

# Trabajo Fin de Grado Grado en Ingeniería de la Energía

## Diseño de un modelo de verificación y validación V&V para un equipo de competición

Autor: Antonio Francisco Giménez Baldán

Tutor: Antonio Sánchez Herguedas

**Dpto. Ingeniería de Proyectos  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2023





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de la Energía

# **Diseño de un modelo de verificación y validación V&V para un equipo de competición**

Autor:

Antonio Francisco Giménez Baldán

Tutor:

Antonio Sánchez Herguedas

Profesor Titular de Universidad

Dpto. Ingeniería de Proyectos  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado:   Diseño de un modelo de verificación y validación V&V para un equipo de competición

Autor:           Antonio Francisco Giménez Baldán

Tutor:           Antonio Sánchez Herguedas

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:



# Agradecimientos

---

A mi padre, por acompañarme en esta larga carrera de fondo aún no estando del todo seguro, me ha permitido seguir estudiando y confiado hasta el último momento.

A él le debo la virtud de la sensatez, la resiliencia y la objetividad.

A mi madre, porque le tocó irse antes de yo comenzar el grado y no ha tenido la oportunidad de verme avanzar, ni de conocerme con la cabeza más sensata, aunque dicen que seguimos compartiendo el mismo espíritu aventurero.

A ella le debo la virtud de la exploración, la creatividad y la valentía.

A mi hermano, pues aún teniendo que estar separados tanto tiempo por mis estudios y por mi trabajo entre estudios, siempre ha estado cuando volvía a casa. Siempre seremos semejantes aún no siéndolo.

A él debo darle las virtudes que aún no me considero merecidas, pero que tarde o temprano las recibirá.

A mi familia materna y paterna, que aún estando distante entre olivos y desierto respectivamente, siempre han estado presentes.

*Antonio Francisco Giménez Baldán  
Graduado en Ingeniería de la Energía*

*Sevilla, 2023*





# Resumen

---

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) tiene como objetivo fundamental crear la base de diseño de la metodología de trabajo técnica para la equipo de competición de *USRacing*, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI), de la Universidad de Sevilla (US). Se enfoca concretamente en el diseño de una metodología basada en el proceso de verificación y validación V&V de sistemas.

En este trabajo se documenta la metodología de trabajo aplicada a lo largo del curso académico 2022-2023 durante la mitad de la temporada VII de la competición de *MotoStudent Electric*, diseñada para acercar el perfil de trabajo entre el mundo universitario y el mundo laboral.

Se inicia la primera parte, conocido como *Plan estratégico* que define una serie de objetivos a resolver y con una descripción teórica del funcionamiento de la metodología explicando las fases de concepto, creación de requisitos, generación de arquitecturas, diseño de sistemas, implementación e integración, ensayos de verificación/validación, y la operación y mantenimiento del prototipo. La segunda parte, conocida como *Dirección técnica* se trata de un capítulo basado en la organización y gestión que tiene un enfoque práctico y real de cómo se materializa la teoría planteada inicialmente, con algoritmos, procedimientos y documentación veraz de trabajo.

Por último, se realiza una discusión objetiva que sintetiza la relación entre los resultados obtenidos gracias a la metodología V&V y la respuesta esperada, y una conclusión sobre la relación entre las respuestas ofrecidas a las cuestiones planteadas.



# Abstract

---

The main objective of this Final Degree Project (FDP) is to create the basis for the design of the technical work methodology for the racing team of *USRacing*, of the Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI) of the University of Seville (US). It focuses specifically on the design of a methodology based on the process of verification and validation of V&V systems.

This project documents the work methodology applied throughout the 2022-2023 academic year during the middle of season VII of the *MotoStudent Electric* competition, designed to bring the work profile between the university and the business world.

The first part, known as the *Strategic Plan*, begins by defining a series of objectives to be met and a theoretical description of how the methodology works, explaining the phases of concept, creation of requirements, generation of architectures, system design, implementation and integration, verification/validation tests, and the operation and maintenance of the prototype. The second part, known as *Technical Management*, is a chapter based on organisation and management, which has a practical and real approach on how the theory initially proposed is materialised, with algorithms, procedures and working documentation.

Finally, there is an objective discussion summarising the relationship between the results obtained through the V&V methodology and the expected response, and a conclusion on the relationship between the answers given to the questions posed.



# Índice

---

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	V
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto	1
1.2 Objetivo del trabajo de fin de grado	1
1.3 Motivación del estudio	1
1.4 Estructura planteada	2
<b>2 Alcance</b>	<b>3</b>
<b>3 Plan estratégico</b>	<b>5</b>
3.1 Objetivos	6
3.1.1 Diseñar una metodología de trabajo de verificación y validación V&V	6
3.1.2 Establecer un punto de inicio en el proyecto	6
3.1.3 Visión global, futuro del equipo y crecimiento	6
3.2 Diseño de una metodología de trabajo de verificación y validación	8
3.2.1 Concepto	8
3.2.2 Requerimientos y arquitectura	10
Requerimientos	10
Arquitectura	11
Sistema estructural	12
Sistema de potencia	13
Sistema de Control Aerodinámico	14
Sistema Interfaz	15
3.2.3 Diseño de Prototipo	17
Líneas de trabajo	19
3.2.4 Implementación	21
3.2.5 Ensayos de verificación	24
3.2.6 Ensayos de integración	25
3.2.7 Operación y mantenimiento	25
<b>4 Dirección Técnica</b>	<b>27</b>
4.1 Punto de partida en la dirección técnica	28
4.1.1 MotoStudent International Competition	28
4.2 Planificación y gestión de departamentos siguiendo el modelo V&V	29

---

4.2.1	Creación del concepto	29
4.2.2	Generación de requerimientos, arquitectura y requisitos	30
4.2.3	Distribución de directorios de trabajo	31
4.2.4	Lineas de trabajo	32
4.2.5	Coordinación del diseño de prototipo	33
	Sistemas, ensamblajes, subensamblajes y piezas	33
	Ficha técnica	34
4.3	Plan general de fabricación	36
4.3.1	Estados de fabricación	36
4.3.2	Acciones de fabricación	36
4.3.3	Procedimientos de fabricación	36
4.4	Campaña de ensayos	39
4.5	Operación y mantenimiento	41
4.5.1	Sistema eléctrico	41
4.5.2	Estructura	42
4.5.3	Transmisión	43
4.5.4	Suspensión	44
4.5.5	Frenos	44
4.5.6	Refrigeración	45
<b>5</b>	<b>Discusión</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>49</b>
<b>Apéndice A</b>	<b>Definiciones y abreviaturas</b>	<b>51</b>
A.1	Definiciones y abreviaturas	51
<b>Apéndice B</b>	<b>Tabla con características del Prototipo</b>	<b>53</b>
B.1	Tablas	54
<b>Apéndice C</b>	<b>Ejemplos de documentación</b>	<b>57</b>
C.1	Fichas técnicas	57
C.2	Documentos de ensayo	57
	<i>Índice de Figuras</i>	89
	<i>Índice de Tablas</i>	91
	<i>Bibliografía</i>	93

# 1 Introducción

---

## 1.1 Contexto

A medida que aumenta el nivel tecnológico, la envergadura de los proyectos técnicos crece proporcionalmente y su estructura se hace más compleja. Por ende, es evidente que al participar más factores en el proyecto, más utilidad tiene el hecho de establecer un sistema o modelo que pueda ser capaz de establecer las directrices que permiten desarrollar y trazar cada fase del proyecto. De esta forma, se puede gestionar con mayor eficacia los defectos surgidos y minizar el impacto sobre el conjunto del proyecto.

Este motivo justifica la generación de una metodología personalizada para cada proyecto que determine la organización, orden de ejecución, control de calidad y gestión del trabajo empleado en su desarrollo.

Por consiguiente, se pretende que este trabajo sea la base de diseño para tener una metodología de trabajo técnica dedicada al equipo de motociclismo de USRacing de la facultad de Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industriales *ETSII* de la Universidad de Sevilla *US*, tomando como punto de inicio la VII Edición de *MotoStudent Electric*, para que pueda adaptarse y continuar para el resto de ediciones futuras.

## 1.2 Objetivo del trabajo de fin de grado

Este proyecto de fin de grado tiene como finalidad diseñar y crear una metodología de trabajo de verificación y validación (V&V) para el desarrollo del proyecto de prototipo de motocicleta de competición para las futuras ediciones de *MotoStudent Electric*.

## 1.3 Motivación del estudio

El origen de la elaboración de esta metodología de trabajo se fundamenta en la falta de coordinación en la gestión y dirección del equipo a la hora de desarrollar un prototipo. La competición sobre la que se rige se vuelve cada vez más exigente y es necesario agudizar el ingenio para poder desarrollar el prototipo según la normativa vigente y el campo de aplicación

Normalmente, cada vez que se produce un cambio de la junta directiva y de los integrantes del equipo, existe un cambio en la forma de trabajo, además de una pérdida de información. No existe ningún procedimiento donde se haya ido recogiendo la documentación generada en ediciones anteriores y que haya permitido el traspaso de información entre generaciones. Esto ha desencadenado en una repetición de errores cometidos en ediciones anteriores por falta de evidencias que hayan recogido estos problemas y que no han podido ser asimiladas con la rotación del equipo.

Respecto a otros proyectos técnicos de prototipado, existen un elevado número de metodologías, procedimientos y programas de desarrollo que normalmente están enfocados a un sector o proyecto determinado. Se entiende que aún perteneciendo al mismo sector, los programas de desarrollo que pueden llevarse a cabo por un prototipo más moderno puede variar completamente respecto a sus anteriores prototipos, como ocurre en el caso del sector aeronáutico, donde la tecnología con frecuencia se queda obsoleta al cabo de pocos años.

Por tanto, la metodología de trabajo V&V planteada para el prototipado de vehículos de competición eléctrica para la competición de MotoStudent Electric está planteada para la situación actual, con la tecnología disponible, y los recursos y medios posibles al alcance del equipo de USRacing. Y se entiende que gracias al avance de los próximos años, esta metodología pueda actualizarse, verse modificada o incluso replanteada en función de las exigencias de la competición y de los medios disponibles para ello.

## **1.4 Estructura planteada**

En la primera parte del documento, el *Plan Estratégico* se explica la metodología de verificación y validación V&V aplicada al diseño de un prototipo de motocicleta de competición. Partiendo de esta, se teoriza una arquitectura de sistemas basada en unos requerimientos establecidos tanto a nivel externo como interno, la cual desemboca en el diseño de un conjunto de sistemas que engloban a todo el prototipo. Una vez finalizada la etapa de diseño, comienza la fase de implementación de sistemas, en la cual se verifica el funcionamiento independiente de cada uno y posteriormente en la etapa de integración se produce la fase de verificación de funcionamiento en conjunto con el resto de sistemas. Superadas ambas etapas de implementación e integración, comienzan las pruebas de validación del prototipo al completo con una campaña de ensayos en los cuales se documentan la información recogida por el prototipo. Con esta campaña, se verifica que el prototipo cumple con las expectativas de diseño y que cumple con los requerimientos establecidos en la primera etapa de arquitectura, de forma que pueda validarse favorablemente.

En cambio, la segunda parte llamada *Dirección Técnica* engloba la práctica a realizar y ya realizada a partir del plan del estratégico. En esta parte se pueden encontrar con mayor nivel de detalle, las acciones y tareas a realizar, planificación, procedimientos y documentos de elaboración propia (incluidos en anexo). De esta forma, la puesta en marcha de la teoría elaborada en el plan estratégico proporciona la guía de trabajo a desarrollar. Sólo se referencia al equipo/escudería USRacing en el momento que se exponen imágenes o información que no sea de autoría propia completamente.

Se realiza el cierre del trabajo con una discusión sobre la metodología empleada y el resultado final en la fabricación del prototipo, examinando los resultados obtenidos con la respuesta ofrecida. Esta acompañada con un capítulo de conclusiones extraídas de la relación entre las soluciones estudiadas y el objetivo de metodología de trabajo planteado.



## 2 Alcance

---

**E**ste trabajo de fin de grado debe estar y estará disponible para todos los miembros de la escudería de competición de USRacing para que puedan utilizarlo como base de partida para las nuevas temporadas y proyectos futuros.

La utilidad dependerá de la persona y el momento escogido para su lectura y comprensión, pues lo descrito en este documento no es una verdad universal, ni una máxima de obligado cumplimiento. Se trata más bien una guía de ayuda a la dirección del equipo, sobre la cual se pueden realizar anotaciones, extensiones de conceptos o profundización de los métodos y procedimientos descritos, siempre y cuando el beneficio para el equipo sea evidente.

Por tanto, este documento tiene cabida en todo lo relacionado con la gestión, dirección y en cierta medida, coordinación, de la parte técnica que engloba el proyecto de prototipado durante la temporada en la competición de MotoStudent. No obstante, este documento puede ser compartido con otras entidades y distribuido, siempre a través de una forma coherente y con conocimiento del equipo. Pues aunque no se trate de un secreto ni de una panacea, la metodología aplicada y la visión de enfoque del proyecto es un elemento clave que otorga ventaja competitiva.



# 3 Plan estratégico

---

El plan estratégico de este proyecto está definido por el conjunto de tareas y acciones que deben ser llevadas a cabo para desarrollar un prototipo de motocicleta de competición.

En la primera parte se establecen unos objetivos de trabajo para el equipo y el proyecto de competición:

- Diseñar una metodología de trabajo de verificación y validación V&V.
- Establecer un punto de inicio en el proyecto.
- Visión global, futuro del equipo y crecimiento.

En la segunda parte se desarrolla el modelo de verificación y validación V&V planteado, describiendo cada fase del proyecto desde el concepto inicial hasta la operación final:

- Concepto.
- Requerimientos y arquitectura.
- Diseño Prototipo.
- Implementación.
- Ensayos de verificación.
- Ensayos de integración de sistemas.
- Operación y mantenimiento.

## 3.1 Objetivos

Se establecen los objetivos del diseño de la metodología de trabajo pertenecientes al plan estratégico del equipo:

- **Diseñar una metodología de trabajo de verificación y validación V&V.**
- **Establecer un punto de inicio en el proyecto.**
- **Visión global, futuro del equipo y crecimiento.**

Siguen dentro de la sección, la extensión de los objetivos para mayor profundidad.

### 3.1.1 Diseñar una metodología de trabajo de verificación y validación V&V

La falta de organización o de una estructura fija de desarrollo lleva a la pérdida de material y tiempo, con el coste económico que conlleva. Por ende, se hace necesario el establecimiento de una serie de esquemas, líneas de trabajo y procedimientos que permitan destinar los recursos, tanto humanos como materiales, de forma optimizada y controlada.

Por este motivo, se plantea un modelo de trabajo de verificación y validación, conocido como modelo en V (uve), que permite establecer un criterio a seguir para el desarrollo del proyecto (en este caso, del prototipo). Se trata de una manera de minimizar los riesgos y gastos totales del proyecto, pues existe más control sobre cada una de las partes del proyecto que se está trabajando, y con este enfoque más exhaustivo, es posible mejorar la calidad final de cada parte y del proyecto en su totalidad.

### 3.1.2 Establecer un punto de inicio en el proyecto

Se trata del objetivo más importante de los tres, pues está planteado para poder establecer los criterios de funcionamiento interno, el desarrollo temporal y obtener el objetivo final.

La particularidad de la establecer un punto de inicio reside en la importancia de proporcionar un semilla común, accesible y clara que permita solucionar los problemas derivados de la temporalidad de los miembros universitarios integrantes del equipo. Este hecho parte de la distribución anual del calendario lectivo de la educación universitaria, coincidente a su vez en la distribución de trabajo dentro del equipo de competición.

Por tanto, es importante generar una base sólida sobre la que fundamentar el trabajo, definida por un conjunto de normas e indicaciones, que puedan perdurar en el tiempo. Esto no implica establecer un conjunto de directrices férreas e inamovibles, si no que estas puedan servir y evolucionar para orientar a las nuevas generaciones partícipes dentro del equipo.

### 3.1.3 Visión global, futuro del equipo y crecimiento

Independientemente del departamento o de las funciones asociadas dentro del equipo, un miembro del mismo debe tener la posibilidad de poder conocer el estado del proyecto en cualquier momento, además de poder recibir la información sobre la magnitud del mismo.

Relacionando este objetivo con el anterior, la posibilidad de controlar todos los aspectos sobre los que se van avanzando en el proyecto del prototipo genera información de forma cronológica que puede ser almacenada, procesada y expuesta visualmente. Consultando la última información reciente, es posible conocer el estado en tiempo real en el que se encuentra el proyecto, y si además en esta información se hace referencia al proyecto completo, es posible ubicarse de forma más clara e intuitiva en la línea temporal de desarrollo del mismo.

En definitiva, este objetivo apuesta por la trazabilidad de las acciones que han sido ejecutadas, las que se están llevando a cabo y las que han sido planificadas. Al final de este proyecto, el histórico de todas las acciones realizadas permite analizar los tiempos y suministros empleados a cada acción,

otorgando la posibilidad de mejora, optimización y búsqueda de fallos que no se han tenido en cuenta hasta la fecha.

## 3.2 Diseño de una metodología de trabajo de verificación y validación

### 3.2.1 Concepto

Es necesario conocer el objetivo que se plantea para la competición; desarrollar de un prototipo experimental y funcional de motocicleta eléctrica de competición.

Por tanto, es necesario establecer los sistemas que intervienen en el prototipo y definir sus interfaces para poder establecer un criterio de desarrollo y funcionamiento, y consecutivamente, sus prestaciones. La composición planteada en este trabajo hace referencia al propuesto dentro del curso de formación *Systems Engineering* (Ingeniería de sistemas) proporcionado por la *Universidad de Canberra* en su plataforma online [13].

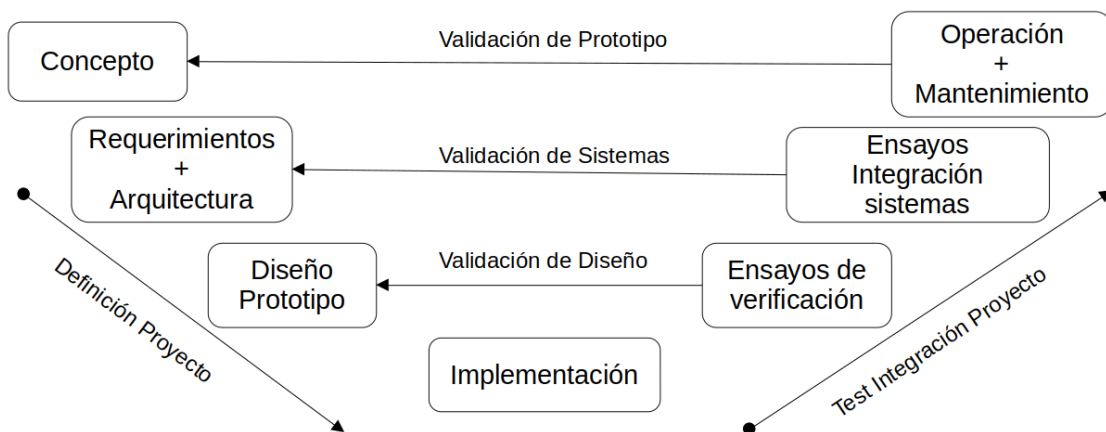


Figura 3.1 Modelo V&V planteado para el proyecto.

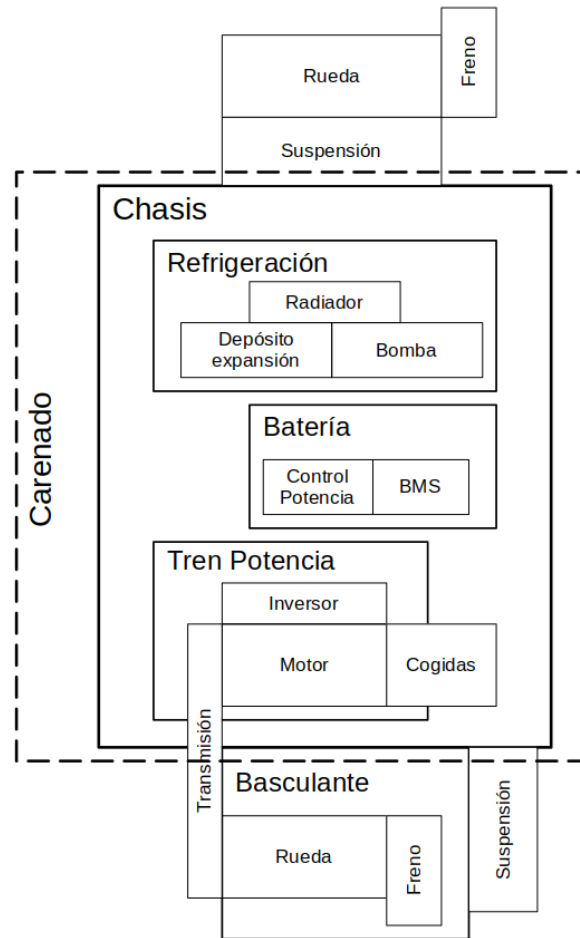
En el desarrollo de este prototipo es necesario disponer de:

- Una estructura con una geometría dada sobre la cual integrar el resto de componentes y que de forma al prototipo.
- Un sistema de propulsión, que permite utilizar la energía almacenada en su interior para transformarla en potencia mecánica en las ruedas y poder acelerar el prototipo.
- Un carcasa exterior, que permita otorgar una forma ergonómica para el piloto junto con una forma aerodinámica que permita reducir la fricción del prototipo a su paso por el aire.

En la fig.3.2 se puede visualizar un esquema a base de bloques definiendo las principales partes del prototipo de motocicleta, integrando las necesidades antes mencionadas para el desarrollo. Se especifica que no están incluidas todas las partes que componen el prototipo, pues la misión de este esquema es la de transmitir la idea de prototipo sin profundizar en detalle. Continuando con la misma figura, podemos observar principalmente dos grandes bloques, uno llamado *Chasis* y otro llamada *Carenado*, los cuales abrazan a un conjunto de bloques más reducidos que a su vez contienen más subdivisiones en otros bloques.

El primer bloque *Chasis*, es un componente de la estructura del prototipo sobre el cual están ubicados la mayoría de componentes. El segundo bloque *Carenado* es un componente aerodinámico que da la forma exterior a todo el conjunto del chasis y gran parte del prototipo. Dado que el *Carenado* es una cubierta del *Chasis*, este está definido con un trazado a segmentos, pues el objetivo es centrarse en el *Chasis* y de los bloques adyacentes.

El *Chasis* está constituido principalmente como una estructura de soporte metálica, en la cual tienen cabida el bloque de *Refrigeración* para la disipación de calor en el bloque motor, el bloque de



**Figura 3.2** Esquema conceptual del prototipo.

propulsión eléctrica llamado *Tren Potencia* y el bloque de almacenamiento eléctrico llamado *Batería*. En su parte exterior, inferior y conectado con el mismo, disponemos de otro bloque estructural denominado *Basculante*, el cual está conectado al *Chasis* a través de un eje de anclaje y de un bloque de *Suspensión*. Se puede definir el *Basculante* como una parte estructural que genera un mecanismo con el chasis, de forma que se permite el giro del mismo y por tanto una amortiguación al terreno (adaptándose las irregularidades del mismo). Por su parte exterior superior, y conectada también, está la *Suspensión* de la rueda delantera, físicamente formada por una horquilla con manillar que conecta la rueda con la tija del chasis.

