poder manejarlo más fácilmente. El motor se mantiene al chasis con cuatro fijaciones:

- dos en la parte delantera formadas por tres tubos de chasis
- dos en la parte trasera formadas por chapas en acero cortadas al láser y después soldadas sobre un tubo del chasis.

En la figura 4.4 se ve una foto de la operación.



Figure 4.4: Soldadura de las fijaciones del motor sobre el chasis

Algunos subsistemas se puede ensamblar sin el chasis. Por ejemplo, la guillotina y el plénum.



Figure 4.5: Admisión de aire montada

Cuando se finalizó el chasis, se envió a la plataforma de Bron, dónde se han montado los diferentes subsistemas sobre Optimus.

Después se ha montado la admisión formada por el plénum y la guillotina, así como el escape.





Figure 4.6: Motorización integrada en el vehículo Optimus

Imagen del vehículo finalizado para su presentación en el evento ROLL-OUT del 10 de abril de 2019:



Figure 4.7: Optimus, vehículo de la École Centrale de Lyon

## 4.3 Dificultades durante la integración

### 4.3.1 Circuito de gasolina

Una vez que el escape fue posicionado con el motor, como se puede ver a la izquierda de la próxima imagen. Había una diferencia de 15mm entre la distancia real entre el motor y el escape, y la misma distancia en la maqueta realizada con Catia V5, como se puede ver a la derecha de la próxima imagen.

Como ya se había dicho durante la concepción del sistema del circuito de gasolina en el capítulo 2, la distancia mínima entre el escape y el depósito está determinada por el reglamento FSAE. Por ese motivo, se ha tenido que modificar el ancho del depósito, para poder respetar nuevamente el reglamento.

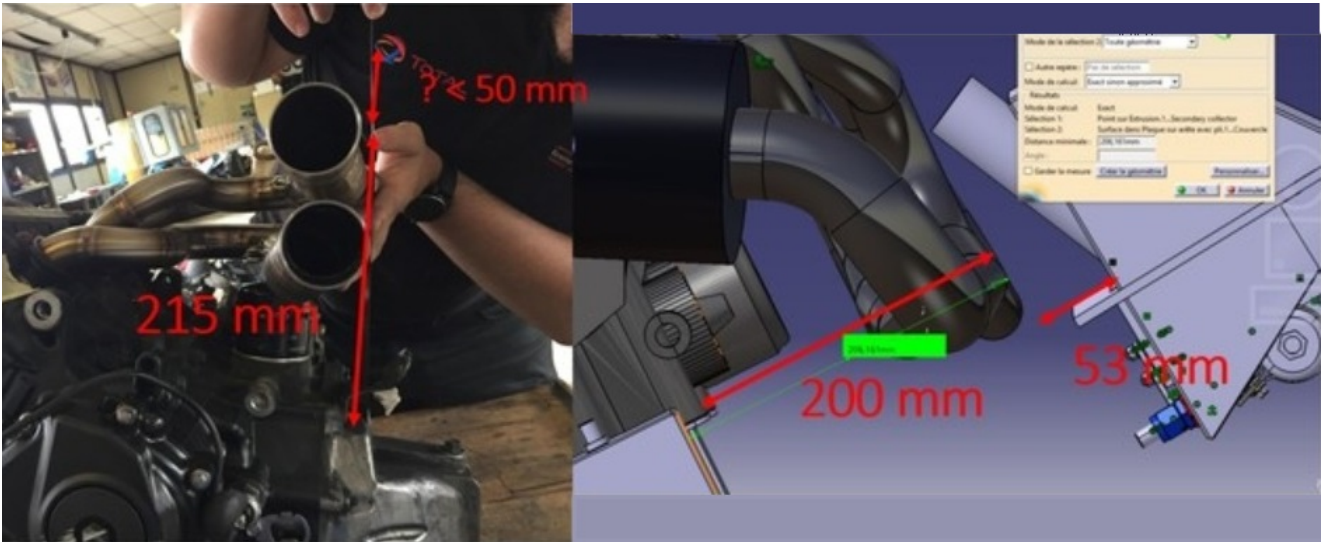


Figure 4.8: Comparación entre la distancia real y la distancia en la maqueta de Catia V5

# Conclusión

Éste trabajo me ha permitido formar parte de un proyecto muy ambicioso y donde se ponen en práctica no sólo las competencias técnicas de un ingeniero, sino que también se pone a prueba toda una serie de competencias transversales.

Éste proyecto me ha permitido realizar desde cero un estudio hasta llevarlo a su concepción, su fabricación y su montaje.

Con esta memoria finalizo mi estancia en Francia, dónde he aprendido mucho de la cultura francesa y de su forma de ver la ingeniería. Del EPSA me quedo con la constancia y con las ganas de hacerlo cada vez mejor. De ver como en menos de un año se puede aprender muchísimo de algo que nos gusta y apasiona, como es la ingeniería.