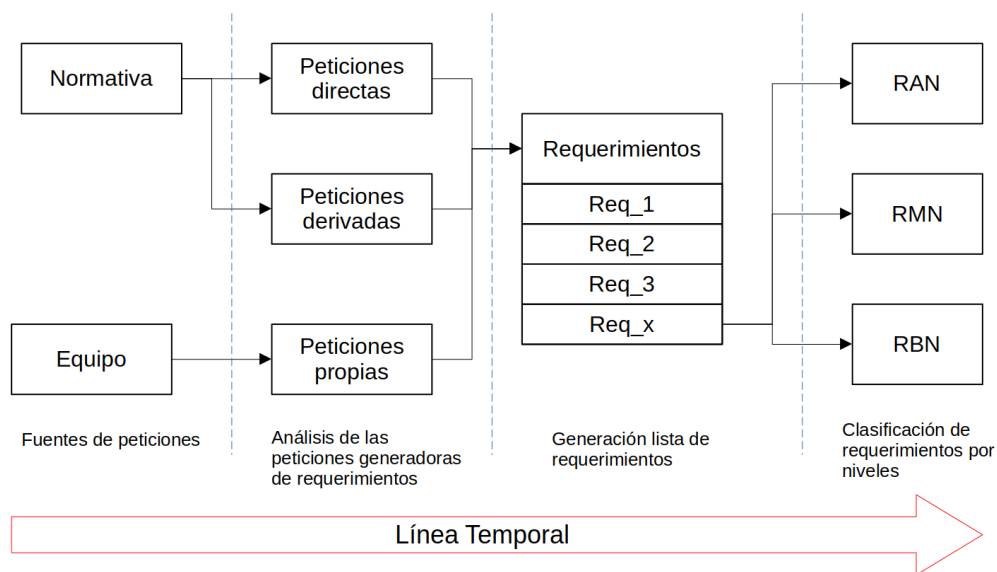
Aún teniendo una visión global del proyecto del prototipo, en la fase de concepto se establecen las prestaciones a cumplir por el mismo, que luego podrán ser validadas en la fase final de operación y mantenimiento. Para llegar a este fin, se detallan en las tablas B.1, B.2, y B.3, incluidas a en el apéndice B, las prestaciones necesarias para definir el conjunto del dispositivo, definidas al inicio del proyecto y cerradas definitivamente al final de la fase de diseño, antes de proceder con su implementación y construcción.

### 3.2.2 Requerimientos y arquitectura

#### Requerimientos

Los requerimientos son un conjunto de cualidades o características que se deben cumplir en el prototipo. Tienen un fin determinado, ya sea de seguridad, normativa, competición o administración. A modo de ejemplo, puede generarse un conjunto de requerimientos *constructivos* a través de la competición que determinan las cualidad físicas de la estructura de un sistema, como puede ser el material empleado, el tipo de unión entre elementos, el proceso de fabricación, o el patrón empleado para la distribución.

Para el proyecto del equipo de competición, se realizan dos tipos generales de clasificación de requerimientos, según su origen y según el nivel de afectación. Por ende, primero es necesario generar la lista de requerimientos según su origen para después analizarla y distribuirla en niveles según el grado de afectación a sistemas y componentes.



**Figura 3.3** Generación de Requerimientos a través de las peticiones de la normativa y del propio equipo.

De esta forma, se realiza la clasificación de los requerimientos en función de su origen:

- **Requerimientos directos por normativa [RN]:** Son las peticiones directas que se convierten en requerimientos impuestos por el reglamento de competición, en los cuales se especifican de forma detallada las prestaciones y las cualidades que deben cumplir principalmente los sistemas que integran el prototipo. Son un tipo de requerimientos fijos y de obligado cumplimiento.
- **Requerimientos derivados por normativa [RDN]:** Se tratan de las peticiones derivadas que son transformadas en requerimientos que surgen a raíz del análisis del reglamento de la competición, definidos internamente por el equipo pues no han sido completamente detallados o existe cierto margen de actuación. Por tanto, se trata de un requerimiento flexible que permite una leve modificación posterior, si fuese necesaria en función de la evolución del desarrollo del prototipo, pero que es de obligado cumplimiento.
- **Requerimientos propios de diseño [RPD]:** Este último tipo de requerimiento proviene de las peticiones propias del equipo, recogido a través de las necesidades planteadas por la dirección técnica del equipo en vista del cumplimiento de las prestaciones de diseño para el prototipo. Se tratan de un tipo de requerimiento generado a través de los objetivos planteados en diseño.



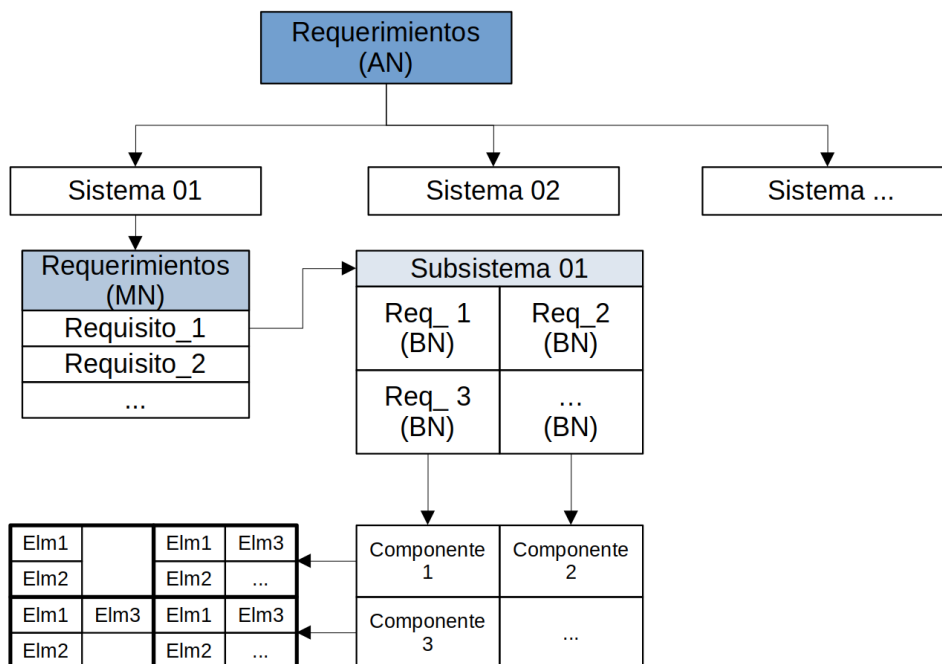
de prototipo, también con cierto grado de flexibilidad y que no han sido impuestos de forma externa, por lo que es competencia y responsabilidad del propio equipo su cumplimiento.

Al final del análisis según origen se obtiene una lista de requerimientos que deben ser cumplidos satisfactoriamente para concluir en un producto (prototipo) de acuerdo al reglamento de la competición y a los objetivos propios del equipo. Después, estos requerimientos son categorizados y disgregados, generando los diversos sistemas necesarios para su cumplimiento. Estos sistemas pueden estar ya preestablecidos (véase la figura 3.5), aunque existe la posibilidad de crear nuevos sistemas si surge un conjunto de nuevos requerimientos que lo precisen.

Se establece la clasificación de requerimientos según su nivel de afectación de la siguiente forma:

- **Requerimientos de Alto Nivel (RAN):** Se tratan del conjunto de requerimientos extraídos y depurados que deben ser validados por los sistemas.
- **Requerimientos de Medio Nivel (RMN):** Son el conjunto de requerimientos que descienden del sistema y generan una lista de requisitos que deben ser cumplidos por cada subsistema.
- **Requerimientos de Bajo Nivel (RBN):** Es el nivel más bajo de requerimientos, que al igual que los RMN se convierten en requisitos específicos para cada componente del subsistema.

Por tanto, queda reflejado que el conjunto del prototipo completo ya fabricado en fase de ensayo es el que debe cumplir favorablemente con los requerimientos, y se consideran de como RAN. En cambio, los requerimientos con los que se crean y diseñan los sistemas y demás subdivisiones internas, se tratan como requerimientos de medio nivel (RMN) o bajo nivel (RBN).



**Figura 3.4** Esquema conceptual de generación de Sistemas, SubSistemas, y Componentes a partir de los RAN, RMN y RBN.

### Arquitectura

Se define la arquitectura del proyecto como el planteamiento de la organización y de la relación entre sistemas del prototipo.

Para el prototipo se basa en el mismo esquema de sistemas, ensamblajes y subensamblajes planteados en diseño anteriormente, aunque en este caso se utiliza una terminología diversa:

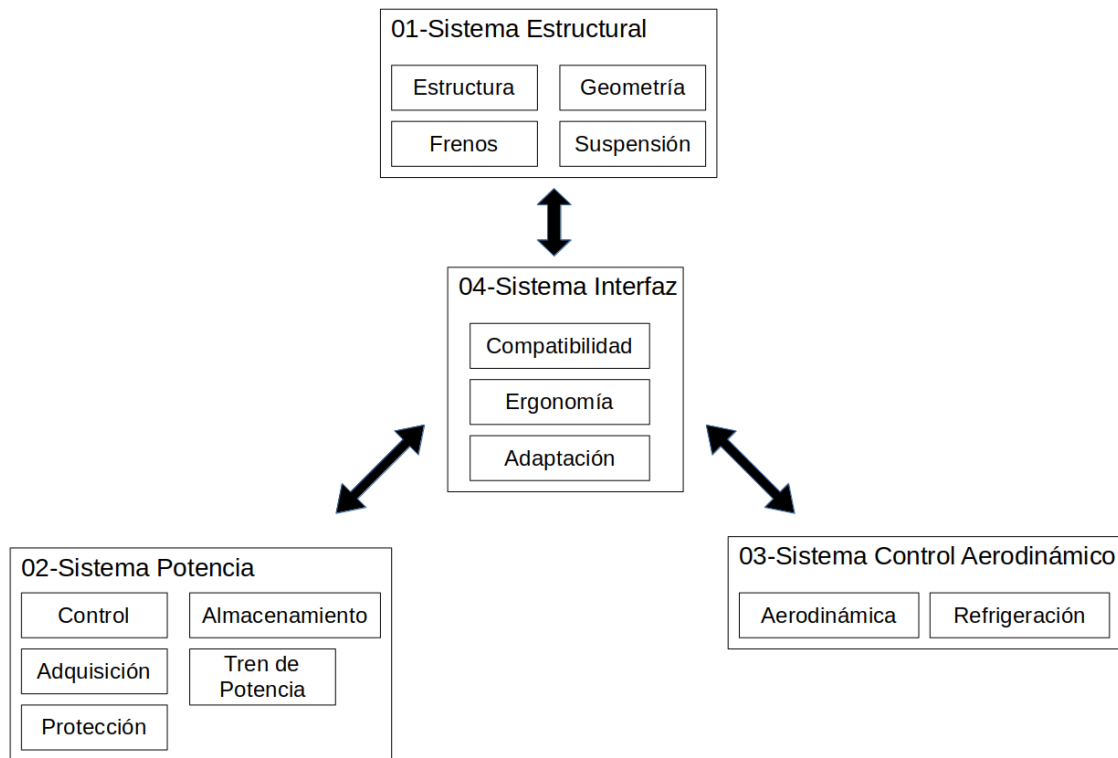


Figura 3.5 Arquitectura del modelo con sistemas y subsistemas.

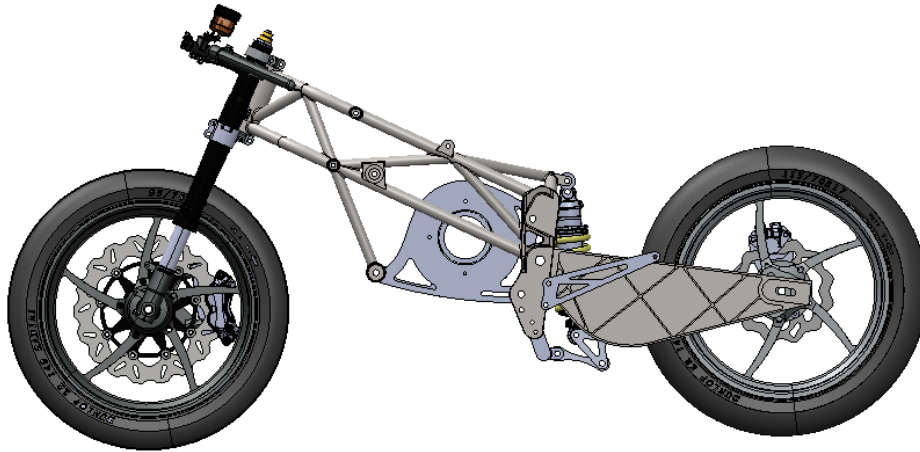
Concepto	Concepto mecánico	Descripción
Sistema	Sistema	Unidad que satisface requerimientos
Subsistema	Ensamblaje	Divisiones de un sistema, satisface requisitos
Componente	Subensamblaje	Conjunto de elementos
Elemento	Pieza	Unidad mínima

Por tanto, se define que un sistema sí puede satisfacer o **validar** un conjunto de requerimientos, pues el conjunto de todos los sistemas deben satisfacer todos los requerimientos planteados RAN. En cambio, los subsistemas están enfocados para generar una respuesta precisa, como puede ser el *Tren de potencia* que genera un impulso mecánico, cumpliendo con requerimientos RMN. Por ende, el componente no es más que otra división de los subsistemas que por sí mismo no es capaz de proporcionar una respuesta que haga cumplir con los requerimientos RMN y dependa del subsistema para generar una respuesta adecuada, aunque puede cumplir con requisitos que hayan sido impuestos por requerimientos RBN.

#### Sistema estructural

Se trata de la parte del prototipo encargada de establecer la estructura de soporte y asentamiento para el resto de componentes. Está distribuido por diversos subsistemas que establecen los criterios de funcionamiento de toda la estructura.

- **SubSistema de Geometría:** Define las características estructurales externas del prototipo. Se engloba dentro de este subsistema:
  - La distancia entre ejes de las ruedas.
  - Las dimensiones mínimas y máximas que ocupa el prototipo.
  - El tipo de suspensión definido para la estructura planteada.



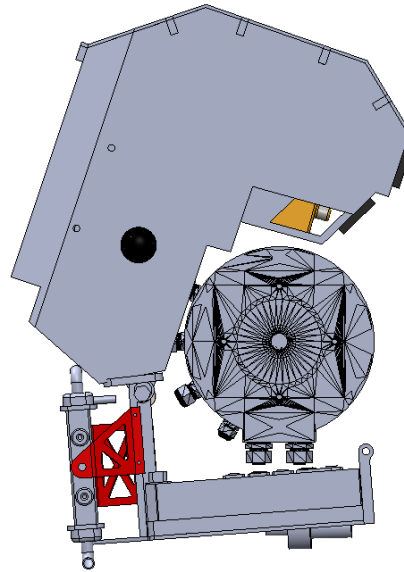
**Figura 3.6** Visualización del diseño 3D del sistema Estructural, a través de *SolidWorks Student Version* [5] por la US. Propiedad de la escudería USRacing.

- La proyección del trazado por curva.
- **SubSistema de Estructura:** Establece el tipo de elementos que componen la estructura de soporte:
  - Tipo de chasis, procedimiento de fabricación y material empleado.
  - Tipo de basculante, procedimiento de fabricación y material empleado.
  - Elementos auxiliares de soporte, como los anclajes, uniones móviles y uniones fijas.
- **SubSistema de Frenos:** Se trata de un subsistema activo, dedicado a reducir la velocidad del prototipo por acción del piloto. Está compuesto principalmente por los elementos físicos que componen un sistema de frenada normal de automoción: disco, pinzas, sistema hidráulico, bomba, pistones, manillar, reservorio y pedal. Este tipo de componentes se adquieren de proveedores externos.
- **SubSistema de Suspensión:** Fijado anteriormente por el Subsistema estructural, el subsistema de suspensión trabaja la amortiguación del prototipo y del piloto a lo largo de la trazada por pista. Físicamente está compuesto por un amortiguador, los anclajes del basculante y del chasis, y de un mecanismo opcional de bieletas si el tipo de amortiguación no es directa (obteniendo progresividad o regresividad en la compresión/extensión del amortiguador). Este tipo de componentes se adquieren de proveedores externos.

### Sistema de potencia

El sistema de potencia tiene la finalidad de proporcionar la potencia mecánica necesaria al prototipo para poder desplazarse. Por tanto, al tratarse de un gran sistema completo, está compuesto por diversos subsistemas que permiten establecer funcionalidades directas:

- **SubSistema de Control:** Genera la programación lógica que rige el funcionamiento del sistema de potencia, desde el mapa motor hasta la sensibilidad de los dispositivos. Principalmente, envía el punto de funcionamiento del motor a través de señales eléctricas al SubSistema de Almacenamiento para que proporcionar la potencia necesaria. Además, permite la grabación de datos de comportamiento del prototipo y la visualización en tiempo real a través del dashboard para el piloto si está en carrera, o a través de monitorización por pantalla si es de forma estática.



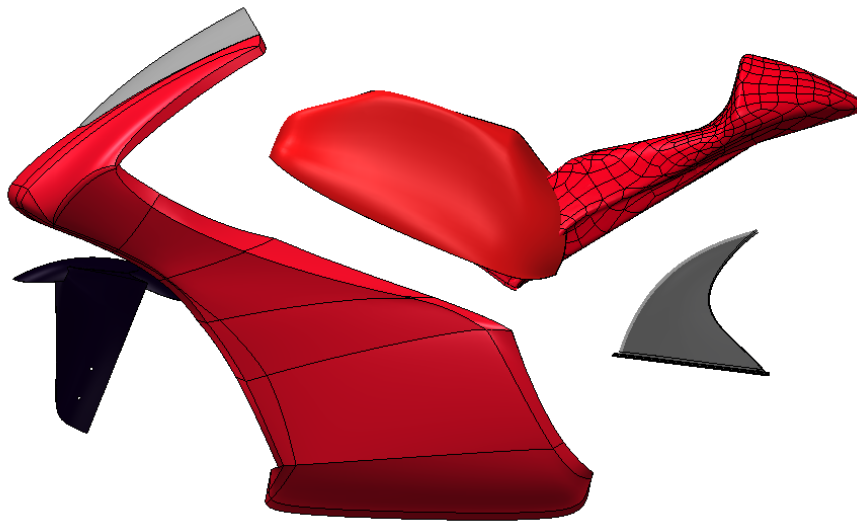
**Figura 3.7** Visualización del diseño 3D del sistema de Potencia y parte del subsistema de Refrigeración dentro del "bloque motor", a través de *SolidWorks Student Version* [5] por la US. Propiedad de la escudería USRacing.

- **SubSistema de Almacenamiento:** También conocido como *batería*, es un subsistema que se encarga de almacenar la energía eléctrica en bloques de pilas y controla a través de un sistema de gestión de batería (BMS) el flujo de carga y descarga de cada bloque de pilas. Permite establecer una frontera entre la parte de almacenamiento y la parte de potencia, por tanto, este subsistema sólo recibe señales de demanda o suministro de potencia, mientras que la gestión interna de cada bloque de pilas es totalmente autónoma y no es necesario
- **SubSistema de Tren de potencia:** Se trata del sistema propulsión, transformando la potencia eléctrica del subsistema de almacenamiento en potencia mecánica en el eje del motor (y en la rueda a su vez), incluyendo principalmente al motor y la transmisión por cadena a la rueda trasera. Recibe un conjunto de señales eléctricas que rigen su funcionamiento en función de la demanda que genera el piloto y del mapa de funcionamiento de la curva de potencia en función de las revoluciones.
- **SubSistema de Adquisición:** En comparación con el resto de subsistemas de potencia eléctricos, este subsistema se encarga de la correcta adquisición del tráfico de datos del prototipo, que sirve posteriormente para su análisis y su verificación. Está compuesto por conexiones realizadas a los buses de datos y a los datos recibidos por la instrumentación del prototipo (sensorización del prototipo). Engloba también el almacenamiento de la grabación en la propia memoria del dashboard y su posterior descarga a ordenador, incluido también por telemetría.
- **SubSistema de Protección:** El subsistema de protección está involucrado en todas las partes del prototipo en las que exista un flujo de potencia, de energía eléctrica, y que requiere de un control de potencia en cuanto a sobretensiones y sobreintensidades. Está compuesto principalmente por elementos de protección como una caja de fusible y un contactor de potencia a través de relé para el tren de potencia del motor.

### Sistema de Control Aerodinámico

El sistema de Control Aerodinámico es el encargado de establecer un comportamiento frente a la masa de aire que atraviesa el prototipo, ya sea de forma interna o externa. Por tanto, está destinado

generar una interfaz con una aerodinámica óptima que permita reducir el rozamiento por fricción con el aire y a aprovechar el flujo de aire para la refrigeración de componentes.



**Figura 3.8** Visualización del diseño 3D del sistema de Control Aerodinámico (sólo subsistema Aerodinámico), a través de *SolidWorks Student Version* [5] por la US. Propiedad de la escudería USRacing.

- **Subsistema de Aerodinámica:** Consiste en los elementos aerodinámicos que recubren el prototipo y ayudan a la obtención de una forma aerodinámica que reduzca la resistencia al aire del prototipo. Externamente está compuesto por el carenado y la quilla, e internamente por el cubre depósito. El colín es un elemento que actúa tanto internamente como externamente, pues internamente ayuda a la ergonomía del piloto respecto a la estructura (como el cubre depósito) y externamente genera la cola del prototipo en su extremo final.
- **Subsistema de Refrigeración:** La refrigeración de los componentes internos del prototipo es esencial para asegurar su comportamiento en funcionamiento. En este caso, existe un sistema dedicado de refrigeración líquida por agua destilada que reduce la temperatura del motor eléctrico gracias al uso de un radiador de flujo cruzado con aletas, el cual aprovecha la alta velocidad del aire a su paso. También, para el dispositivo de almacenamiento eléctrico existe una serie de registros con filtros que permiten la entrada frontal de aire, y un sistema de ventilación activa que genera un subpresión favoreciendo la entrada de aire frontal y permitiendo la salida posterior evitando un remansamiento en el interior.

### Sistema Interfaz

El sistema Interfaz tiene la misión de ofrecer una capa intermedia adaptativa a las necesidades y a las prestaciones de cada sistema y establecer un punto central para la conexión. A priori, se trata de un sistema de un nivel de abstracción mayor al resto de sistemas, pues a diferencia de estar representado físicamente por componentes, esta conceptualizado por las condiciones y límites a las que tiene que regirse para que la conexión entre sistemas pueda producirse. No obstante, puede tener ciertos subsistemas o componentes que sí tengan una representación física, como puede darse, por ejemplo, con las piezas auxiliares de anclaje entre componentes.

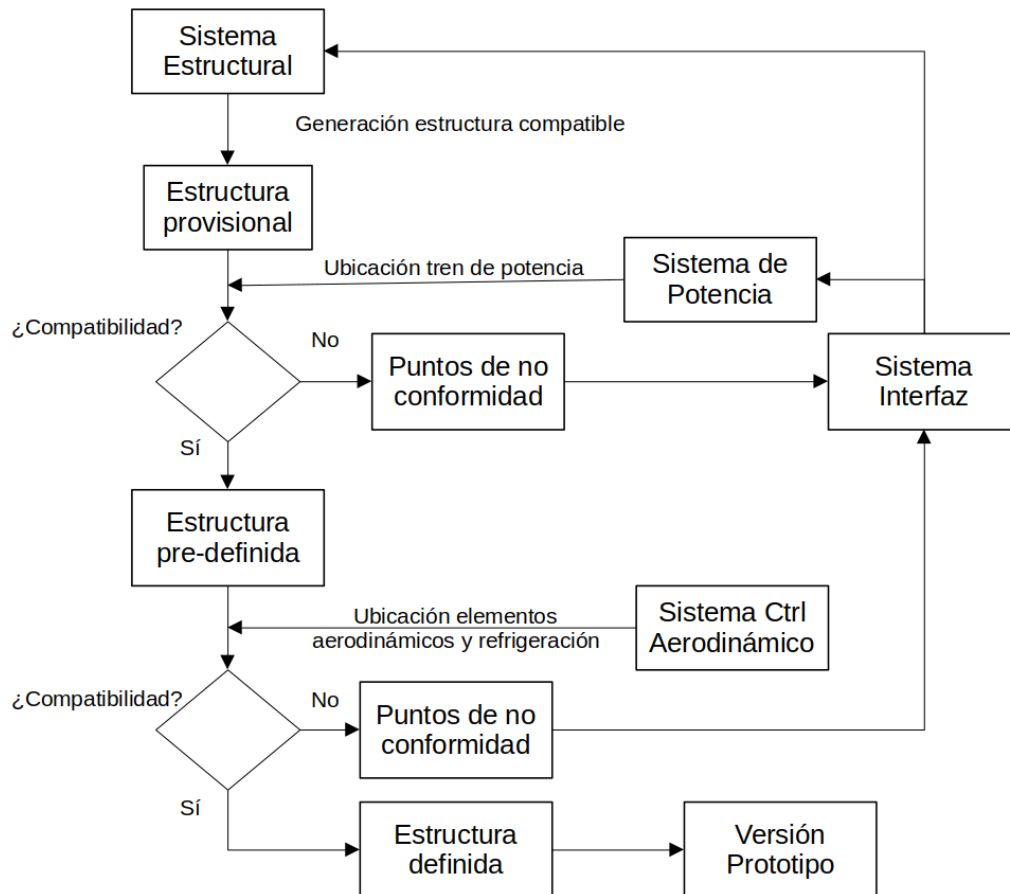
- **Subsistema de Compatibilidad:** Se encarga de que los diversos sistemas sean independientes entre sí y no entren en conflictos cuando desempeñan sus funciones. Por ejemplo: Se encarga de revisar que el cableado existente entre el chasis y el manillar del piloto no impida el

movimiento de giro de este, ni tampoco afecte el mismo giro de este al funcionamiento eléctrico del cableado. Cuando se produzcan compresiones máximas de la amortiguación delantera y trasera, no existan piezas que hagan contacto ni con el terreno ni con las ruedas, al alcanzarse la máxima posición de retracción.

- **SubSistema de Ergonomía:** Tiene en cuenta la posición del piloto respecto al prototipo, de los gestos y movimientos pertinentes y de como se adapta el piloto al prototipo en función de la modalidad de conducción. También establece las ubicaciones de botones, panel de control y apoyos de descanso.
- **SubSistema de Adaptación:** Genera las interfaces necesarias para la compatibilidad directa de subsistemas de diversos sistemas. Por ejemplo:
  - El subsistema de suspensión trasero precisa de un/os punto/s de conexión con el chasis y un/os punto/s de conexión con el basculante. Por ende, es necesario fijar previamente las posibles zonas de anclaje disponibles para que los diseños preliminares de las piezas se adecuen a estas zonas.
  - El subsistema de almacenamiento necesita transmitir potencia eléctrica a través de un cableado de grosor elevado. Por consiguiente, se debe crear un espacio disponible y accesible dentro del prototipo para que pueda discurrir dicho cableado y establecer la conexión entre la batería y el inversor, y luego entre el inversor y el motor. Este espacio está reservado por el subsistema de adaptación para evitar que los componentes de otros subsistemas interfieran en su paso.

### 3.2.3 Diseño de Prototipo

El diseño de un prototipo se fundamenta en la correcta implantación del conjunto de sistemas de los cuales está constituido. Dicho diseño es un proceso iterativo en el cual convergen las características de cada sistema, llegando a un punto intermedio que permite la compatibilidad entre sistemas y su correcto funcionamiento.

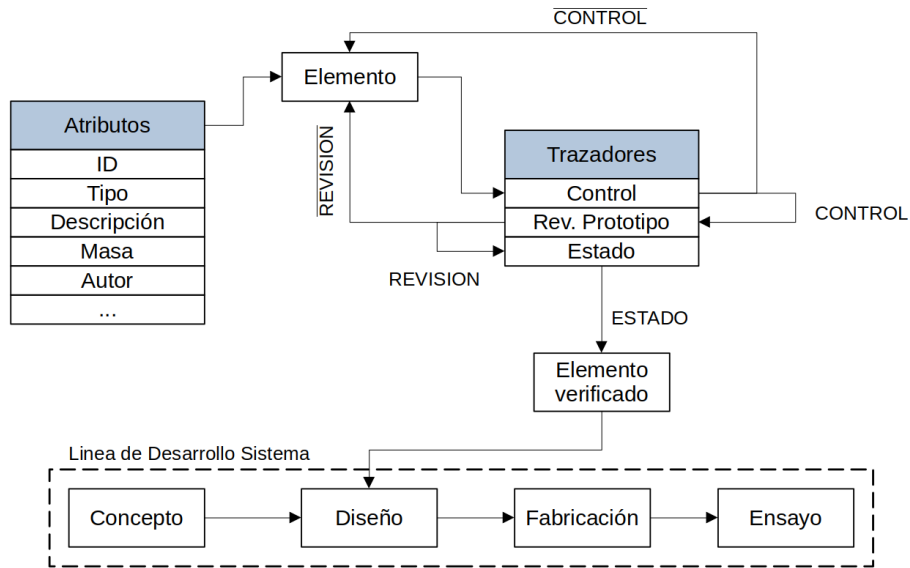


**Figura 3.9** Proceso de iteración para obtener una versión de prototipo.

El planteamiento descrito (fig.3.9) permite establecer un orden a priori que ayude a converger en un prototipo (o versión de prototipo). Es posible en el futuro definir otras formas de convergencia, en función de la disponibilidad de recursos, tiempo y equipo. Continuando con el proceso, se observa que la carga de trabajo empleada a cada sistema no está distribuida de forma homogénea en el tiempo, pues en el lazo siempre estará incluido el sistema estructural.

Se parte de una base fijada por la geometría de la moto, definida anteriormente a través de los requisitos RPD, y sobre esta debe generarse la estructura (chasis y basculante) básica de apoyo para el sistema de potencia y de control aerodinámico. Teniendo en cuenta que el sistema estructural ha destinado un espacio para componente del resto de sistemas, estos último deben establecer un proceso de control y examinar si el diseño provisional planteado por el sistema estructural es compatible con la disposición de los elementos físicos propios. Por ello, se parte de la estructura provisional para el caso del sistema de potencia y de la estructura pre-definida para el sistema de control aerodinámico, y en el caso que dicha estructura no cumpla con las necesidades planteadas por ambos sistemas, se establecen una serie de "puntos de no conformidad".

Dicha serie de "no conformidades" no es más que una lista de puntos e incidencias que han surgido a la hora de ubicar y anclar los elementos dentro de la estructura. La lista debe ser recogida

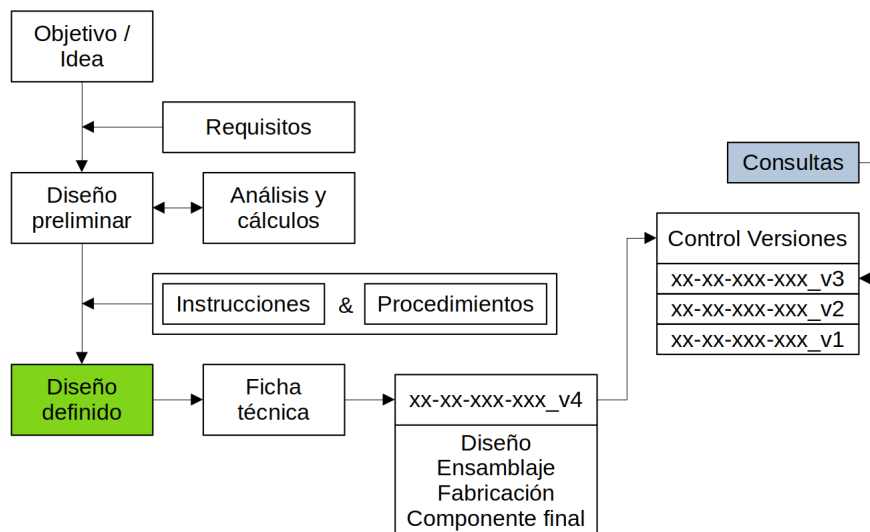


**Figura 3.10** Procedimiento para la validación en fase de diseño de un elemento, (pieza o componente).

y enviada al sistema interfaz, pues se encarga de establecer qué sistema debe sufrir las nuevas modificaciones y adaptar las no conformidades en acciones directas de aplicación sobre el sistema objetivo.

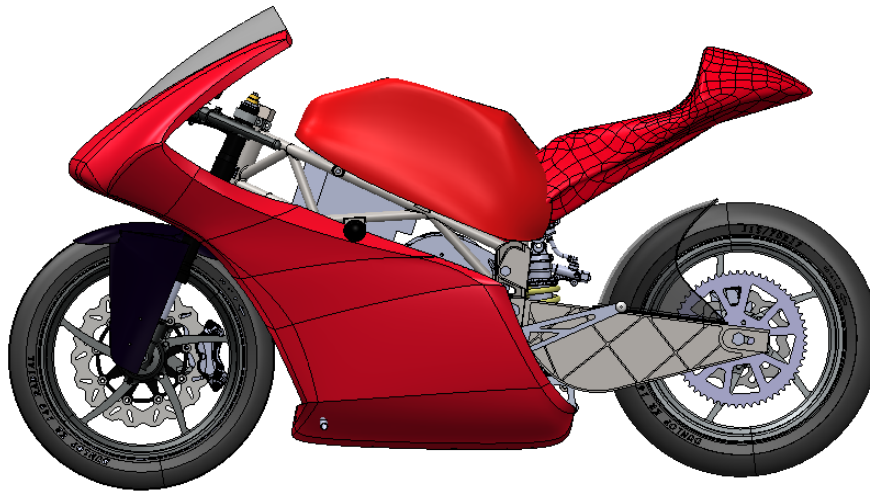
El proceso definido a alto nivel de la fig.3.9 implica que para la obtención de un sistema en su forma completa, se deben primero formar los subsistemas pertenientes y los componentes que lo conforman.

Para ello es imprescindible establecer un proceso de control (fig. 3.10) en el cual se puedan definir y ordenar la versión realizada de cada componente (figura 3.11).



**Figura 3.11** Procedimiento para la generación de un elemento (pieza o componentes) con su correspondiente ficha técnica y con el control de versiones, en este caso la generación de versión v4.





**Figura 3.12** Vista perfil del Prototipo 006, Edición VII, realizado con *SolidWorks Student Versión* [5] por la US. Propiedad de la escudería USRacing.

### Líneas de trabajo

La distribución de la carga de trabajo se realiza a través de Líneas de Trabajo (*LdT*) destinadas a la ejecución de un determinado tipo de tareas. Por tanto, la *LdT* es una plataforma de producción capaz de realizar un conjunto de tareas especializadas, compuesta por un grupo reducido de integrantes del mismo departamento que se coordinan a bajo nivel para cumplir con las tareas asignadas.

Las *LdT* pueden ser de muy diversa índole y no tienen porque estar relacionadas con la ejecución de tareas físicas propias de taller como puede ser fabricación, operación o mantenimiento, si no que pueden tener un concepto más abstracto cómo análisis, diseño, documentación y un largo etcétera.

Las *LdT* establecidas en cada departamento técnico son:

- **LdT-Diseño**

Se compone de un grupo de diseñadores en 3D con el objetivo de realizar los planos y figuras tridimensionales a través de CAD. Materializan el concepto de pieza, subensamblaje y ensamblaje y son los encargados de crear la documentación técnica realacionada con el diseño generado, es decir, las fichas técnicas (FT) o *datasheet*.

- **LdT-Simulación**

Es otro grupo encargado de adaptar el diseño al entorno de simulación y de llevar a cabo las simulaciones de los componentes generados por la *LdT-Diseño*. Las simulaciones usadas habitualmente son las mecánicas, térmicas, aerodinámicas, fluidodinámicas y eléctricas. A su vez, describen el proceso realizado para la simulación dentro de la ficha técnica y los resultados obtenidos

- **LdT-Análisis**

Se trata de un grupo con la capacidad de analizar los resultados obtenidos en la *LdT-Simulación* y sacar las conclusiones que permitan crear un criterio favorable o desfavorable al análisis realizado, y por tanto, al diseño realizado. Este análisis es descrito en la ficha técnica correspondiente acompañando a los resultados de la simulación.

En función de cada departamento, existirán otras *LdT* adaptadas a las tareas de fabricación, gestión de taller y prototipo, las cuales deben ser definidas al inicio del proceso. También, por motivos de gestión de personal y por facilidad del entorno, un miembro pertenece a una o más *LdT*, como suele ser el caso entre *LdT-Diseño* y *LdT-Simulación*, o *LdT-Diseño* y *LdT-Análisis*, e incluso

cambiar de LdT en función de la carga de trabajo de otras líneas de trabajo y por planificación de proyecto, aunque siempre será necesario que permanezca como mínimo un miembro en cada LdT como responsable.

### 3.2.4 Implementación

La fase de implementación corresponde con la etapa de fabricación según los procedimientos descritos en las fichas técnicas del prototipo. Se trata de una fase de larga duración temporal, donde los gastos son elevados y el coste de oportunidad se hace evidente en cada paso de la fabricación. La planificación temporal de la implementación debe ser acotada en la fase de arquitectura y requerimientos, mientras que en la fase de diseño se detallan los tiempos de ejecución previstos en horas necesarios para cada parte de la fabricación.

Por estos motivos, es primordial tener toda la documentación de la fase de diseño bien estructurada y ordenada, de tal forma que ante una duda, un defecto o un ensamblaje, se pueda acudir a ella y seguir el procedimiento acordado.

La fase de implementación se compone a su vez de varias etapas que describen los distintos estados en los que se encuentra dicha fase. Su ejecución es llevada a cabo por las LdT correspondientes que trabajan en paralelo, y por tanto, pueden existir diversas tareas de implementación a la vez y en distintas etapas:

1. Listado de material [LM]
2. Organización de los procedimientos de fabricación [OPF]
3. Fabricación de elementos y ensamblaje [FEE]
4. Medición de desviaciones [MD]
5. Documentación del historial [DH]

La gestión de la fase de implementación es esencial para la buena coordinación entre líneas de trabajo LdT y para ello, siempre es necesario conocer el estado de avance, empleándose tablas como la de la figura 3.13. En esta tabla se observan cómo se identifican las etapas de implementación dentro de cada línea de trabajo, independientes unas de otras.

	LM	OPF	FEE	ME	DH
LdT – 1	LM-1	OPF-1	FEE-1	ME-1	DH-1
LdT – 2	LM-2	OPF-2	FEE-2	ME-2	DH-2
LdT – 3	LM-3	OPF-3	FEE-3	ME-3	DH-3

**Figura 3.13** Fase de implementación en distintas líneas de trabajo (ejemplo de la 1 a la 3).

En las líneas de trabajo, se define un valor numérico definido en el rango [0..1] proporciona el nivel de avance de cada etapa de implementación. En la figura 3.14 se puede observar la LdT-1 sin ningún avance en las etapas (valor 0), mientras que en la LdT-2 se ha avanzado hasta MD sin aún haber acabado la etapa FEE. Esto es posible debido a que pueden existir elementos ya fabricados y terminados de los cuales ya se ha empezada a medir desviaciones de la fabricación. En cambio, en la LdT-3 aún no se ha terminado la parte de documentación previa de LM y OPF.

Por un lado, para conocer el estado de avance de cada LdT, se consulta la última columna naranja, la cual es la media ponderada de toda la línea. Por el otro lado, para conocer el estado general de cada etapa de implementación, se consulta la última fila naranja, la cual es a su vez la media ponderada de toda la columna. Además, la última casilla de la última fila (color blanco) indica el estado de avance de toda la fase de implementación, pues se trata también de la media ponderada de los estados de cada etapa general.

	LM	OPF	FEE	MD	DH	
LdT – 1	0	0	0	0	0	0
LdT – 2	1	1	0,8	0,5	0	0,66
LdT – 3	0,7	0,2	0	0	0	0,18
	0,34	0,2	0	0	0	0,11

**Figura 3.14** Fase de implementación en distintas líneas de trabajo con valores numéricos (ejemplo de la 1 a la 3).

### 1. Listado de material [LM]

Se inicia la fase de implementación con la adquisición de material y la preparación de las herramientas de trabajo pertinentes. El método de obtención de material se realiza a través de compras a proveedores o de adquisición a través de patrocinios propios del equipo. Con las herramientas de trabajo ocurre algo similar, dado que se sustituyen las herramientas averiadas y se compran herramientas faltantes.

Esta etapa finaliza con la elaboración de un inventario de piezas y materiales que son usados en la fabricación, y un listado de herramientas que son utilizadas a través de los procedimientos de fabricación de la siguiente etapa.

### 2. Organización de los procedimientos de fabricación [OPF]

En esta etapa se realiza la recopilación de la documentación de los procedimientos de fabricación necesarios para llevar a cabo la fabricación correspondiente a la LdT. En la mayoría de ocasiones esta etapa y la anterior de LM se realizan de forma paralela, pues las adaptaciones que se realicen a los procedimientos requerirán de más materiales o de otros materiales que puedan realizar el mismo cometido.

En el caso que no existiese un procedimiento fabricación específico para un componente, que no estuviese estandarizado y normalizado dentro del equipo, esta es la etapa en la que se genera dicho procedimiento y cubre la fabricación del componente. La etapa termina cuando se dispone de toda la documentación necesaria para iniciar la fabricación, con cada elemento definido y sin ambigüedades de procedimiento.

### 3. Fabricación de elementos y ensamblaje [FEE]

La fabricación es una etapa difícil de coordinar y de gestionar, pues es la etapa en la que se generan la mayor cantidad de problemas al pasar de un desarrollo teórico a papel, a un montaje físico real. Esta etapa está acotada por los márgenes temporales definidos en la fase de arquitectura y requerimientos planteada en el modelo V&V, y está controlada en tiempo de ejecución por las indicaciones de las órdenes dadas en la fase de diseño.

Es necesario recopilar toda la información posible, ya sea por escrito, en imágenes y vídeos de todo el proceso de fabricación, de tal forma que pueda añadirse a posteriori las variaciones, adaptaciones y acciones oportunas que han tenido que realizarse. Esta etapa finaliza con la fabricación de todos los componentes.

### 4. Medición de desviaciones [MD]

Al tratarse de un prototipo experimental, existen tareas, componentes, diseños, etc que siempre se realizan por primera vez. Además, tiene que dotarse de flexibilidad a las LdT que están ocupadas con las labores de implementación para poder cumplir con las expectativas de diseño, lo cual se traduce en un cierto incumplimiento ocasional de los plazos de fabricación.

Por tanto, es imprescindible que a medida que se conforme se inicia en la etapa de FEE los procesos de recopilación de información, se realicen análisis de las desviaciones que está sufriendo la fabricación respecto al diseño teórico. En este concepto, se incluye tanto los retrasos y sus motivos, las pérdidas, defectos de fabricación y/o diseño, recuperación de piezas antiguas, postprocesado realizados fuera de procedimientos y un largo etcétera. La etapa finaliza cuando se han terminado de fabricar todos los componentes y han sido comparados respecto al diseño original.

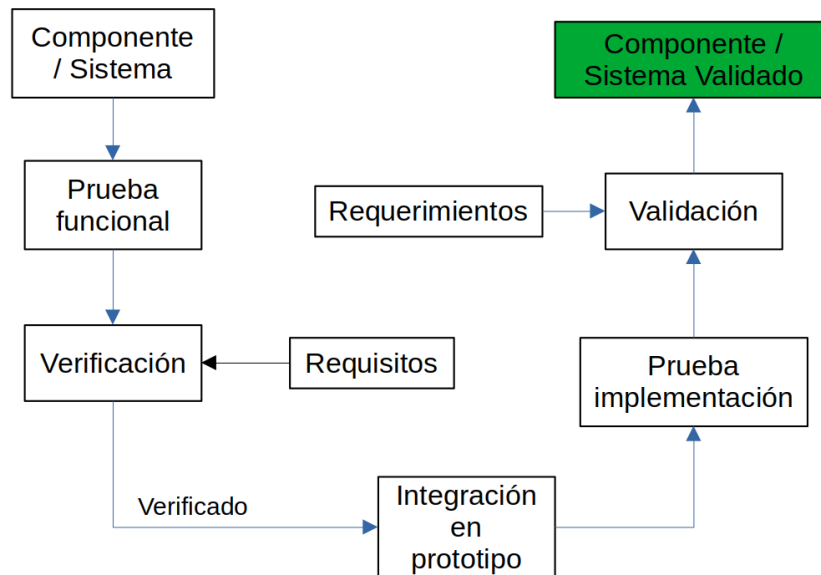
#### **5. Documentación del Historial [DH]**

La última fase de implementación recoge en forma de documento, todo el proceso de implementación realizado con una tabla de aprobaciones que indica que todos los componentes pendientes de la LdT han sido fabricados satisfactoriamente. Dicho documento, llamado Documento de Comisión de Resultados *DCR*, resume todos los aspectos que han tenido relación con esta fase de implementación, acompañado de todas las referencias al resto de documentos realizados en etapas anteriores.

La finalidad de esta etapa es sintetizar la información generada durante la fase e indexarla, de forma que si se quiere conocer en detalle alguna etapa del proceso, a través del documento se pueda identificar dónde se puede buscar dicha información. La etapa DH finaliza con la generación del un DCR favorable

### 3.2.5 Ensayos de verificación

La fase de test o ensayos de integración engloban desde los componentes y ensamblajes ya fabricados hasta la verificación de su funcionalidad según lo establecido en la fase de diseño. Para aclarar la cadena de desarrollo, hacemos referencia a la figura 3.15 en la cual podemos observar el recorrido que debe seguir un componente o sistema para ser validado dentro del prototipo. La fase de verificación inicia con la prueba funcional en banco y finaliza antes de ejecutar la integración en prototipo (correspondiente con la fase de validación en los ensayos de integración).



**Figura 3.15** Procedimiento para la verificación y validación de un sistema a alto nivel o un componente a bajo a nivel, dentro del prototipo.

Se describe a continuación, los dos estados según progreso:

- **Verificado:** Se dice del componente/elemento/sistema que ha sido sometido a una prueba funcional según procedimiento, y la ha superado de forma favorable.

*Ejemplo:* Se realiza el montaje del sistema de refrigeración líquida y se observa el funcionamiento del circuito de refrigeración. Si no se observan fugas, ni excesivo calentamiento de la bomba y la purga de aire se ha realizado correctamente, se puede decir que el sistema ha sido verificado, pues sí ejecuta su funcionalidad.