# Bibliography

- [1] Epsabox. <https://epsabox.kad-office.com/w/Accueil>.
- [2] Première année du Département Moteur. Rapport du PE motorisation année 2017/2018.
- [3] Formula Student Germany. *Formula Student Rules 2019*, 2019.
- [4] Alejandro Gismero Galiatsatos. Diseño y optimización de la cartografía motor de un vehículo formula fsae.
- [5] Jorge Segers. Analysis techniques for racecar data acquisition, 2013.

# Annexes

## .1 Fechas provisionales de los TOPs

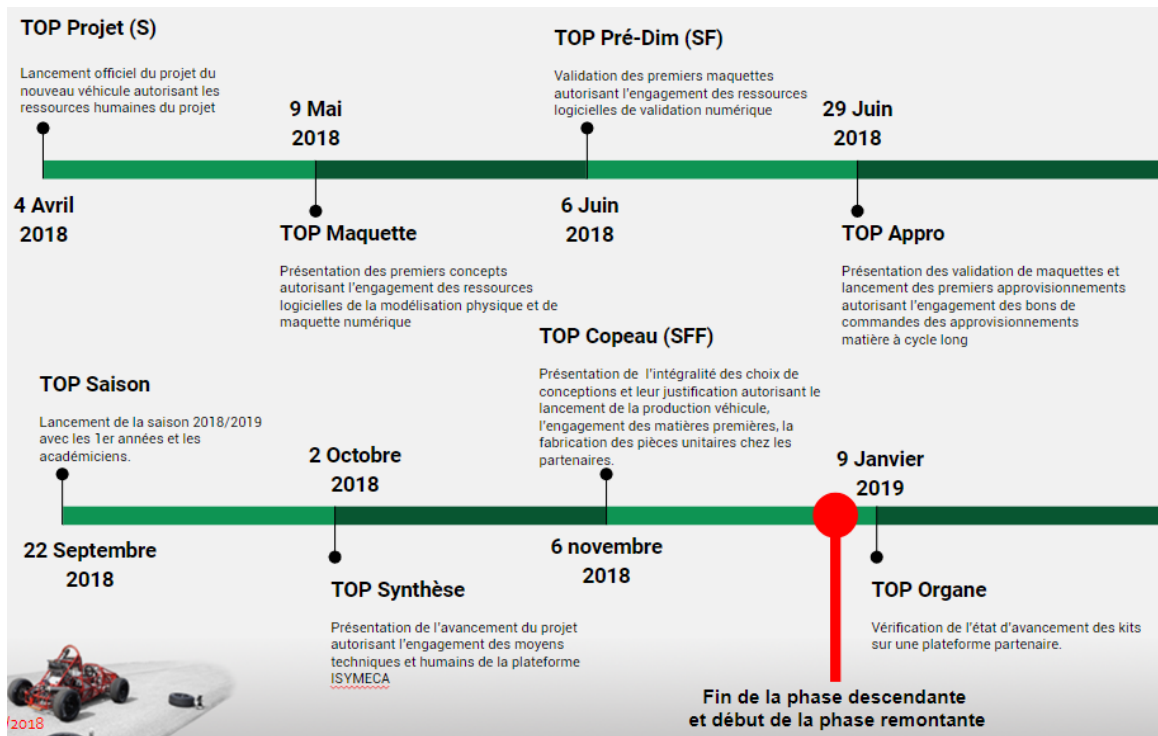


Figure 9: Fechas provisionales de los TOPs(fase descendente).

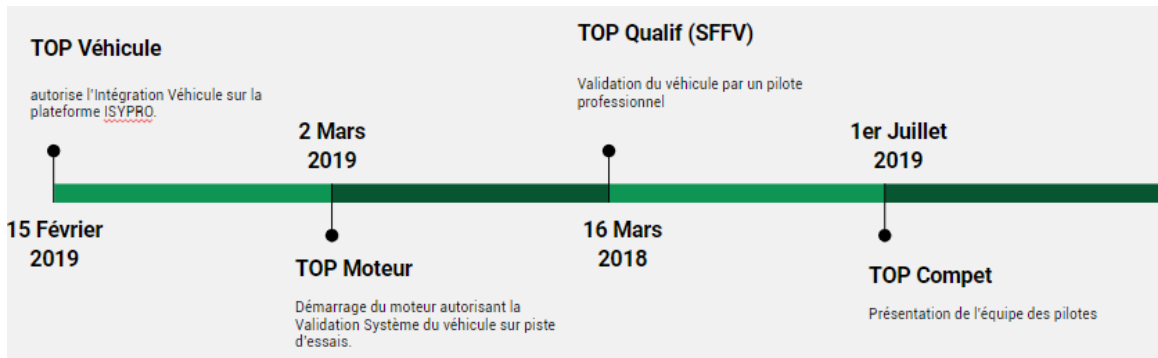


Figure 10: Fechas provisionales de los TOPs(fase ascendente).