- **Validado:** Se dice del componente/elemento/sistema que ya ha sido verificado y se somete a una prueba funcional según procedimiento una vez ya integrado dentro del prototipo y que cumple de forma favorable con los requerimientos establecidos.

*Ejemplo:* Una vez verificado el sistema de refrigeración, este es integrado dentro del prototipo y se ejecutan dos ensayos, uno estático y otro dinámico, observándose los valores de temperatura y funcionamiento del circuito. Si se observa que no interfiere de forma ajena con otros sistemas y que los valores de funcionamiento cumplen con los valores establecidos anteriormente por los requerimientos, se puede afirmar que el sistema ha sido validado, pues cumple con su función dentro del prototipo.

### 3.2.6 Ensayos de integración

Los ensayos de integración corresponden con la realización de pruebas funcionales de cada sistema dentro del conjunto del prototipo. Los ensayos de integración engloban el siguiente conjunto de series de ensayos ordenados de forma temporal:

- **Ensayos de integración de sistema en prototipo**

Corresponden a la serie de ensayos realizados en la cual se tiene como objetivo la validación de un único sistema dentro de la estructura del prototipo. Corresponde con la primera fase de ensayos de integración en la que el prototipo prácticamente está al descubierto, sólo con la parte básica del sistema estructural montada. Cabe recordar que cada sistema puede estar formado por un gran conjunto de subsistemas, los cuales deben ir integrándose progresivamente en el prototipo hasta finalizar la integración del sistema al completo. Por este motivo, debe existir total compatibilidad, tanto a nivel de sistema como de subsistemas, con el prototipo.

Esta serie de ensayos engloban principalmente al Sistema estructural y al Sistema de Potencia, pues son los primeros sistema en integrarse dentro del prototipo y sobre los que se puede hacer un estudio de validación sin tener interferencias con otros sistemas, por lo que suele ser una serie de ensayos muy breve en el tiempo.

- **Ensayos de integración de varios sistemas en prototipo**

Esta serie de ensayos tiene mayor duración que el conjunto anterior, pues comienzan a existir los primeros problemas de interferencias entre los distintos sistemas montados en el prototipo. La finalidad de estos ensayos es estudiar la cómo se realiza la integración de cada sistema conforme se aumenta el número de sistemas (y de subsistemas) montados en el prototipo.

- **Ensayos de integración del prototipo al completo**

Corresponde con la última serie de ensayos, la cual se convierte en la más larga y extensa, pues es la etapa en la que salen a la luz todas las series de defectos de compatibilidad e integración entre sistemas que no han surgido anteriormente. La finalidad de esta serie de ensayos es cubrir de forma favorable con todos los requerimientos planteados en la definición del prototipo para validar el prototipo al conjunto y confirmar que cumple con las expectativas planteadas.

### 3.2.7 Operación y mantenimiento

La última fase del proyecto siguiendo la metodología V&V corresponde con la operación y mantenimiento del prototipo. Teóricamente, la operación del prototipo comienza con la campaña de validación de prototipo, que sería propiamente una campaña de ensayos incluida dentro de la fase de Operación + Mantenimiento. En la práctica, se observa que el prototipo, aún no habiendo cumplido con sus campañas de validación de sistemas, los últimos ensayos ya se realizan con prácticamente la totalidad de todos los sistemas en funcionamiento y cerrándose las últimas validaciones pertinentes.

En el capítulo 4 de Dirección Técnica se recupera esta sección de operación y mantenimiento, en la que se detallan los procedimientos básicos que deben ser llevados a cabo para una correcta operación del prototipo y un buen mantenimiento. Para evitar que en la fase de Operación y Mantenimiento se pierda por completo el seguimiento y la trazabilidad del estado del prototipo, está creado un libro de registros de operaciones llamado *LRO*, en el cual se identifican los datos que identifican cada operación del prototipo, existiendo una Hoja de Operación de Prototipo *HOP* por cada operación realizada.





## 4 Dirección Técnica

---

Este capítulo está enfocado desde la perspectiva de la figura de *Director Técnico* dentro de USRacing, puesto que se empezó a ejercer a principios del curso 2022-2023 y que finaliza a principios del curso siguiente 2023-2024.

La propia dirección técnica del equipo de USRacing, como bien indica, es la parte encargada de la organización y gestión de los departamentos técnicos que se encarga del diseño del prototipo de motocicleta eléctrica, la fabricación y ensamblaje del mismo, y su puesta a punto para la competición de MotoStudent.

Por un lado, el principio del capítulo está marcado por el estableciendo del punto inicial de partida en el cual se encontraba el equipo, el estado respecto de la competición y las perspectivas que en ese momentos e tenían planteadas. Con la toma del nuevo cargo, se realizaron modificaciones jerárquicas, nueva planificación de trabajo y nuevos objetivos de desarrollo.

Posteriormente, el capítulo avanza y profundiza en la organización y dirección, generándose una nueva metodología de trabajo para el equipo, ejecutándose como proyecto de verificación y validación *V&V*, definido posteriormente en el capítulo 3. Aparece una forma más rigurosa a la hora de plantear el prototipo:

- Planificación y gestión de departamentos siguiendo el modelo *V&V*.
- Plan general de fabricación PGF.
- Campaña de ensayos.
- Operación y mantenimiento.

## 4.1 Punto de partida en la dirección técnica

El cargo de director técnico se inicia en 2do año de la competición bianual de MotoStudent con la incertidumbre de cómo se va a afrontar la competición al no haberse realizado un correcto desarrollo del trabajo en el año anterior. Por ende, se inicia la etapa con un equipo que aún no ha empezado el diseño de ningún prototipo, sin planificación de actividades, sin seguimiento del trabajo realizado y con escasa documentación que permita asentar las bases de trabajo.

Se disponen de los siguientes departamentos técnicos diferenciados:

- **Departamento de E-PowerTrain y Sistemas Electrónicos:** Se trata del departamento encargado de los sistemas de eléctrica y electrónica instalados en el prototipo. Realizan principalmente el dimensionamiento del sistema de almacenamiento y del sistema de potencia eléctrica.
- **Departamento de Estructural:** Es un departamento encargado del desarrollo de todos los sistemas relacionados con el chasis del prototipo, el cual deberá ser capaz de cargar con todos los sistemas de eléctrica, electrónica, piezas aerodinámicas y piloto.
- **Departamento de Fluidodinámica:** Como su nombre indica, es un departamento enfocado en el análisis aerodinámico y del desarrollo de los sistemas de refrigeración de componentes del prototipo.

A partir de este momento, comienza la función a desarrollar por el Director Técnico (DT), autor del *TFG*, empezando por reunir a los jefes de cada departamento técnico (JD) para establecer una hoja de ruta del desarrollo del prototipo y del equipo.

### 4.1.1 MotoStudent International Competition

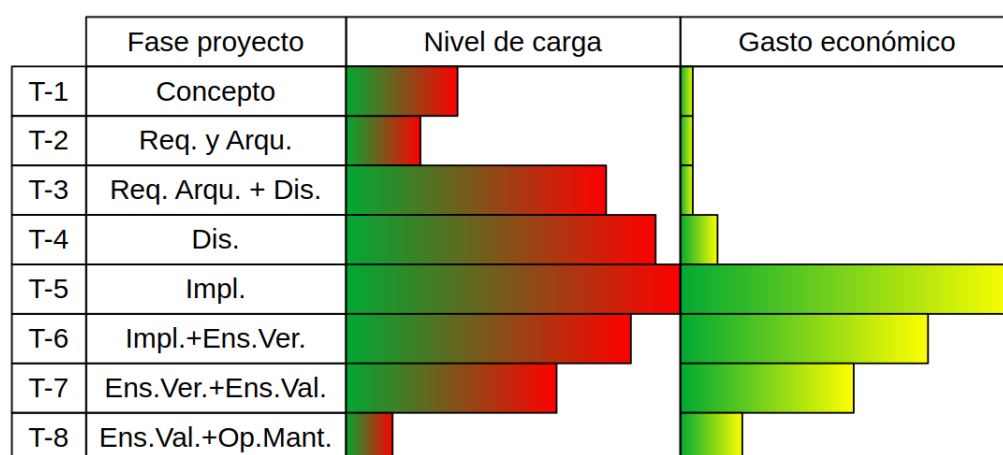
Se trata de una competición internacional bianual de prototipos de motocicletas similares a la categoría Moto3 que se celebra el circuito de velocidad de Motorland, en Alcañiz, comunidad de Aragón, promovida por la Fundación Moto Engineering Foundation y disputada entre universidades de todo el mundo. Los equipos de estudiantes se enfrentan al desafío de diseñar y desarrollar un prototipo de motocicleta de competición similar a la categoría mundialista de Moto3.

Los estudiantes de los centros competirán para diseñar, fabricar y probar en carrera una motocicleta a partir de elementos comunes. De esta forma, afrontarán el desafío de emprender un plan empresarial real en el sector industrial a través de un proyecto donde deben diseñar, desarrollar y construir durante tres semestres un prototipo de motocicleta de competición bajo la normativa FIM Moto3. La competición presenta dos categorías diferentes: MotoStudent Petrol, donde los prototipos participantes montarán un motor de combustión interna de 250 centímetros cúbicos y 4 tiempos, y MotoStudent Electric, categoría de reciente incorporación donde los prototipos participantes son propulsados por un sistema 100% eléctrico [10].

## 4.2 Planificación y gestión de departamentos siguiendo el modelo V&V

La distribución temporal de la carga de trabajo se enfoca a la duración de cada temporada de la competición, la cual tiene una duración de 2 años, de forma que se realiza distribución en trimestres de trabajo, haciendo un total de 8 trimestres [T-1, T-2..T-8] por temporada.

La referencia tomada para la planificación de los departamentos es por proyecto de prototipo, es decir, por prototipo de temporada. Esto quiere que los ensayos que continúen realizándose fuera de temporada de prototipos anteriores no han sido incluidos en el proyecto actual, para evitar confusiones a nivel de gastos. Por tanto, a nivel general de equipo, los gastos provinientes de estos ensayos se justifican a través de gastos extra provinientes de la operación y mantenimiento de la temporada anterior, y se recomienda disponer de fondos de reserva.



**Figura 4.1** Distribución de la carga de trabajo y el coste económico del proyecto por trimestre para el Prototipo de la Edición VII.

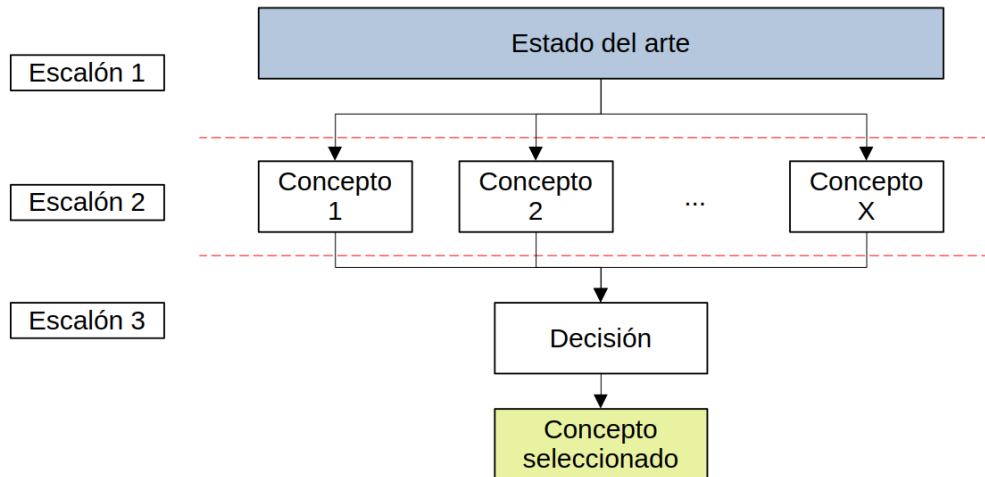
Con vista en la fig.4.1, se puede observa cierta similitud existente entre el nivel de carga de trabajo requerida en el proyecto y el gasto económico asociado. La primeras fases del proyecto están enfocadas al diseño por ordenador y la generación de documentación, atribuido a un nivel de carga variable y de bajo coste económico. Al acercarse a la fase de implementación, el nivel de carga llega a sus puntos más elevados y los gastos se disparan debido, a la adquisición de materiales, mano de obra y costes de gestión.

Un dato a tener en cuenta es el coste que supone la reversión de acciones a medida que avanzan las fases. Este coste, en horas de trabajo dedicadas y capital aportado, se incrementa a medida que se cierran las fases del proyecto, pues supone una modificación de configuración de las fases anteriores, generación de nueva documentación y el retraso o incluso la inactividad de alguna línea de trabajo mientras sigue consumiendo recursos.

A su vez, se observa la tendencia a la baja de los costes y nivel de carga conforme avanzan las fases de ensayos de verificación y validación, debido a que los ajustes y adaptaciones disminuyen a medida que el prototipo alcanza su finalización. La última parte de operación supone un bajo nivel de carga y un coste no despreciable, pues la puesta en circuito del prototipo requiere de llevar a cabo tareas de administración y logística que permita desplazarse a diversos circuitos adyacentes.

### 4.2.1 Creación del concepto

La tarea de prototipado consiste en la materialización del primer modelo físico extraído de los planos de diseño, y este diseño ha tenido que partir de un concepto o idea que surge para dar respuesta a una determinada necesidad. Dentro del equipo y de la competición de *MotoStudent*, la necesidad



**Figura 4.2** Esquema temporal de evolución de la fase de concepto por escalones.

parte del objetivo del desarrollo de un vehículo de competición, funcionalmente capaz y con las posibilidades de obtener la mejor marca en una carrera de velocidad.

Partiendo de esta idea, se genera el concepto de motocicleta de competición, o mejor dicho de vehículo de competición para dar cabida a ambas disciplinas de combustión y eléctrica, siendo esta última el objeto de trabajo de este proyecto. Dentro de la fase de concepto (fig. 4.2), hay creados tres escalones temporales que permiten sintetizar todas las opciones posibles de prototipo, para que en la posterior fase de diseño puedan estudiarse dichas opciones y configurar el prototipo en función de una arquitectura deseada que cumpla unos determinados requerimientos.

- El primer escalón de creación del concepto pasa por la observación, análisis y recogida de datos de vehículos anteriores de competición para profundizar los conceptos de uso habitual y familiarizarse con los sistemas comunes que suelen aparecer dentro de estos vehículos. El primer escalón permite conocer el estado del arte actual de los vehículos de competición y sus sistemas.
- El segundo escalón de esta etapa, se fundamenta en la generación de diversos conceptos o ideas que pueden desarrollarse dentro del propio equipo, teniendo en cuenta las capacidades y las oportunidades presentes. Al tratarse de un fase abstracta, existe un tiempo de pensamiento e interiorización de todos los sistemas a incluir para evitar olvidos futuros. De esta forma, este segundo escalón ofrece la posibilidad de elección entre varios modelos de prototipo (conceptos) factibles generados a partir de todas las posibilidades planteadas, con las ventajas e inconvenientes.
- El tercer y último escalón es empleado para discernir entre todas las posibilidades y establecer un concepto de prototipo o modelo único, ideado y generalizado a grandes rasgos, pero con las bases sobre las que fundamentar y ubicar todos y cada uno de los sistemas implicados, implicando una serie de condiciones aún abstractas.

#### 4.2.2 Generación de requerimientos, arquitectura y requisitos

Tal y como se ha visto en la subsección 3.2.2 de *Requerimientos y arquitectura* y pasada la fase de concepto, ya se tiene una idea de prototipo a desarrollar el cual aún no ha sido delimitado ni coaccionado por ninguna restricción. Por ende, en esta fase de requerimientos y arquitectura, se estudian y analizan todas las peticiones directas e indirectas por normativa y las peticiones propias del equipo (provinientes de la fase de concepto) que permiten generar una lista de requerimientos

que deben cumplirse. Los requerimientos son cumplidos por las prestaciones de los sistemas y del prototipo.

### 4.2.3 Distribución de directorios de trabajo

Para facilitar el flujo de información dentro del equipo y permitir transferir archivos, se hace uso de un almacenamiento en nube colaborativa a través de la empresa de *Google*, con el programa y la webApp de *Google Drive*. Dentro de este almacenamiento, se definen una estructura de directorios que permite asociar las carpetas a un uso específico.

A continuación, se plantea la distribución de los directorios de trabajo utilizada actualmente dentro de la red del equipo:

#### 1. Departamento de E-Powertrain & Electronic Systems

Carpeta destinada para el departamento de E-Powertrain & Electronic Systems con el fin de que puedan compartir información, documentación, diseños y planes organizativos entre los miembros del departamento.

#### 2. Departamento Estructural

Carpeta destinada para el departamento de Estructural con el fin de que puedan compartir información, documentación, diseños y planes organizativos entre los miembros del departamento.

#### 3. Departamento Fluidodinámica

Carpeta destinada para el departamento de Fluidodinámica con el fin de que puedan compartir información, documentación, diseños y planes organizativos entre los miembros del departamento.

#### 4. Documentación

Carpeta destinada a la gestión y administración técnica. Está compuesta por las siguientes subcarpetas:

- **Circulares:** Carpeta destinada a almacenar las circulares con información realtiva a los cambios dentro del departamento técnico, apuntes sobre reuniones y nuevas directrices.
- **Gestión:** Carpeta destinada para albergar documentación, borradores y demás documentos y ficheros de dirección con acceso exclusivo sólo para el Director Técnico.
- **Procedimientos:** Carpeta que almacena la información sobre los procedimientos de actuación dentro del espacio de trabajo en red, explicando como realizar la modificación y la carga de nueva información.

#### 5. Ensamblaje Prototipo

Carpeta contenedora del diseño 3D de todas las versiones de los prototipos diseñados. Está organizada por subcarpetas siguiendo el esquema *Prototipo\_xxx* siendo el término "xxx" el número de versión de prototipo. Dentro de cada carpeta de prototipo, están almacenados por carpetas de sistemas, todos los ensamblajes, subensamblajes y piezas que componen el prototipo. Además, existe una carta donde se almacena las fichas técnicas llamada en inglés *DataSheet* con todas las versiones de las fichas técnicas de todos los componentes.

#### 6. PGF Prototipo

Carpeta del Plan General de Fabricación del Prototipo compuesta por las siguientes subcarpetas:

- **Ensayos:** Carpeta destinada a almacenar por orden de ensayo la información de las HEP, tanto su archivo modificable como la copia en PDF.

- **Fabricación:** Carpeta dedicada a almacenar las tablas de datos de las listas de fabricación de componentes, y se almacenan los ficheros de exportación de piezas. Se genera una lista en función del método de fabricación empleado, por ejemplo:
  - Lista\_impresión\_3D
  - Lista\_corte\_agua
  - Lista\_sinterizado
- **Planificación:** Carpeta utilizada para recoger la planificación de los departamentos con las siguientes subcarpetas:
  - Acciones: Recoge cronológicamente todas de acciones HA del prototipo.
  - Estados: Recoge cronológicamente todas las hojas de estado HE del prototipo

### 7. Deadline MotoStudent

Carpeta con las entregables de documentación realizadas a la organización de MotoStudent.

### 8. RP-Repositorio Piezas

Carpeta con todos los ficheros de diseño realizado en 3D con uno o varios programas de diseño (predominantemente a través de *SolidWorks Student Version*) almacenadas en .step , .sldprt , .sldasm y . stl. Se generan subcarpetas en función del sistema al que pertenecen las piezas. Además, existe una carpeta que almacena las versiones anteriores de las piezas y componentes del prototipo que han sido actualizadas.

### 9. RT-Recursos técnicos

Se trata de una carpeta que almacena toda la documentación técnica recogida por los miembros de todos los departamentos, sirviendo de fuente de información. La estructura de subcarpetas establecida es:

- **Documentación:** Repositorio de artículos, proyectos de fin de grado, libros, procedimientos, etc. de consulta para el departamento.
- **Multimedia:** Carpeta con imágenes y vídeos realizados por los miembros del equipo.
- **Prototipo X:** Directorio con toda la información recogida del prototipo X de una edición anterior.
- **Datos:** Carpeta que almacena los archivos de datos obtenidos a través del sistema de telemetría.
- **Recursos MotoStudent:** Carpeta con la documentación proporcionada por MotoStudent.
- **Inventario:** Carpeta con las listas de inventario del taller.
- **Procesados:** Carpeta con los datos de exportación de las simulaciones realizadas sobre componentes del prototipo.
- **Programas:** Carpeta con programas open-source de uso habitual del equipo.

#### 4.2.4 Líneas de trabajo

La programación de las Líneas de Trabajo LdT se realizará de forma semanal, con actualización futura a dos semanas. Dichas programaciones son realizadas por los jefes técnicos de cada departamento tomando como fuente de información las hojas de acciones HA (discutido más adelante en la sección 4.3 Plan General de Fabricación PGF), las cuales son elaboradas por el director técnico.

La realización de dichas actividades conlleva a un análisis a alto nivel de los tiempos de ejecución por parte de la dirección técnica, contemplando los posibles retrasos y la disponibilidad de recursos.

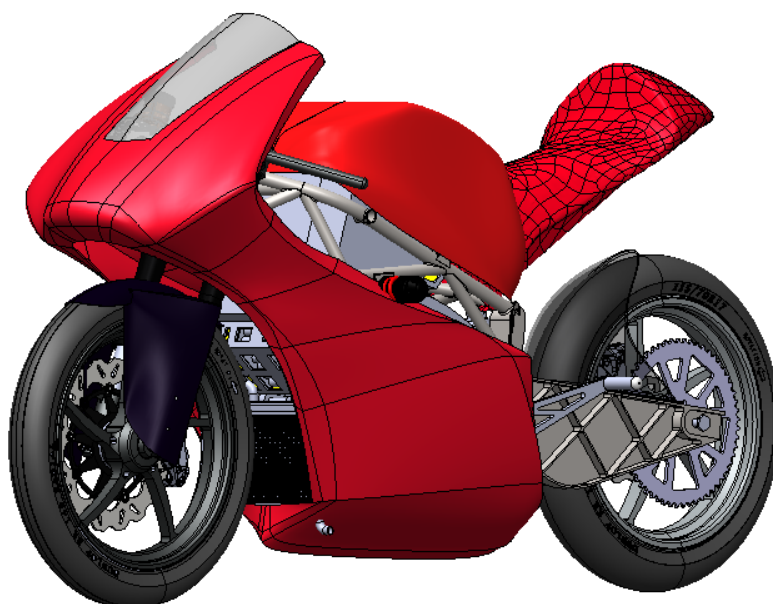
	S1	S2	S3	S4	S5
LdT – 1	Análisis CA			Result CA	
LdT – 2	Material.1	Material.2	Inventario		
LdT – 3	Doc. CA	FT-CA		Rev CA	

**Figura 4.3** Ejemplo de programación semanal de las LdT para el departamento de Fluidodinámica.

Por este motivo, es esencial la comunicación vertical desde el alto nivel (dirección) hasta el bajo nivel (ejecución) para que se realicen las adaptaciones necesarias para sacar a delante la carga de trabajo.

#### 4.2.5 Coordinación del diseño de prototipo

El diseño del prototipo es la tercera etapa dentro de la planificación en el modelo V&V. Esta virtualización tanto en plano como en CAD otorga la posibilidad de dimensionar las prestaciones del prototipo para cumplir con las expectativas definidas anteriormente en los requisitos. El programa de diseño empleado es *SolidWorks Student Version*, para adecuar las extensiones de los archivos.



**Figura 4.4** Vista en perspectiva 3D del Prototipo 006, Edición VII. Propiedad de la escudería USRacing.

#### Sistemas, ensamblajes, subensamblajes y piezas

De acuerdo con el reglamento de la competición de MotoStudent, se definen los siguientes términos, de mayor a menor nivel:

- **Sistema:** Se trata de la mayor unidad de división del prototipo, dividiéndose en 7 sistemas distintos según reglamento:
  - 01 - Estructura
  - 02 - Tren de potencia (PowerTrain)
  - 03 - Suspensiones

- 04 - Ruedas
- 05 - Frenos
- 06 - Aerodinámica
- 07 - Elementos auxiliares

- **Ensamblaje:** Formalmente es un ensamblaje tipo `.sldasm` que está formado principalmente por otros ensamblajes (denominados subensamblajes anteriormente).

Por ejemplo, para definir un ensamblaje del chasis (CH) dentro de la estructura del prototipo, su identificación y extensión es `01-CH.sldasm`

- **Subensamblaje:** Se trata de un subnivel de ensamblaje, definido para dar un mayor abanico de conjuntos realizados dentro del diseño. Se manejan bajo la extensión de `[.sldasm]` con el mismo programa de diseño.

Por ejemplo, para definir el subensamblaje 1 dentro del ensamblaje del chasis de la estructura del prototipo se tiene `01-CH-001-000.sldasm` (el `-000` indica que se trata de un subensamblaje a diferencia del ensamblaje)

- **Pieza:** Se trata de la unidad mínima que puede incluirse dentro del prototipo, por tanto, son piezas realizadas en extensión `[.sldprt]`.

Por ejemplo, para definir la primera pieza en el subensamblaje 1, del ensamblaje del chasis (CH, dentro de la estructura del prototipo, su identificación es `01-CH-001-001.sldasm`

Con estas definiciones, queda claro cómo el prototipo queda definido como un ensamblaje de varios sistemas, definidos a su vez por el conjunto de ensamblajes (y sus respectivos subensamblajes) que definen el propio sistema, y las piezas que son las unidades constitutivas de cada ensamblaje y subensamblaje.

Debido a la gran cantidad de elementos que pueden contener los prototipos, se crea una hoja de cálculo `Prototipo_XXX_PartList` asociada a cada número de prototipo, existiendo el 001, 002, 003, etc.

SIS	ENS	SUBENS	PZA	ID	Tipo	Descripción
1	BS	0	-	01-BS	ENSAMBLAJE	Basculante 01
1	BS	1	0	01-BS-001-000	SUBENSAMBLAJE	Basculante 0101
1	BS	1	1	01-BS-001-001	PIEZA	Basculante
1	BS	1	2	01-BS-001-002	PIEZA	Placas Basculante
1	BS	1	3	01-BS-001-003	PIEZA	Tensor De Cadena
1	CG	0	-	01-CG	ENSAMBLAJE	Cogidas 0102
1	CG	1	0	01-CG-001-000	SUBENSAMBLAJE	Cogidas 0102
1	CG	1	1	01-CG-001-001	PIEZA	Cogida IZQ
1	CG	2	0	01-CG-002-000	SUBENSAMBLAJE	Cogida derecha
1	CG	2	1	01-CG-002-001	PIEZA	Cogida DRCH
1	CG	2	2	01-CG-002-002	PIEZA	Hendiduras motor

Figura 4.5 Fragmento del PartList del Prototipo\_005, Edición VII.

### Ficha técnica

Una ficha técnica es un documento que recoge toda la información perteneciente a una pieza, componente, subensamblaje o ensamblaje. Siguiendo el proceso descrito en 3.11, debe existir una ficha técnica para cada versión de cada componente o elemento generado, ya sea diseñado en CAD o calculado.

El documento está estructura con una portado que resume la información principal de la ficha técnica, a qué sistema pertenece, prototipo asignado, autores y revisores de la ficha, número de



versión y contenido de la misma. La extensión de cada ficha técnica puede variar en proporción al tipo de pieza o ensamblaje, recogiendo los siguientes puntos dentro del contenido:

- **Código:** Representa el código de identificación de la ficha técnica, semejante al utilizado en el PartList de todas las piezas del prototipo.
- **Diseño:** Se trata de una descripción del motivo de diseño de la pieza, distribución del espacio, posiciones de anclaje, materiales utilizados y detalles sobre la forma. Se incluye además los comentarios que aclaren y justifiquen partes del diseño.
- **Ensamblaje:** Descripción de las piezas que componen el ensamblaje o de la posición de la misma si se trata de una sola pieza. Se incluye a su vez la forma de unir las piezas entre sí.
- **Fabricación:** Explicación de los procedimientos y técnicas empleados en la fabricación de la pieza o ensamblaje. Se deben incluir además los pasos llevados a cabo.
- **Cálculos** (opcional): Para determinadas piezas, existen una serie de operaciones y cálculos que deben realizarse para justificar el correcto funcionamiento de la pieza y que el diseño cumple con los resultados previsto.
- **Procesado** (opcional): Para determinadas piezas, es necesario realizar simulaciones mecánicas estáticas o dinámicas, termodinámicas o aerodinámicas. Estas simulaciones son explicadas dentro de esta sección y las gráficas y tablas de resultados corroboran los cálculos realizados en la sección anterior.
- **Componente finalizado:** Si el componente según lo descrito, o se tienen ya fabricadas las partes del mismo, se incluyen imágenes de las piezas ya finalizadas y del conjunto al completo para observar con detalle el proceso final de fabricación.

En el Apéndice C han sido incluidas dos fichas técnicas que describen una caja de batería en la versión v.5 y el plato de la corona de transmisión en la versión v.1. La información introducida en dichos documentos es la utilizada para edición VII de *MotoStudent*, de forma que se ha evitado introducir nombres de integrantes del equipo.

Además, al tratarse de documentos en constante evolución hasta que no se fija la siguiente versión, existen una serie de comentarios que incluyen detalles sin resolver o información que aún no ha sido actualizada. Es importante que los responsables de la elaboración de cada ficha técnica tengan al día las fichas con los comentarios resueltos, de forma que al realizar la consulta esta puede ser más precisa y sin puntos pendientes.

### 4.3 Plan general de fabricación

También conocido por sus siglas PGF, el *Plan General de Fabricación* es el conjunto de documentos que gestiona los estados, actividades y procedimientos pertinentes para la fabricación de los sistemas que componen el prototipo.

#### 4.3.1 Estados de fabricación

Los estados de fabricación son las instantáneas temporales del prototipo que proporcionan información sobre el avance del trabajo realizado semana por semana.

Se trata de un documento denominado hoja de estado *HE* que contiene una tabla con fecha del día de inicio de la semana y con los acrónimos definidos de los departamentos técnicos:

- **PT:** Departamento de PowerTrain & Electronic Systems
- **FD:** Departamento de Fluidodinámica
- **ES:** Departamento de Estructural

La tabla que recoge la información por línea de trabajo, por tanto está compuesta por una primera columna que indica dicha línea, una segunda columna que indica qué se está teniendo en proceso esa misma semana, y una tercera columna que indica si los procesos que se han llevado a cabo se han terminado y comentarios al respecto.

La finalidad de los estados de fabricación es poder trazar la evolución del prototipo a lo largo de su fabricación para obtener el tiempo empleado a cada línea de trabajo. Al tratarse de un documento que tiende a compactar la información, es necesario generar una documentación aparte que se centre en cada uno de los aspectos de las líneas de desarrollo cuando sea posible.

#### 4.3.2 Acciones de fabricación

Acompañando a los estados de fabricación, las acciones de fabricación son un tipo de tablas que detallan con exactitud las tareas pendientes a realizar para la etapa de fabricación de una línea de trabajo. El documento que recoge dicha tabla se denomina hoja de acciones *HA*.

Las tablas están fechadas con el día de actualización de actividades y están compuestas por tres columnas: La primera columna hace referencia a la línea de trabajo involucrada: La segunda columna indica qué sobre qué pieza, subensamblaje, ensamblaje o sistema se está trabajando. La tercera columna describe la lista de actividades detallada a realizar.

#### 4.3.3 Procedimientos de fabricación

Dentro de la documentación propia del equipo, existe una parte dedicada a los propios procedimientos internos del equipo, empleados para la fabricación dentro del taller. La elaboración de estos procedimientos permite al propio equipo asimilar los conocimientos de fabricación, y además, establecer la guía paso por paso necesaria de un determinado componente. El documento en cuestión se denomina hoja de procedimiento *HP*.

En resumen, el conjunto de procedimientos de fabricación sirven para normalizadas las formas de trabajo dentro del equipo, y estos puede ser iguales a los procedimientos de fabricación vistos en la industria, o tener adaptaciones acordes al espacio de trabajo disponible en taller y la accesibilidad a herramientas y utillaje.

10/07/2023

[ES] → Dpt. Estructural

[FD] → Dpt. Fluidodinámica

[PT] → Dpt. E-Powertrain &amp; Electronic Systems

LDT	EN PROCESO	FINALIZADO/COMENTARIO
BA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas de ventilación [FD] pendiente de hueco con PT</li> <li>Fabricación de caja con fibra de carbono [FD]</li> <li>Ensayo batería 21700 [PT]</li> <li>Anclajes de la caja en revisión [ES]</li> <li>BA-18650: soldadura de bloques [PT]</li> <li>Ensayo de aislamiento y comprobación de dimensiones</li> <li>Fabricación en paralelo de dos cajas</li> <li>Caja TEST finaliza el 23/06/2023</li> <li>Caja DEFINITIVA finaliza ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicación de cables de entrada de entrada y salida</li> <li>Estado soldadura bloques[35%]</li> <li>Se ha cambiado la fabricación v4</li> <li>No se coloca ninguna varilla cruzada [ES]</li> <li></li> </ul>
RE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prueba de agua radiador [FD]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compra de elementos [FD]</li> <li>Ubicación componentes [FD]</li> <li>Ensayo ES0003 realizado</li> <li>Control alimentación 12 V [PT]</li> <li>Anclaje radiador, bomba, depósito [FD]</li> </ul>
CT	<ul style="list-style-type: none"> <li>Choque entre soporte inversor y carenado [ES]</li> <li>Elaboración de mazos eléctricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conexión con inversor prototipo VII [PT]</li> <li></li> </ul>
MT	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prueba encendido motor VI [PT]</li> <li>Ensayo ES0001 realizado</li> <li>Ensayo ES0002 realizado</li> <li>Ensayo ES0003 realizado</li> <li>Prueba de agua motor [FD]</li> </ul>

Figura 4.6 Ejemplo de tabla representativa del estado de fabricación del Prototipo 006 Edición VII.

27/08/2023

LDT	ELEMENTO	ACTIVIDAD
BA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caja Batería 02-BA-001-001</li> </ul>	<p>Diseño de batería con márgenes de maniobra para evitar sobredimensiones</p> <p>Diseño de los anclajes al chasis</p> <p>Diseño del soporte inferior</p> <p>Elección de material (acero/aluminio) y de espesor</p> <p>Incluir en ficha técnica la evaluación a través de simulación</p> <p>Detallar el proceso de fabricación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Corte de chapas de material</li> <li>Soldadura/uniones entre chapas</li> <li>Fabricación anclajes</li> <li>Seguimiento de las medidas</li> </ul> <p>Enviar a fabricar</p>
BA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bloques pilas 02-BA-002-000</li> </ul>	<p>Distribución de ensamblaje con nuevo diseño de batería</p> <p>Diseño de anclajes/estructura interna de soporte</p> <p>Diseño de colocación de los aislantes</p> <p>Distribución del cableado de potencia</p> <p>Diseño del sistema de ventilación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Registro de entrada delanteros</li> <li>Registro de salida forzada con ventiladores traseros</li> </ul> <p>Detallar el proceso de ensamblaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Lista de materiales necesarios para la fabricación</li> <li>Ubicación de la tapa general de registro para la introducción de los bloques y acceso a los mismos (tener en cuenta que no se podrá abrir en la competición)</li> <li>Conectores empleados</li> <li>Longitud de cable utilizado de cada sección</li> <li>Pesada de cada elemento y bloque (introducir en <u>PartList</u> masa real)</li> </ul> <p>Elaboración <u>datasheet</u> actualizado</p> <p>Se inicia el desoldado de bloques de pilas</p>

**Figura 4.7** Ejemplo de tabla representativa de las acciones de fabricación del Prototipo 006 Edición VII. Los procedimientos de fabricación están a su vez incluidos en las fichas técnicas de los componentes..

## 4.4 Campaña de ensayos

Para gestionar los ensayos en componentes y sistemas del prototipo, y el propio prototipo, se dedica una campaña de ensayos de verificación y validación que tienen el objetivo de estandarizar un procedimiento de operación, definiéndose un documento llamado Hoja de Ensayo del Prototipo *HEP*.

El documento *HEP* recoge la información del estado del objeto a testear antes del ensayo, su evolución durante en ensayo y el estado final después del ensayo, quedando establecido el siguiente índice de secciones del documento:

1. Descripción del ensayo a realizar:
2. Estado del prototipo
3. Procedimiento de ensayo
4. Registro de acciones *Logbook*
5. Defectos DEN
6. Notas

Para la correcta realización de estos ensayos, se realiza en primer lugar una reunión de puesta en común entre el personal del equipo con las personas implicadas en el ensayo y se procede a la lectura del *HEP* punto por punto para la correcta comprensión de la ruta de ensayo. Durante el ensayo sólo se procede a la ejecución del mismo según procedimiento y después del ensayo se realiza otra reunión de puesta en común para recopilar información y comentarios del ensayo.

### 1. Descripción del ensayo a realizar

En la primera parte del documento se realiza una definición de los objetivos del ensayo, los componentes y sistemas implicados, los materiales y herramientas necesarios, personal de soporte e infraestructura, así como el ámbito de aplicación y su estimada duración.

### 2. Estado del prototipo

El estado del prototipo se define con la configuración actual del prototipo y los sistemas instalados junto su disponibilidad. Requiere también de una descripción visual de las posibles anomalías detectadas, así como defectos de materiales, mecanismos o estructura.

### 3. Procedimiento de ensayo

Se trata de un conjunto de órdenes/acciones inequívocas que deben ser realizadas según enumeración y de forma consecutiva. El conjunto debe generarse con bastante anterioridad al ensayo y debe ser validado por la dirección técnica para gestionar los recursos y tiempos.

### 4. Registro de acciones *Logbook*

Se lleva a cabo un registro de todas y cada una de las acciones realizadas, comentarios y apreciaciones que tengan relevancia a la hora del análisis posterior.

### 5. Defectos *DEN*

Los Defectos de ENSayo *DEN* son los puntos de no conformidad que existen en el prototipo, es decir, los defectos que hacen que el prototipo no esté en sus óptimas condiciones. En base al criterio y al grado de desperfecto, los defectos *DEN* son catalogados como:

- **BAJO:** Etiquetado de color verde, indica que el *DEN* generado no tiene ningún riesgo que impida la operatividad del prototipo. Se trata de un defecto con escasa prioridad y puede resolverse en un largo plazo de tiempo, del orden de un/os mes/es.

- **MEDIO:** Etiquetado de color amarillo, indica que existe cierto riesgo para la seguridad del prototipo durante su funcionamiento, por tanto la operación queda restringida en función de los límites de funcionamiento que permita el *DEN* en cuestión. La prioridad de resolución es elevada y debe realizarse a corto plazo, del orden de una/s semana/s.
- **ALTO:** Etiquetado de color rojo, indica que el riesgo para la seguridad del prototipo es máxima y que este compromete la total operatividad, por tanto no vuelve a estar operativo hasta que se elimine el defecto. La prioridad es máxima y se convierte en cabeza de lista de actividades a realizar en el prototipo. Se habla del orden de días o semanas en función de la complejidad del defecto y su resolución.

Lo habitual es que la lista de defectos *DEN* esté vacía en su totalidad o sólo con *DEN* de nivel bajo, pues permite continuar operando el prototipo. Estos están numerados con un orden de aparición, siguiendo la fórmula:

$$DEN - XXXX \quad (4.1)$$

Donde XXXX corresponde de un número del 0001 al 9999 siguiendo el orden.

## 6. Notas

Última parte del documento, compuesta por dos o más páginas en blanco, destinada a escribir comentarios, notas y avisos ocurridos durante el ensayo que se quieran dejar trazados.

Al final, la campaña de ensayos del prototipo se trata de una de las fases más caras del proyecto junto con la fase de implementación, aunque también es considerada como la satisfactoria. En el *Apéndice C* se han recogido dos documentos que describen dos ensayos realizados, uno perteneciente al prototipo VI dentro de la pista asfaltada de la facultad, y otro perteneciente a un ensayo del sistema de refrigeración para el prototipo VII, realizado dentro del propio taller del equipo.

Anteriormente se comentaba que es posible que la operación y mantenimiento de prototipos anteriores pueda extenderse dentro de la siguiente temporada, ya sea por exhibiciones, realización de pruebas de rendimiento o análisis del prototipo en otras condiciones. Este frente deja abierto una nueva posibilidad de crear una campaña de ensayos fuera de temporada, convirtiendo el prototipo de la temporada anterior en un prototipo base para la integración de nuevos sistemas y el desarrollo de pruebas funcionales que permita obtener nuevos datos de análisis útiles para la temporada actual. Por ende, es posible identificar nuevas mejoras que pueden ser integradas a nivel de sistemas y por tanto quedar "pre-validadas" para el nuevo prototipo:

- Cambio del sistema de refrigeración.
- Utilización de sistema de almacenamiento con otra tecnología de batería.
- Reconversión de la electrónica de potencia a sistemas embebidos y modulares.
- Reducción del peso de piezas a través de la fabricación con materiales ligeros.
- Integración de actualizaciones del sistema de diagnóstico.
- Ensayo de nuevos elementos aerodinámicos y estudio de turbulencias.
- Actualización del sistema de frenos.
- Integración de nuevos pares mecánicos de transmisión.
- Estudio de mecanismos de bieletas de amortiguación.
- Generación de mapas motores.
- Instrumentación para la recogida de una mayor cantidad de datos.
- Ergonomización de piezas de mejora de confort del piloto.
- Etc.

## 4.5 Operación y mantenimiento

Esta sección está destinada para definir los procedimientos de operación del prototipo para su arranque y de mantenimiento de cada uno de los sistemas que así lo requieren durante el tiempo de uso durante la campaña de ensayos y la etapa de competición en MotoStudent.

### 4.5.1 Sistema eléctrico

- **Motor eléctrico**

Al tratarse de un motor completamente hermético y que por normativa no es posible desensamblar, el mantenimiento que recibe el motor es un mantenimiento preventivo a través de los datos de temperatura, funcionamiento eléctrico y refrigerante. Por tanto, dada una caracterización con ciertos valores definidos a través de una media en numerosos ensayos, se contrastarán los valores de cada ensayo para comprobar que se siguen obteniendo valores razonables dentro del margen de actuación y no existen anomalías. Visualmente puede realizarse una inspección para comprobar el exterior de la carcasa y el estado de los conectores. Eléctricamente se comprueba que la resistencia interna entre fases del motor no varía con el tiempo tras cada ensayo. Si fuese necesario un mantenimiento específico previo a la carrera se consultará con la directiva de Motostudent antes de realizar ningún cambio.

- **Aislamiento eléctrico y derivas**

Material: Multímetro.

Procedimiento:

1. Desconectar el sistema de almacenamiento y la batería de control.
2. Comprobar la resistencia entre elementos eléctricos del prototipo y de la estructura, comprobando que no existe continuidad.
3. Comprobar la resistencia entre la estructura del prototipo y la tierra (suelo), observando que no existe continuidad.

- **Encendido del prototipo y giro de rueda**

Material: Multímetro (si precisa).

Procedimiento:

1. Revisar que el sistema está desconectado de toda alimentación.
2. Comprobar que la seta de emergencia está desarmada.
3. Realizar encendido del sistema de control, el cual procederá al rearme del contactor, proporcionando alimentación eléctrica al sistema.
4. Activar el botón de avance y apretar suavemente el manillar del acelerador.
5. Comprobar que el motor comienza a girar de forma proporcional a la demanda del acelerador.

- **Elemento de seguridad: Seta de emergencia**

Material: No es necesario.

Procedimiento:

1. Realizar el encendido del prototipo y acto seguido se presiona la seta de emergencia.
2. Comprobar que la alimentación del sistema ha sido cortada.
3. Rearmar la seta de emergencia y se realiza nuevamente el encendido.

4. Observar que el sistema inicia nuevamente sin problemas.

- **Carga del prototipo**

Material: Multímetro, software de gestión de BMS, cargador de batería de alta potencia.

Procedimiento:

1. Realizar una inspección visual del estado de los conectores tanto de batería como del cargador.
2. Comprobar el correcto encendido del cargador.
3. Medir la tensión en bornas del conector de carga de la batería del prototipo (debe dar una tensión inferior a 117,6 V si está con cierto nivel de descarga).
4. Medir la tensión de salida del cargador de batería encendido, ajustable y superior a 117 V.
5. Proceder a conectar el cargador a la batería.
6. A través del software de gestión de la BMS debe observarse que ha sido detectada la entrada de potencia y que se está realizando correctamente la transferencia de energía.

- **Cableado**

Material: Multímetro.

Procedimiento:

1. Se realiza una prueba de continuidad entre pines de un mismo conector, no debe existir continuidad si no están unidos según plano eléctrico.
2. Se realiza una prueba de continuidad entre pines de diferentes conectores que sí están unidos eléctricamente, por lo que debe existir continuidad.

#### 4.5.2 Estructura

- **Soldaduras**

Material: Lupa (si precisa).

Procedimiento:

- Se realiza un chequeo visual del estado de las soldaduras del chasis y basculante, observando que no existen grietas, desperfectos o impactos recibidos.

- **Pipa dirección**

Material: No es necesario.

Procedimiento:

1. Motor apagado y desconectada alimentación eléctrica.
2. Elevar de la rueda trasera con el caballete.
3. Examinar el apriete de las uniones de la pipa de dirección y ajustar con una llave dinamométrica para comprobar el torque.
4. Comprobar que no existen elementos que impidan el rango de movimiento del manillar.
5. Realizar el giro de manillar a ambos lados repetidamente observando que no existen durezas internas.

- **Oxidaciones y grietas**

Material: No es necesario.

Procedimiento:



1. Comprobar visualmente que no existe ninguna zona de oxidación en el chasis, basculante ni en demás elementos estructurales. En el caso de observarse un ligera oxidación, se debe proceder a su eliminación y comprobar que no haya afectado estructuralmente a la pieza.

### 4.5.3 Transmisión

Se trata de la parte ajustable del sistema de transmisión que permite ofrecer un juego de maniobra entre los ejes del piñón y el de giro del basculante para que la suspensión de este último pueda funcionar correctamente. Se trata nuevamente de una revisión periódica que debe realizarse a medida que se realiza rodaje con el prototipo.

#### • Limpieza

Se debe realizar la limpieza de la cadena de la moto cuando se aprecian los primeros síntomas de resequedad de la grasa y el lubricante no es capaz de traspasar. El objetivo es disolver los cúmulos de grasa y eliminar la suciedad acumulada, para después realizar un nuevo engrasado

Material: Spray limpiador, brocha, cuba para el goteo, protector anti-salpicaduras y caballete.

Procedimiento:

1. Motor apagado y desconectada alimentación eléctrica.
2. Elevar de la rueda trasera y delantera con el caballete.
3. Proteger la rueda y/o neumático frente a los productos de limpieza con un envoltorio anti-salpicaduras.
4. Aplicar el spray limpiador y extender con la brocha sobre la cadena mientras se gira la rueda.
5. Limpiar la corona con el spray y la brocha nuevamente.
6. Repetir operación 3 con el piñón.
7. Dejar secar el producto.

#### • Engrasado

El engraso es una operación periódica que sirve de mantenimiento para la operación del sistema de transmisión. Su finalidad es reducir la fricción entre componentes de la cadena, piñón y corona.

Material: Spray rociador de grasa, cuba para el goteo, protector anti-salpicaduras y caballete.

Procedimiento:

1. Motor apagado y desconectada alimentación eléctrica.
2. Elevación de la rueda trasera y delantera con el caballete.
3. Proteger la rueda y/o neumático frente a los productos de limpieza con un envoltorio anti-salpicaduras.
4. Aplicar el spray de grasa sobre la parte de los eslabones que entra en contacto con la cadena.
5. Girar la rueda hasta completar toda la cadena.

#### • Tensor de cadena

Material: Llaves de apriete para el tornillo del tensor, llave de apriete de rueda trasera, llave dinamométrica y caballete.

Procedimiento:

1. Motor apagado y desconectada alimentación eléctrica.
2. Elevar de la rueda trasera y delantera con el caballete
3. Aflojar las tuercas de apriete de los tensores a ambos costados.
4. Liberar el eje de la rueda para permitir su desplazamiento.
5. Desplazar la rueda hasta la posición de ajuste de holgura de cadena.
6. Comprobar que en ambos costados la posición de la rueda es la misma.
7. Apretar la tuerca del eje de la rueda trasera con la llave dinamométrica hasta el torque definido.

#### **4.5.4 Suspensión**

- Comprobación de pérdidas de aceite por retenes, arañazos y tiempo

Se trata de un mantenimiento simple de la amortiguación delantera, que consiste en la inspección visual de la horquilla delantera en busca de alguna pérdida de aceite proveniente del amortiguador, ya sea por un deterioro de los retenes o por un arañazo en el pistón del cilindro. En este caso se envía la suspensión a un taller para que puedan realizar el cambio de retenes con exactitud y comprobar el estado del aceite después de un largo período de tiempo (según mantenimiento del fabricante)

#### **4.5.5 Frenos**

- **Cambio del líquido de frenos y purgado**

Material: Líquido de frenos, desatornillador para depósito, llave de apriete válvula drenaje, cuba recogida líquido, manguera drenaje, caballete.

Procedimiento:

1. Motor apagado y desconectada alimentación eléctrica.
2. Elevación de la rueda trasera y delantera con el caballete.
3. Desatornillar el compartimento del depósito de frenos.
4. Desatornillar la válvula de drenaje de la pinza de freno.
5. Colocar la manguera de drenaje para conducir el líquido hasta la cuba.
6. Bombear el líquido de frenos accionando la palanca de frenos y observar la bajada de nivel.
7. Añadir nuevo líquido de frenos cuando el nivel sea considerablemente bajo evitando la entrada de aire.
8. Realizar operación hasta observar que por la válvula de drenaje sale líquido de frenos nuevo
9. Cerrar válvula de drenaje y depósito de frenos.
10. Aflojar latiguillos, accionar fijamente la maneta de freno y apretar latiguillos consecutivamente

- **Limpieza pastillas y pinza de freno**

Material: Compresor de aire, líquido limpiador de frenos, cepillo, paño y lija.

Procedimiento:

1. Motor apagado y desconectada alimentación eléctrica.

2. Elevación de la rueda trasera y delantera con el caballete.
3. Liberar el eje de la rueda (delantero o trasero), realizando las operaciones necesarias como eliminar el apriete de los tensores de cadena si se trata de la rueda trasera.
4. Retirar paulatinamente el cilindro de la pinza para poder acceder a las pastillas.
5. Eliminar el exceso de polvo con el compresor de aire.
6. Aplicar una fina capa de líquido limpiador de frenos.
7. Lijar suavemente las pastillas de freno para eliminar rebabas de desgaste y examinar la posibilidad del cambio de pastillas si el desgaste es muy acentuado.
8. Aplicar limpiador de frenos en la pinza de freno y los pistones y frotar con el cepillo el interior.
9. Limpiar con el paño seco las anteriores partes y el eje de las pastillas de freno.
10. Limpiar los discos de freno de la moto y secar con un paño.
11. Ensamblar nuevamente las pastillas y colocar la rueda en su posición de ajuste.

#### 4.5.6 Refrigeración

- **Puesta a punto**

El sistema de refrigeración es examinado antes de cada ensayo o rodaje del prototipo.

Material: Termómetro con sonda de temperatura, multímetro, conexión CanBus con el inversor.

Procedimiento:

1. Motor apagado y desconectada alimentación eléctrica.
2. Elevación de la rueda trasera y delantera con el caballete.
3. Medir temperatura ambiente.
4. Medir temperatura del agua destilada refrigerante a través del depósito de expansión.
5. Comprobar que ambas temperaturas sean similares.
6. Realizar inspección visual del estado de componentes y verificar que no existe deterioro evidente.
7. Examinar la presencia de fugas en conexiones de mangueras y abrazaderas.
8. Comprobar que el nivel de líquido es similar o cercano a la anterior revisión. En el caso que existiese desnivel, profundizar el examen visual en busca de fugas.
9. Comprobar el aislamiento eléctrico y las derivas de la bomba impulsora.
10. Encender el prototipo y comprobar que la medición de temperaturas por la sonda fija de refrigeración y la del motor son similares.
11. Realizar el encendido de la bomba de refrigeración y comprobar la presencia de aire en el circuito.
12. En el caso de existir aire o un nivel considerable de burbujas, realizar purgado.
13. Mantener el sistema de refrigeración encendido durante un período de tiempo y observar que no existen oscilaciones ni variaciones asimétricas de las temperaturas medidas por los sensores de motor y refrigeración.

14. Realizar una demanda de potencia al motor para comprobar el calentamiento del mismo a través de las mediciones de los sensores, con directa proporcionalidad en el sistema de refrigeración.

## 5 Discusión

---

Este capítulo está destinado a comparar los resultados obtenidos respecto a las respuestas esperadas, durante la implantación de la metodología V&V propuesta en el tiempo que el autor ha pertenecido a la dirección técnica del equipo de USRacing.

Cabe destacar que los resultados no están orientados a la obtención del prototipo de vehículo eléctrico en si, si no al correcto desarrollo de la metodología y su asimilación por parte del equipo, aunque esto conlleva a su vez con la obtención del prototipo final ya fabricado. Esta discusión está estructurada en 3 partes siguiendo las tres respuestas que deben resolver los tres objetivos planteados dentro del capítulo 3. *Plan estratégico*.

La primera aproximación la realizamos sobre el diseño planteado de metodología de trabajo de verificación y validación V&V con trazado en V. Esta metodología se ha ido introduciendo dentro del equipo a lo largo del curso académico, estando en paralelo con las formas de trabajo anteriores. El motivo por el cual no se ha podido implementar correctamente y a tiempo ha sido la propia falta de tiempo en la temporada, pues el realizar este tipo de cambios de paradigma dentro de la estructura organizativa conlleva un periodo de asimilación y trabajo del que no se ha podido disponer. De esta aproximación se puede obtener que:

- El procedimiento de gestión del ensamblaje completo del prototipo ha funcionado según lo planteado en la metodología de trabajo V&V.
- La generación de requerimientos ha sido idónea para la elaboración de cada sistema, pero no ha sido lo suficientemente profunda para cerrar completamente el diseño del prototipo y obtener una arquitectura fija. Esto ha contribuido a que cada vez que existía un problema en la fabricación, se ha tenido que retroceder hasta la modificación de la arquitectura actual de ese momento.
- La distribución de la carga temporal de trabajo dentro del equipo ha sufrido grandes variaciones respecto a lo previsto dentro del plan. Este punto ha estado motivado principalmente por la falta de conocimiento y habilidades en el equipo, trasladándose la carga de trabajo a los miembros con mejor desempeño y rozando niveles de saturación.
- La documentación realizada sobre fichas técnicas y procedimientos ha sido algo novedoso que ha aportado nuevas funcionalidades dentro del equipo, así como la generación de puestos especialistas, desde el diseño en CAD hasta la fabricación de componentes. Además, esto ha permitido generar una trazabilidad de cómo han ido evolucionando todas las partes de los sistemas integrados en el prototipo que permite a su vez trasladar ese "concepto" de evolución.

En cuanto a la puesta en marcha del equipo proporcionando un punto de partida, se ha podido establecer un antes y un después entre las filas. Se ha percibido la importancia del proyecto a nivel competitivo y académico y la seriedad que conlleva el prototipado de un vehículo de competición.

Desde el punto de vista técnico se han eliminado los problemas relativos a la falta de información técnica debido a la mejora de los procedimientos de almacenado, guardado y carga de documentos y diseños, así como la forma de guardar la información procesada para que esta pueda ser consultada.

Por último, el futuro del equipo queda relegado a la nueva formación de la dirección técnica, la cual es instruida por el propio autora para transferir los conocimientos de la edición anterior y avanzar sobre la base actual de trabajo sin necesidad de empezar de nuevo. Después de la participación del prototipo en la competición de *MotoStudent 2023*, se ha podido generar un documento que recoge toda la información generada en la competición, tareas pendientes de realizar, nuevos puestos necesarios para la siguiente edición, defectos detectados y un horizonte más cercano para la nueva edición VIII.

## 6 Conclusiones

---

La última parte de este trabajo de fin de grado recae sobre las conclusiones obtenidas en función de la respuesta dada a cada objetivo marcado.

Este capítulo está enfocado con una perspectiva subjetiva, respecto a la objetividad de la discusión del capítulo anterior, pues está influenciada por la respuesta personal que se ha recibido por parte del equipo y de la impresión que se ha obtenido del mismo a lo largo del curso académico 2022-2023.

La metodología de trabajo V&V propuesta en este trabajo de fin de grado es una metodología aceptada dentro del entorno laboral y con presencia en las grandes empresas en los 2000s, desde las gigantes aeronáuticas hasta el sector de energía nuclear. Por tanto, se concibe como una metodología que aún dispone de margen para ser adaptada con mayor precisión dentro del equipo de USRacing. Realmente este es el comienzo documentado para el equipo, de forma que pueda continuar la senda y tan solo mejorar.

Por un lado, la implantación de esta metodología dentro de un ambiente estudiantil está marcada por la complejidad que supone la organización de la carga de trabajo. Es fácil avanzar cuando el terreno es llano y no existen convocatorias a corto plazo, pero en el momento que se requiere dedicar tiempo de trabajo o la habilidad de pensar, imaginar o idear para buscar soluciones a problemas reales, cae la motivación y aumenta el absentismo, muchas veces por falta de conocimiento y por saturación ante problemas "nunca vistos". Por ende, es necesario buscar nuevas motivaciones intrínsecas en el equipo que permita sobrellevar los períodos de estrés académico, e incluso extrínsecas como las provenientes de la propia facultad o de la universidad.

Por otro lado, se considera que la metodología de verificación y validación V&V descrita debe ser revisada continuamente a final de cada edición, observando las fortalezas y debilidades ofrecidas, y renovarla para que en la siguiente edición pueda ser de mayor utilidad.

Para finalizar, he de mostrar mi agradecimiento por los 3 años que he pertenecido dentro del equipo y cómo he ascendido tanto profesional como personalmente. Saber congeniar dentro de un equipo es difícil cuando el ambiente es seco y poco motivador, pero ante esta hostilidad se ha sabido encauzar de nuevo la orientación del equipo y llegar a buen puerto.





# Apéndice A

## Definiciones y abreviaturas

---

En este apéndice se recogen las descripciones y detalles que no han sido definidos en los capítulos anteriores.

### A.1 Definiciones y abreviaturas

- **BMS.** Sistema de gestión de batería (*Battery Management System*)
- **CAD.** *Computer Aided Drafting*, diseño asistido por ordenador.
- **CH.** Chasis.
- **Dashborad.** Panel de control visual del piloto, colocado a la altura del manillar.
- **Datasheet.** Hoja descriptiva de un componente pieza o equipo. Está relacionado con el término de ficha técnica en español.
- **DCR.** Documento de comisión de resultados.
- **DH.** Documentación del historial.
- **DEN.** Defecto de ensayo.
- **DT.** Director técnico.
- **E-PowerTrain.** Tren de potencia eléctrico.
- **ES.** Departamento de estructural.
- **FD.** Departamento de fluidodinámica.
- **FEE.** Fabricación de elementos y ensamblaje.
- **FIM.** Federación internacional de motociclismo.
- **FT.** Ficha técnica.
- **HA.** Hoja que recoge cronológicamente las acciones del prototipo.
- **HE.** Hoja que recoge cronológicamente los estados del prototipo.
- **HEP.** Hoja de Ensayo de Prototipo. Documento utilizado en la fase de Ensayos del prototipo en el que se recoge toda la información destinada al ensayo de un subsistema, sistema o del propio prototipo.
- **HOP.** Hoja de Operación de Prototipo. Documento utilizado en la fase de Operación y Mantenimiento empleado en la fase de Operación y Mantenimiento del prototipo en el cual viene detallado las operaciones llevadas a cabo con orden cronológico.

- **HP.** Hoja de Procedimiento. Documento con la lista de acciones necesarias para llevar a cabo una tarea de un proceso de fabricación, o el proceso de fabricación al completo.
- **JD.** Jefe técnico de departamento.
- **PGF.** Plan General de Fabricación. Directrices de administración, gestión y fabricación para la fase de Implementación de sistemas en el prototipo.
- **LdT.** Línea de trabajo. Plataforma de producción para la ejecución de tareas.
- **LM.** Listado material.
- **Logbook.** Hoja de registro de acciones realizadas.
- **LRO.** Libro de Registro de Operaciones. Libro de registros que almacena todas las HOP de la fase de Operación y Mantenimiento.
- **MD.** Medición de desviaciones.
- **OPF.** Organización de los procedimientos de fabricación.
- **PGF.** Plan general de fabricación.
- **PT.** Departamento de PowerTrain & Electronic Systems.
- **RAN.** Requerimientos de alto nivel.
- **RB.** Requerimientos de bajo nivel.
- **RDN.** Requerimientos derivados por normativa de *Motostudent*.
- **RM.** Requerimientos de medio nivel.
- **RN.** Requerimientos directos por normativa de *Motostudent*.
- **RP.** Repositorio de piezas
- **RPD.** Requerimientos propios de diseño.
- **RT.** Recursos técnicos.
- **V&V.** Siglas de verificación y validación, proveniente de metodología V&V.

## Apéndice B

### Tabla con características del Prototipo

---

En este apéndice se recogen las prestaciones indicadas en la fase de concepto del Capítulo 3.

## B.1 Tablas

Tabla B.1 Prestaciones indicadas en la fase de concepto (I)..

CONFIGURACIÓN	
Distancia entre ejes [mm]	Distancia longitudinal existente entre el eje de la rueda delantera y el eje de la rueda trasera, paralela al plano tierra
Peso [kg]	Peso estimado del prototipo en su conjunto
Ángulo lanzamiento [°]	Ángulo formado por el eje de dirección pasante por punto de unión de la horquilla al chasis respecto a un eje perpendicular al plano tierra
Dimensiones [mm]	Medidas del prototipo respecto al ancho, largo y alto
Ubicación C.G.[mm x mm]	Ubicación del centro de gravedad respecto al eje delantero en un plano simétrico
MOTOR Y TRANSMISIÓN	
Potencia Nominal [kW]	Potencia de diseño proporcionada por el motor
Potencia Máxima [kW]	Potencia máxima que es capaz de proporcionar el motor
Par [Nm]	Máximo torque producido en el eje del motor a las RPM de par máximo
RRPM [rev/min]	Revoluciones por minuto en el punto de Potencia Nominal y Potencia Máxima
Número de fases	Número de fases eléctricas en corriente alterna que posee el motor eléctrico
Número de polos	Número de polos que posee el motor eléctrico
Temperatura operación [°C]	Temperatura de trabajo fijada a potencia nominal
Tipo de refrigeración	Tipo de refrigeración y líquido de uso si interviene
Dimensiones motor [mm x mm x mm]	Medidas del motor empleado
Dientes del piñón	Número de dientes en el piñón que va ubicado en el eje del motor
Dientes del plato	Número de dientes en el plato que va ubicado en el eje de la rueda motriz trasera
Tamaño cadena [mm]	Longitud de la cadena empleada
SUSPENSIÓN DELANTERA Y SUSPENSIÓN TRASERA	
Marca suspensión	Fabricante empleado en la suspensión
Recorrido [mm]	Distancia longitudinal que recorre el conjunto cilindro-pistón de la suspensión
Tipo de basculante	Formato de basculante empleado
Tipo de suspensión	Descripción de la suspensión utilizada; directa, progresiva, regresiva, etc...
Peso [kg]	Peso del conjunto de la suspensión
Dimensiones [mm x mm x mm]	Medidas de la suspensión, separadas entre delantera y trasera

**Tabla B.2** Prestaciones indicadas en la fase de concepto (II)..

DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO (BATERÍA ELÉCTRICA)	
Configuración celdas	Configuración serie-paralelo de celdas en la batería
Tipo de celdas	Tecnología empleada en el modelo de celdas, Ion-Litio, Li-Po, Ni-Cd, etc...
Modelo de celdas	Fabricante suministrador de las celdas de almacenamiento
Voltaje vacío [V]	Tensión en bornas de la batería cuando está desconectada del resto de componentes
Voltaje de operación [V]	Tensión de diseño en bornas de la batería para carga máxima
Intensidad [A]	Intensidad de diseño a la que opera la batería en carga máxima
Potencia [kW]	Potencia de diseño de la batería
Capacidad [Ah] / [kWh]	Capacidad de almacenamiento eléctrico de diseño
Temperatura operación [°C]	Temperatura media de operación a potencia nominal del motor
Tipo de refrigeración	Formato de refrigeración empleada para el conjunto de la batería
Dimensiones [mm x mm x mm]	Medidas del conjunto de la batería junto con los componentes de control de potencia y refrigeración
Peso [kg]	Peso del conjunto de la batería junto con el los componentes de control de potencia y refrigeración
INVERSOR	
Modelo	Fabricante suministrador del controlador-inversor
Voltaje AC máx.[V]	Tensión máxima de diseño del dispositivo en corriente alterna.
Intensidad AC máx. [A]	Intensidad máxima de diseño del dispositivo en corriente alterna.
Voltaje DC máx. [V]	Tensión máxima de diseño del dispositivo en corriente continua.
Intensidad DC máx. [A]	Intensidad máxima de diseño del dispositivo en corriente continua.
Potencia [kW]	Potencia de diseño del dispositivo.
Tipo de refrigeración	Sistema de refrigeración empleado para el dispositivo.
Temperatura operación	Temperatura de diseño para la operación del dispositivo.
Dimensiones [mm x mm x mm]	Medidas del dispositivo.
Peso [kg]	Peso del dispositivo
RUEDA DELANTERA Y RUEDA TRASERA	
Diámetro rueda [mm]	Medidas de diámetro de la rueda
Material llanta	Material de fabricación de la rueda
Peso rueda [kg]	Peso de la rueda delantera

**Tabla B.3** Prestaciones indicadas en la fase de concepto(III)..

FRENO DELANTERO Y FRENO TRASERO	
Sistema freno	Tipo y fabricante de freno empleado
Diámetro freno	Medidas del disco de freno delantero
Pinza	Tipo y fabricante de pinza empleada
Bomba	Tipo y fabricante de la bomba de presión
AERODINÁMICA	
Sección frontal [m <sup>2</sup> ]	Área de la sección frontal del prototipo
Sección planta [m <sup>2</sup> ]	Área de la proyección horizontal del prototipo a plano tierra
Drag [N]	Resistencia del prototipo a su paso por el aire (a través de análisis aerodinámico)
Lift [N]	Sustentación del prototipo a su paso por el aire (a través de análisis aerodinámico)

# Apéndice C

## Ejemplos de documentación

---

En este apéndice se recogen dos ejemplos de fichas técnicas y dos documentos de ensayos, elaborados dentro del equipo de USRacing.

### C.1 Fichas técnicas


1. Ficha técnica 02-BA-001-001 : Caja de batería.
2. Ficha técnica 02-TR-001-001 : Corona de transmisión.

### C.2 Documentos de ensayo

1. Documento de ensayo de prototipo VI E0001: Primer ensayo del prototipo base VI.
2. Documento de ensayo de sistema en prototipo VII ES0002: Primer ensayo tren de potencia.





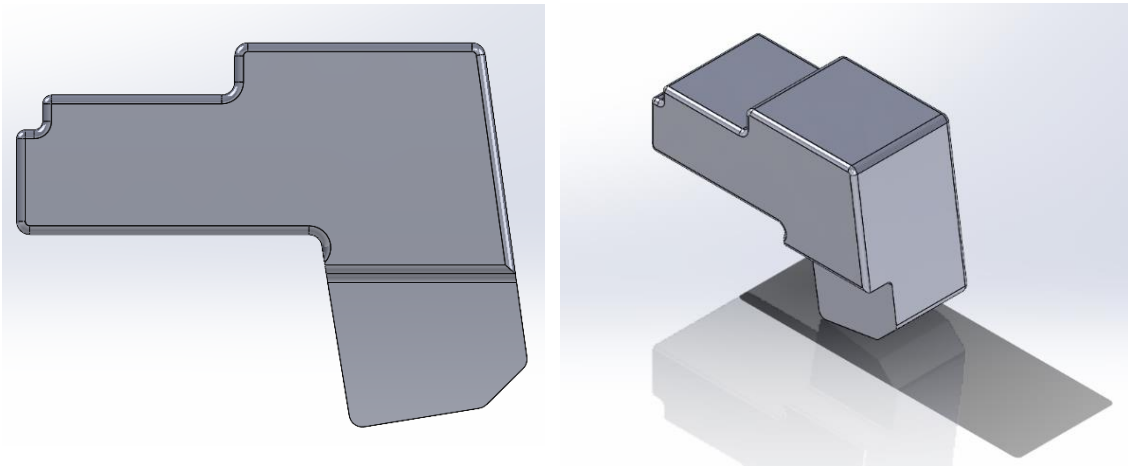
	<b>DEPARTAMENTO FLUIDODINÁMICA</b>	1/10
		10/06/2023
		Revisión 4
<b>02-BA-001-001</b>	<b>Caja de batería</b>	
<b>Objeto documento</b> <p>Hoja técnica de la caja de batería, ensamblaje y fabricación. Se ha actualizado el diseño debido al cambio de celdas y también se cambia el proceso de fabricación. Esta revisión sustituye al documento 02-BA-001-001_v4.</p>		
Prototipo Motostudent VII	Prototipo_005	BA
<b>Autor:</b> -		<b>Destinado a:</b> Escudería USRacing
<b>Aprobación Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>
Dir.Técnico	-	10/06/2023
Jefe Fluidodinámica	-	10/06/2023
PowerTrain & Electronic Systems	-	10/06/2023
<b>Contenido</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño</li> <li>2. Ensamblaje</li> <li>3. Fabricación</li> <li>4. Componente finalizado</li> </ol>		
<b>Referencias</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -</li> </ul>		

	<b>DEPARTAMENTO FLUIDODINÁMICA</b>	2/10
		10/06/2023
		Revisión 4
02-BA-001-001	Caja de batería	

## 02-BA-001-001\_v1

### 1. Diseño

La batería está configurada en función del espacio disponible junto al motor en el hueco interior del chasis.



### 2. Ensamblaje

El ensamblaje está compuesto por dos piezas: una es la caja hueca a falta de la pared de la izquierda, otra es la tapa (pared izquierda) que falta completa la caja y permite su sellado.

\*\*Falta la ubicación de los anclajes

### 3. Fabricación

Su fabricación se basa en material compuesto tipo sándwich, empleando planchas de madera y planchas de fibra de carbono por medio de vacío.

\*\*Falta imagen explicativa de la colocación de las planchas\*\*

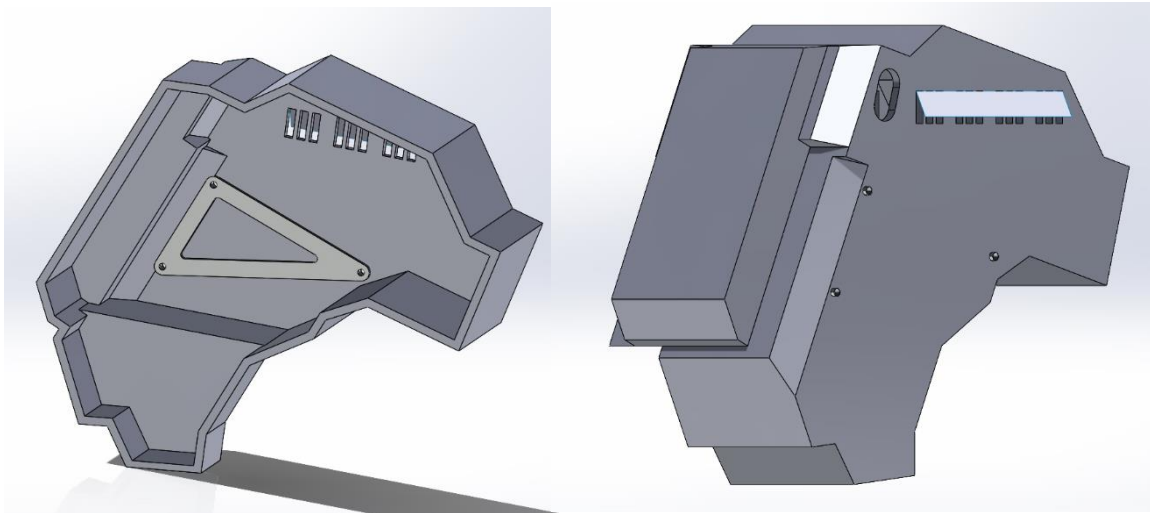
La caja de la batería se realiza por medio de uniones fijas de planchas con escuadras atornilladas:

	<b>DEPARTAMENTO FLUIDODINÁMICA</b>	3/10
		10/06/2023
		Revisión 4
02-BA-001-001	Caja de batería	

## 02-BA-001-001\_v2

### 1. Diseño

La batería está configurada en función del espacio disponible junto al motor en el hueco interior del chasis.



Se han desarrollado unas escuadras que permiten establecer 3 puntos de anclaje con el chasis y con transmisión de tensiones internas.

La forma ha cambiado aprovechando los huecos internos del chasis.

Se han creado los conductos de ventilación pasiva en la parte superior con cubierta incluida.

Se ha incluido un hueco en la parte superior para el paso de cableado.

### 2. Ensamblaje

El ensamblaje está compuesto por dos piezas: una es la caja hueca a falta de la pared de la izquierda, otra es la tapa (pared izquierda) que falta completa la caja y permite su sellado.

### 3. Fabricación

Su fabricación se basa en material compuesto tipo sándwich, empleando planchas de madera y planchas de fibra de carbono por medio de vacío. Las fibras se colocan con una inclinación de 45 grados.

Procedimiento:

1. Sacar planos de cada placa
2. Cortar placas en madera
3. Aplicar fibra en ambas caras
4. Ensamblar el exterior sin las paredes
5. Ensamblar con la pared derecha
6. Adaptar pared izquierda
7. Colocar ganchos abrazadera

El aplicado de las fibras se realiza sobre las madera ya cortadas, dejando margen suficiente para que luego puedan ser perfiladas y acabar con la forma original de corte.

**\*\*Falta imagen explicativa de la colocación de las planchas\*\***

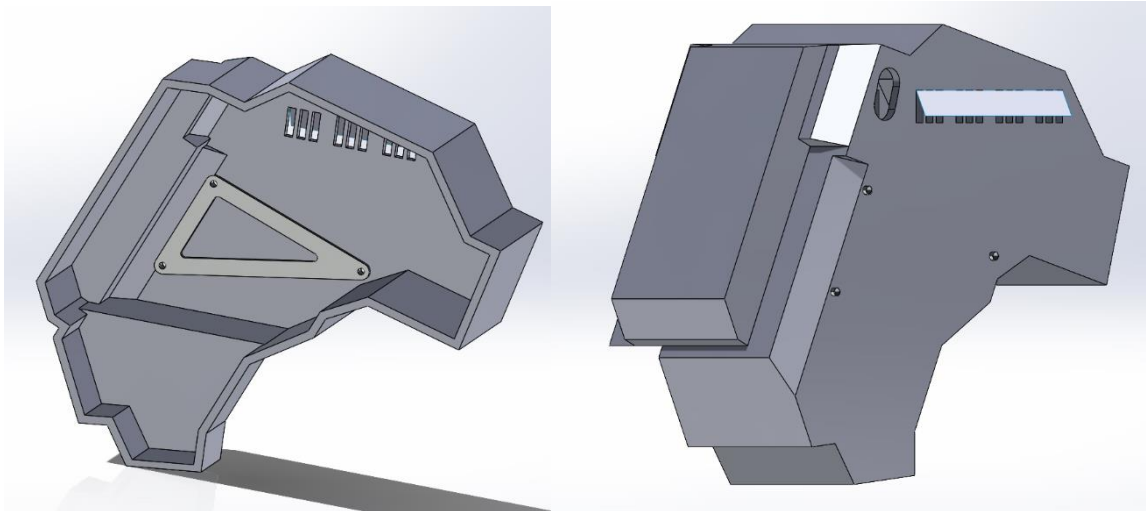
**\*\*Falta espacio para el paso de los cables de potencia del motor\*\***

	<b>DEPARTAMENTO FLUIDODINÁMICA</b>	5/10
		10/06/2023
		Revisión 4
02-BA-001-001	Caja de batería	

## 02-BA-001-001\_v3

### 1. Diseño

La batería está configurada en función del espacio disponible junto al motor en el hueco interior del chasis.



Se han desarrollado unas escuadras que permiten establecer 3 puntos de anclaje con el chasis y con transmisión de tensiones internas.

La forma ha cambiado aprovechando los huecos internos del chasis.

Se han creado los conductos de ventilación pasiva en la parte superior con cubierta incluida.

Se ha incluido un hueco en la parte superior para el paso de cableado.

### 2. Ensamblaje

El ensamblaje está compuesto por dos piezas: una es la caja hueca a falta de la pared de la izquierda, otra es la tapa (pared izquierda) que falta completa la caja y permite su sellado.

### 3. Fabricación

Su fabricación se basa en material compuesto tipo sándwich, empleando planchas de madera y planchas de fibra de carbono por medio de vacío. Las fibras se colocan con una inclinación de 45 grados.

Procedimiento:

1. Aplicar fibra de carbono sobre la plancha de madera en ambas caras
2. Cortar placas sándwich con CNC según plano
3. Ensamblar el exterior sin las paredes
4. Ensamblar con la pared derecha
5. Adaptar pared izquierda con juntas aislantes
6. Colocar ganchos abrazadera

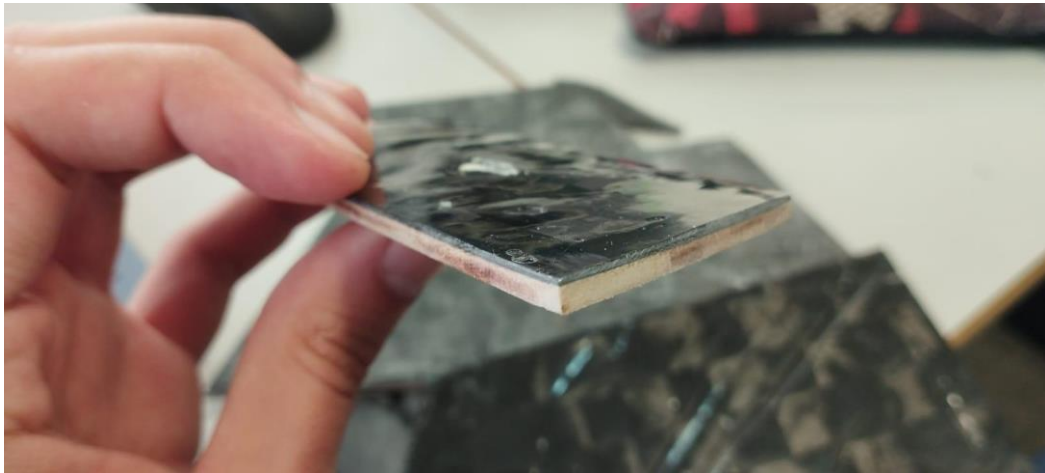
Esta versión actualizada corrige el procedimiento de fabricación de la revisión V2 debido a un exceso de humedad en el taller que produjo un exceso de curvatura en las placas fabricada sólo por una cara, a su vez debido a que la placa de fibra de carbono no cedió ante las tensiones internas generadas por la expansión de la madera.

\*\*Falta imagen explicativa de la colocación de las planchas\*\*

\*\*Falta espacio para el paso de los cables de potencia del motor\*\*

Imágenes del proceso anterior de fabricación de 01-BA-001-001\_v2





#### 4. Componente finalizado

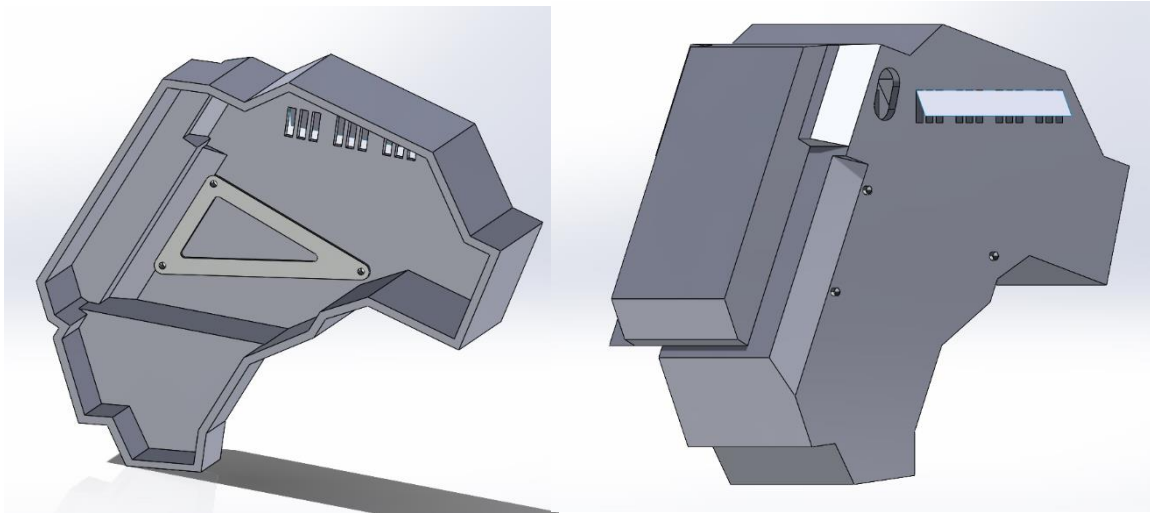
En proceso de fabricación, planteado su acabado para el 25 de junio 2023.

	<b>DEPARTAMENTO FLUIDODINÁMICA</b>	5/10
		10/06/2023
		Revisión 4
02-BA-001-001	Caja de batería	

## 02-BA-001-001\_v4

### 1. Diseño

La batería está configurada en función del espacio disponible junto al motor en el hueco interior del chasis.



Se han desarrollado unas escuadras que permiten establecer 3 puntos de anclaje con el chasis y con transmisión de tensiones internas.

La forma ha cambiado aprovechando los huecos internos del chasis.

Se han creado los conductos de ventilación pasiva en la parte superior con cubierta incluida.

Se ha incluido un hueco en la parte superior para el paso de cableado.

### 2. Ensamblaje

El ensamblaje está compuesto por dos piezas: una es la caja hueca a falta de la pared de la izquierda, otra es la tapa (pared izquierda) que falta completa la caja y permite su sellado.

### 3. Fabricación



Su fabricación se basa en material compuesto tipo sándwich, empleando planchas de madera y planchas de fibra de carbono por medio de vacío. Las fibras se colocan con una inclinación de 45 grados.

Procedimiento:

1. Aplicar fibra de carbono sobre la plancha de madera en ambas caras
2. Cortar placas sándwich con CNC según plano
3. Ensamblar el exterior sin las paredes
4. Ensamblar con la pared derecha
5. Adaptar pared izquierda con juntas aislantes
6. Colocar ganchos abrazadera

Esta versión actualizada corrige el procedimiento de fabricación de la revisión V2 debido a un exceso de humedad en el taller que produjo un exceso de curvatura en las placas fabricada sólo por una cara, a su vez debido a que la placa de fibra de carbono no cedió ante las tensiones internas generadas por la expansión de la madera.

**\*\*Falta espacio para el paso de los cables de potencia del motor\*\***

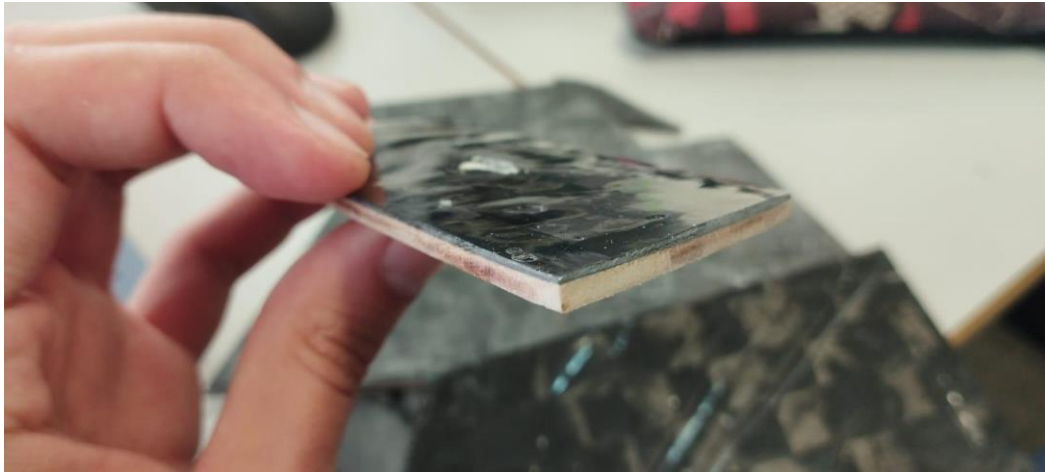
Imágenes del proceso anterior de fabricación de 01-BA-001-001\_v2



En la revisión V4 se proceden a realizar dos cajas de batería:

- Caja testeo: Fabricada con las láminas realizadas en la revisión V2 para producir un modelo en menor tiempo que sirva de apoyo al departamento de electrónica.

- Caja definitiva: Se fabrica siguiendo el procedimiento antes descrito, con un desarrollo más largo en su producción.



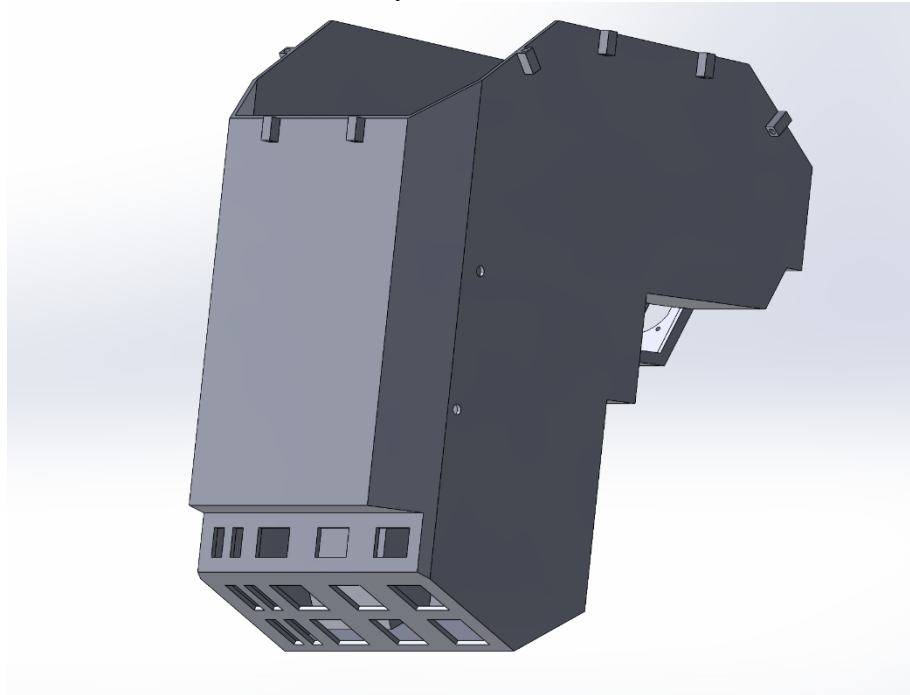
#### 4. Componente finalizado

En proceso de fabricación, planteado el acabado de la caja testeo para el 25 de junio 2023. La caja definitiva se plantea su acabado en julio 2023.

## 02-BA-001-001\_v5

### 1. Diseño

La batería está configurada en función del espacio disponible teniendo en cuentas los errores del chasis entre la fabricación y el diseño.



Se han eliminado las escuadras de anclaje y ahora se unirá al chasis mediante dos tornillos de M9 por cada lado.

El ancho se ha visto reducido a 270mm debido a el chasis es más estrecho de lo esperado.

Se han formado nuevos conductos de ventilación en la parte frontal y se ha añadió 3 ventiladores en la parte posterior (anclados por tornillos de M4).

Se ha cambiado el hueco del cableado a la parte posterior.

Se han introducido dos registros uno para el contactor y otro para la BMS para poder manipularlos en competición, este se encuentra en la tapa.

### 2. Ensamblaje

El ensamblaje se compone de la caja y una tapa superior anclada por 10 tornillos M6.

### 3. Fabricación

Su fabricación será encargada, se utilizará aluminio 6063-T6 de 4mm de espesor. También sería interesante que realicen la rosca de los tornillos de los ventiladores en la parte posterior con un M4, los de los anclajes de la tapa con un M6 y los laterales de anclaje al chasis con un M9


(Si fuera posible, cuando se encargue sería importante recalcar que el ancho de la caja no se vea reducido, es preferible que aumente 2mm a que se reduzca 2mm)

\*\*FALTA: procedimiento de fabricación (proceso)

\*\*FALTA: detalle del ensamblaje por piezas (incluir tapa)

\*\*FALTA: Vista de alzado planta y perfil, y cotas

Proponer realizar el corte con una sierra de calar y con hoja de aluminio, posterior limado de piezas

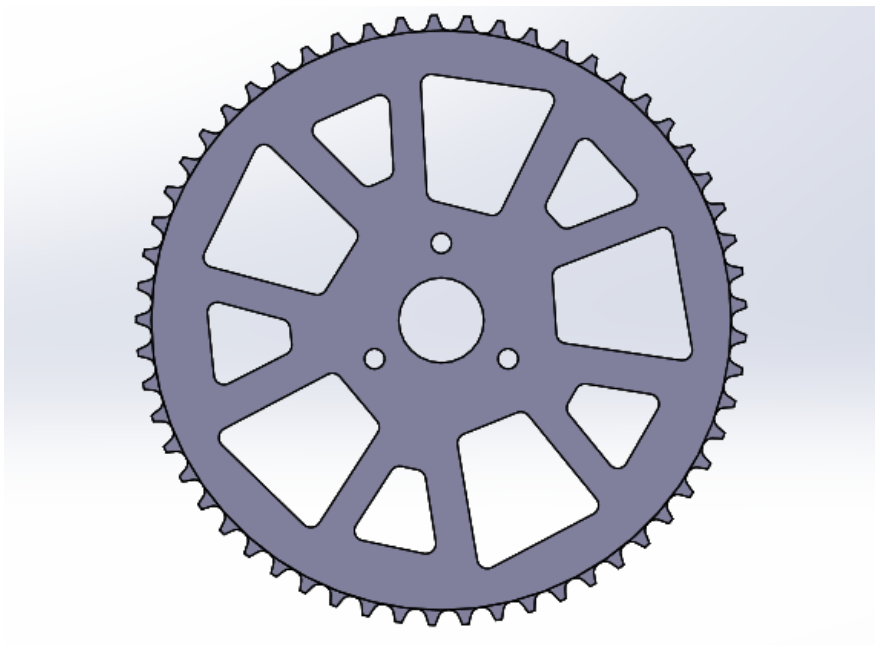
	<b>DEPARTAMENTO ESTRUCTURAL</b>	1/2
		27/04/2023
		Revisión 1
02-TR-001-001	Corona dentada de transmisión	
<b>Objeto documento</b> Hoja técnica de la pieza, con características, modificaciones, fabricación y previsiones.		
Prototipo Motostudent VII	Prototipo_005	TR
<b>Autor:</b> Antonio Giménez Baldán		<b>Destinado a:</b> Escudería USRacing
<b>Aprobación Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>
Dir.Técnico	Antonio Giménez Baldán	dd/mm/aaaa
Jef. Estructural	Luis Soriano Calderón	
<b>Contenido</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño</li> <li>2. Ensamblaje</li> <li>3. Fabricación</li> </ol>		
<b>Referencias</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -</li> </ul>		

	<b>DEPARTAMENTO ESTRUCTURAL</b>	2/2
		27/04/2023
		Revisión 1
02-TR-001-001	Corona dentada de transmisión	

## 02-TR-001-001\_v1

### 1. Diseño

Corona dentada (plato) ubicada en la rueda trasera. Recibe la potencia a través de la cadena y la transmite a la llanta de la rueda.



*Figura 1 Corona dentada de 68 dientes.*

### 2. Ensamblaje

Es necesario disponer de dos coronas dentadas nuevas de 62 y de 68 dientes.

### 3. Fabricación

Se envía a taller para su fabricación a través de mecanizado CNC.

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	1/8
		12/05/2023
		Ensayo_0001
<b>E0001</b>	<b>Primer ensayo del prototipo base VI</b>	
<b>PLAN DE ENSAYO</b> Prueba de comunicación, motor, encoder y trazado con prototipo VI.		
Prototipo Motostudent VI	Prototipo_Base	No favorable
<b>Autor:</b> -		<b>Destinado a:</b> Escudería USRacing
<b>Aprobación Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>
Jefe Electrónica	-	12/05/2023
Dir.Técnico	-	12/05/2023
<b>Contenido</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción</li> <li>2. Estado del prototipo</li> <li>3. Procedimiento</li> <li>4. Logbook</li> <li>5. Defectos detectados</li> <li>6. Mejoras planteadas</li> </ol>		
<b>Referencias</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• -</li> </ul>		

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	2/8
		12/05/2023
		Ensayo_0001
<b>E0001</b>	<b>Primer ensayo del prototipo base VI</b>	

## 1. Introducción

En este ensayo se realiza después un largo período sin pruebas con el prototipo VI debido a la falta del dispositivo IXXAT que permite la comunicación CANBus con el controlador (inversor).

Se trata de la primera puesta a punto para conocer el estado del mismo. Dado que el prototipo VI servirá de prototipo base para ensayos, pruebas y testeo, se configurará para que sea flexible en cuanto a su manejo y disponibilidad.



	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	3/8
		12/05/2023
		Ensayo_0001
E0001	Primer ensayo del prototipo base VI	

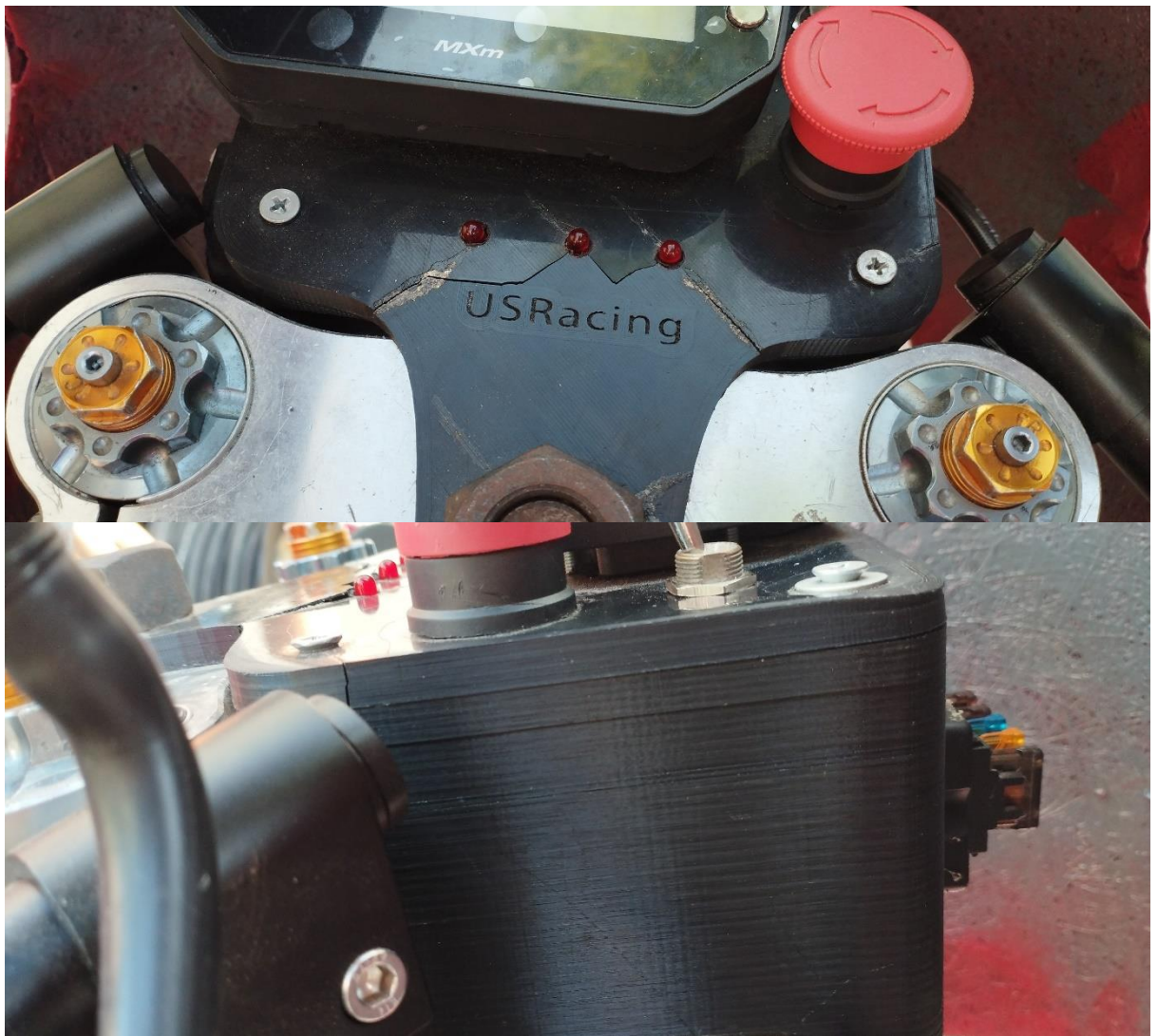
## 2. Estado del prototipo

Se procede a conocer el estado actual del prototipo. La última vez que se usó, tuvo problemas de comunicación con el controlador y no se pudo ejecutar ninguna prueba de circuito.

Se ha realizado un nuevo conexionado de toda la circuitería interna, introducido un nuevo acelerador por efecto Hall, una nueva batería de 12V del sistema de control y dispone de una batería modificada de menor capacidad, utilizada para pequeños circuitos.

Se observan desperfectos con el paso del tiempo, oxidación, rotura de componentes y arañazos en placas.





	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	5/8
		12/05/2023
		Ensayo_0001
<b>E0001</b>	<b>Primer ensayo del prototipo base VI</b>	

### 3. Procedimiento

- Programación de la ECU.
- Verificación del sistema de frenos.
- Verificación del sistema de transmisión a rueda.
- Verificación del inflado de las rueda a presión de 2 bar a temperatura ambiente.
- Verificación del aislamiento eléctrico del prototipo: Revisión del sistema de potencia y almacenamiento, masa y KM.
- Verificación del funcionamiento de la seta de emergencia con prototipo encendido.
- Verificación del funcionamiento de la seta de emergencia con prototipo arrancado (rueda en caballete y en movimiento)
- Prueba de arranque en vacío.
- Prueba de arranque con trazado en recta.

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	6/8
		12/05/2023
		Ensayo_0001
<b>E0001</b>	<b>Primer ensayo del prototipo base VI</b>	

#### 4. Logbook

Se realiza la reprogramación de la ECU para poder obtener datos a través del CANBus: **FAVORABLE**.

Inflado de ruedas [2bar delantera; 1,9 bar trasera]: **FAVORABLE**

Se realiza la prueba de la seta de emergencia: **FAVORABLE**.

Se realiza la prueba de aislamiento: **FAVORABLE**

Se realiza una demanda pico de potencia al motor en vacío: **FAVORABLE**

Trazado de la recta del laboratorio de la ETSI: **FAVORABLE**

Se realiza una demanda pico de potencia al motor en vacío: **FAVORABLE**

Se procede a la modificación de los parámetros de OffSet y ganancia del encoder.

Se realiza una demanda pico de potencia al motor en vacío: **NO FAVORABLE**

Se realiza una demanda pico de potencia al motor en pista: **NO FAVORABLE**

Se observa un balanceo excesivo de la cadena.

Se realiza una demanda pico de potencia al motor en vacío: **NO FAVORABLE**

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	7/8
		12/05/2023
		Ensayo_0001
E0001	Primer ensayo del prototipo base VI	

## 5. Defectos detectados

DEN [Defecto de ENSayo]

Defecto	Descripción	Impacto
DEN0001	Presión baja en rueda delantera	BAJO
DEN0002	Bender puentado debido a un mal funcionamiento	ALTO
DEN0003	Plato de la rueda trasera desviado y oxidado	MEDIO
DEN0004	Carcasa de la KM rota	ALTO
DEN0005	Falta el acondicionamiento de cableado en mazo	ALTO
DEN0006	Problema de configuración del encoder	ALTO
DEN0007	Tensor de cadena no ajustado	BAJO
DEN0008	Falta la tobera	BAJO
DEN0009	AIMS ha registrado sólo 100rpm en un ensayo en vacío	MEDIO

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	8/8
		12/05/2023
		Ensayo_0001
<b>E0001</b>	<b>Primer ensayo del prototipo base VI</b>	

## 6. Mejoras planteadas

Resolver los DEN detectados y proseguir con nuevos ensayos.  
Revisar la configuración del AIMS para piloto en pista.

## 7. Reporte

- Duración: 28s y 27s (ida y vuelta recta ETSI)
- Error unidades rpm del encoder.



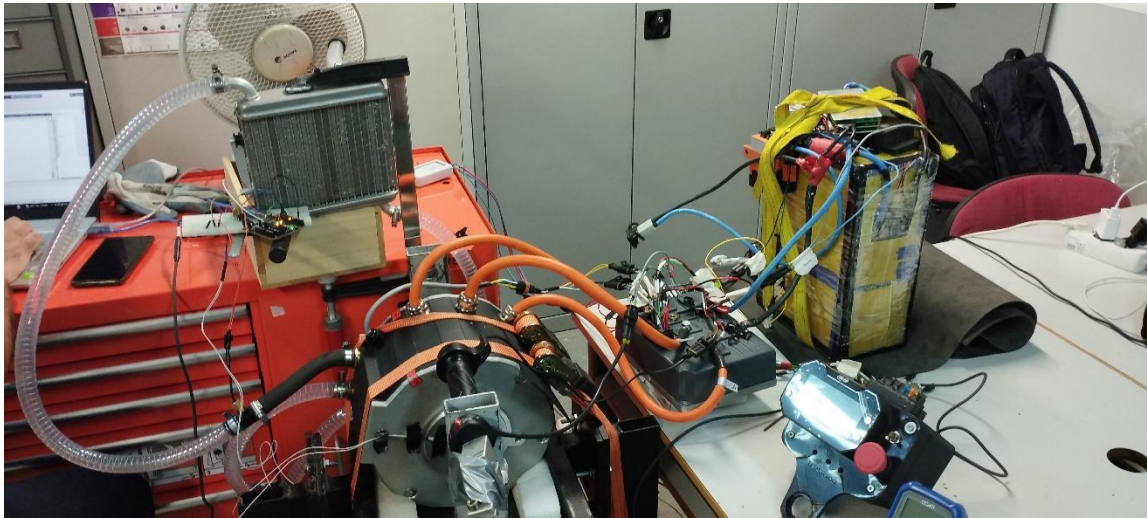
	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	1/7
		22/06/2023
		Ensayo Sistema 0001
ES0001	Primer ensayo Tren de Potencia	
<b>PLAN DE ENSAYO</b> Primera prueba de encendido del motor edición VII con refrigeración incluida.		
Prototipo Motostudent VII	Prototipo_005	Favorable
Autor: USRACING		Destinado a: MotoStudent
<b>Aprobación Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>
Jefe PowerTrains & Electronic System	-	22/06/2023
Dir.Técnico	-	22/06/2023
<b>Contenido</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introducción</li> <li>2. Estado del prototipo</li> <li>3. Procedimiento</li> <li>4. Logbook</li> <li>5. Defectos detectados</li> <li>6. Mejoras planteadas</li> </ol>		
<b>Referencias</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MS2223 CIRCE INFO.v1.1 .pdf</li> </ul>		

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	2/7
		2206/2023
		Ensayo Sistema 0001
ES0001	Primer ensayo del prototipo base VII	

## 1. Introducción

Este ensayo se realiza para comprobar el funcionamiento del tren de potencia del prototipo, de forma que puede verificarse el correcto funcionamiento de este. Se incluye el sistema de refrigeración, alimentado con agua destilada y con un ventilador mecánico hacia la zona del radiador.

Debido a problemas en la fabricación, el ensayo se realiza en vacío, limitando las conclusiones.



*Ilustración 1. Visual del banco de ensayo*



	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	3/7
		22/06/2023
		Ensayo Sistema 0001
ES0001	Primer ensayo del prototipo base VII	

## 2. Estado del prototipo

El tren de potencia se encuentra completo en la bancada de pruebas. Al ser el primer ensayo de sistema de tren de potencia no hay estado previo.

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	4/7
		22/06/2023
		<b>Ensayo Sistema 0001</b>
<b>ES0001</b>	<b>Primer ensayo del prototipo base VII</b>	

### 3. Procedimiento

- Se comprueba que todas las conexiones están correctas y debidamente aisladas.
- Se comprueba las derivaciones eléctricas entre la batería, el motor y la bancada, para asegurarnos de que no hay ningún tipo de fuga y es seguro realizar el ensayo.
- Se conectan sensores externos como son el sensor de temperatura del líquido refrigerante y un sensor externo de temperatura para el motor. Se comprueba su correcto funcionamiento.
- Se activa el Interruptor General de Alimentación y se espera a que el sistema se arme. Debe sonar el contactor cerrarse para permitir el paso de la corriente de la batería.
- Limitamos las revoluciones del motor para medir el par y potencia máximas a esas revoluciones.
- Se activa el forward y se acelera poco a poco para registrar los datos correctamente.
- Una vez llegamos a las revoluciones máximas

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	5/7
		22/06/2023
		Ensayo Sistema 0001
ES0001	Primer ensayo del prototipo base VII	

#### 4. Logbook

- Se realiza la comprobación de conexionado y aislamiento: FAVORABLE
- Se realiza la comprobación de derivas: FAVORABLE
- Se obtienen datos medidos de los sensores de temperatura, se verifica su funcionamiento dentro del ensayo: FAVORABLE
- Se procede con el armado del sistema: FAVORABLE.
- Se modifica por software los parámetros de revoluciones del motor y potencia máxima: FAVORABLE
- Se proporciona un pico de potencia al motor: FAVORABLE.
- Se observa el funcionamiento del motor a revoluciones máxima limitadas: FAVORABLE.

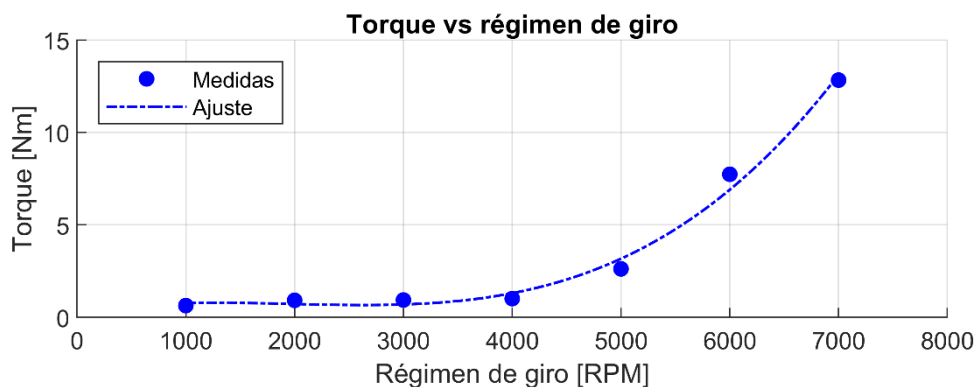
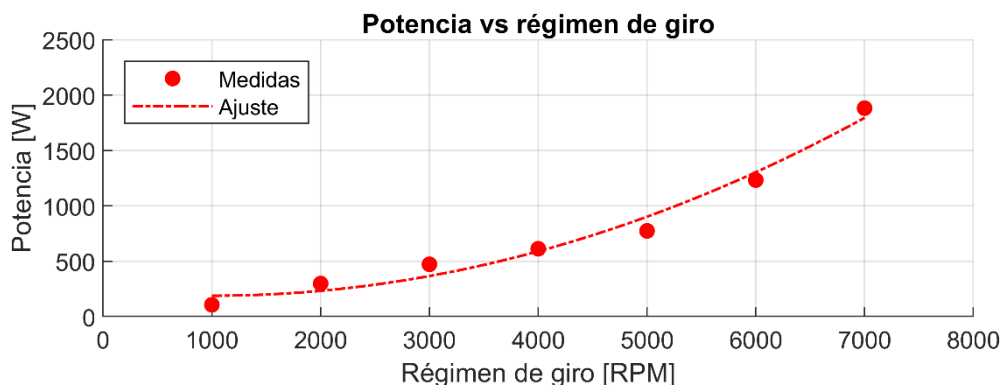


Ilustración 2. Gráficas de Potencia y Par respecto a las RPM.

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	6/7
		22/06/2023
		Ensayo Sistema 0001
ES0001	Primer ensayo del prototipo base VII	

## 5. Defectos detectados

DEN [Defecto de ENSayo]

Defecto	Descripción	Impacto
-	<i>No se han encontrado defectos</i>	

	<b>DEPARTAMENTO TÉCNICO</b>	7/7
		22/06/2023
		Ensayo Sistema 0001
ES0001	Primer ensayo del prototipo base VII	

## 6. Mejoras planteadas

Se planteada el ensayo ES0003 del tren de potencia en una bancada de potencia.



# Índice de Figuras

---

3.1	Modelo V&V planteado para el proyecto	8
3.2	Esquema conceptual del prototipo	9
3.3	Generación de Requerimientos a través de las peticiones de la normativa y del propio equipo	10
3.4	Esquema conceptual de generación de Sistemas, SubSistemas, y Componentes a partir de los RAN, RMN y RBN	11
3.5	Arquitectura del modelo con sistemas y subsistemas	12
3.6	Visualización del diseño 3D del sistema Estructural, a través de <i>SolidWorks Student Version</i> [5] por la US. Propiedad de la escudería USRacing	13
3.7	Visualización del diseño 3D del sistema de Potencia y parte del subsistema de Refrigeración dentro del "bloque motor", a través de <i>SolidWorks Student Version</i> [5] por la US. Propiedad de la escudería USRacing	14
3.8	Visualización del diseño 3D del sistema de Control Aerodinámico (sólo subsistema Aerodinámico), a través de <i>SolidWorks Student Version</i> [5] por la US. Propiedad de la escudería USRacing	15
3.9	Proceso de iteración para obtener una versión de prototipo	17
3.10	Procedimiento para la validación en fase de diseño de un elemento, (pieza o componente)	18
3.11	Procedimiento para la generación de un elemento (pieza o componentes) con su correspondiente ficha técnica y con el control de versiones, en este caso la generación de versión v4	18
3.12	Vista perfil del Prototipo 006, Edición VII, realizado con <i>SolidWorks Student Versión</i> [5] por la US. Propiedad de la escudería USRacing	19
3.13	Fase de implementación en distintas líneas de trabajo (ejemplo de la 1 a la 3)	21
3.14	Fase de implementación en distintas líneas de trabajo con valores numéricos(ejemplo de la 1 a la 3)	22
3.15	Procedimiento para la verificación y validación de un sistema a alto nivel o un componente a bajo a nivel, dentro del prototipo	24
4.1	Distribución de la carga de trabajo y el coste económico del proyecto por trimestre para el Prototipo de la Edición VII	29
4.2	Esquema temporal de evolución de la fase de concepto por escalones	30
4.3	Ejemplo de programación semanal de las LdT para el departamento de Fluidodinámica	33
4.4	Vista en perspectiva 3D del Prototipo 006, Edición VII. Propiedad de la escudería USRacing	33
4.5	Fragmento del PartList del Prototipo_005, Edición VII	34
4.6	Ejemplo de tabla representativa del estado de fabricación del Prototipo 006 Edición VII	37

- 4.7 Ejemplo de tabla representativa de las acciones de fabricación del Prototipo 006 Edición VII. Los procedimientos de fabricación están a su vez incluidos en las fichas técnicas de los componentes.



# Índice de Tablas

---

B.1	Prestaciones indicadas en la fase de concepto (I).	54
B.2	Prestaciones indicadas en la fase de concepto (II).	55
B.3	Prestaciones indicadas en la fase de concepto(III).	56



# Bibliografía

---

- [1] Tiago Amorim, Andreas Vogelsang, Florian Pudlitz, Peter Gersing, and Jan Philipps, *Strategies and best practices for model-based systems engineering adoption in embedded systems industry*, 2019 IEEE/ACM 41ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING: SOFTWARE ENGINEERING IN PRACTICE (ICSE-SEIP 2019), IEEE; Assoc Comp Machinery; IEEE Comp Soc; Special Interest Grp Software Engn; Tech Council Software Engn, 2019, IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering - Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP), Montreal, CANADA, MAY 25-31, 2019, pp. 203–212.
- [2] Vincent Chapurlat, Blazho Nastov, and Jeremy Bourdon, *A conceptual, methodological and technical contribution for modeling and v&v in mbse context*, 2022 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS ENGINEERING (ISSE), IEEE International Systems Engineering Symposium, 2022, International Symposium on Systems Engineering (ISSE), Vienna, AUSTRIA, OCT 24-26, 2022.
- [3] Vincent Chapurlat and Blazo Nastov, *Deploying mbse in sme context: revisiting and equipping digital mock-up*, 2020 6TH IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SYSTEMS ENGINEERING (IEEE ISSE 2020), IEEE; IEEE Syst Council, 2020, 6th IEEE International Symposium on Systems Engineering (IEEE ISSE), ELECTR NETWORK, OCT 12-NOV 12, 2020.
- [4] Jean-Charles Chaudemar and Pierre de Saqui-Sannes, *Mbse and mdao for early validation of design decisions: a bibliography survey*, 2021 15TH ANNUAL IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON 2021), Annual IEEE Systems Conference, IEEE; IEEE Syst Council, 2021, 15th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), ELECTR NETWORK, APR 15-MAY 15, 2021.
- [5] DASSAULT SYSTEMÈS SOLIDWORKS CORPORATION, *Solidworks student version*, Bajo Licencia de la Universidad de Sevilla US (2023).
- [6] Kyle Haas, *Efficacy and reliability of data-driven and physics-based simulation models*, STRUCTURES CONGRESS 2020 (JG Soules, ed.), Amer Soc Civil Engineers, Struct Engn Inst, 2020, Structures Congress, St Louis, MO, APR 05-08, 2020, pp. 720–729.
- [7] Qi Huang, Gongyu Wu, and Zhaojun Steven Li, *Design for reliability through text mining and optimal product verification and validation planning*, IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY **70** (2021), no. 1, 231–247.

- [8] Danish Iqbal, Assad Abbas, Mazhar Ali, Muhammad Usman Shahid Khan, and Raheel Nawaz, *Requirement validation for embedded systems in automotive industry through modeling*, IEEE ACCESS **8** (2020), 8697–8719.
- [9] Laura Jones-Wilson, Paige Cooley, Veronica Benitez, Maddalena Jackson, and Priyanka Srivastava, *Europa clipper payload verification and validation: Early architecture and implementation*, 2021 IEEE AEROSPACE CONFERENCE (AEROCONF 2021), IEEE Aerospace Conference Proceedings, IEEE, 2021, IEEE Aerospace Conference (AeroConf), ELECTRONETWORK, MAR 06-13, 2021.
- [10] MOTOSTUDENT, *Motorland aragón*, 2023.
- [11] B. Nastov, V. Chapurlat, F. Pfister, and C. Dony, *Mbse and v&v: a tool-equipped method for combining various v&v strategies*, IFAC PAPERSONLINE **50** (2017), no. 1, 10538–10543, 20th World Congress of the International-Federation-of-Automatic-Control (IFAC), Toulouse, FRANCE, JUL 09-14, 2017.
- [12] Rahul Razdan, Mustafa Ilhan Akbas, Raivo Sell, Mauro Bellone, Mahesh Menase, and Mohsen Malayjerdi, *Polyverif: An open-source environment for autonomous vehicle validation and verification research acceleration*, IEEE ACCESS **11** (2023), 28343–28354.
- [13] UNIVERSITY OF CANBERRA UNSW, *Course of systems engineering*, Capability Systems Centre (2023).