



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## DISEÑO DE UNA MOTO ELÉCTRICA DE COMPETICIÓN

### TRABAJO FIN DE GRADO

Iker López de Munáin Díaz

Jesús López Taberna

Pamplona, 25 de Junio de 2014



## RESUMEN

A través de este proyecto se ha querido diseñar una moto eléctrica partiendo de una moto de motor de combustión de MotoStudent. Se han aprovechado todas las piezas posibles para así, sólo tener que sustituir el motor de combustión por uno eléctrico y el depósito de gasolina y todas las partes ligadas a ello por unas baterías.

Este proyecto se ha elaborado gracias a los conocimientos adquiridos en los años de grado, así como a los adquiridos a la hora de desarrollar este Trabajo Fin de Grado, que gracias a varias personas se ha podido llevar a cabo.

También, quiero destacar que el presente proyecto pueda ayudar a otros estudiantes que se vean interesados en este tema, a adquirir conocimientos para su desarrollo tanto de un nuevo proyecto, como en sus propios estudios.

Por último, quisiera mencionar que el objetivo final de dicho proyecto sería montar todos los componentes que más adelante se mencionarán para tener de forma física la moto. Este trabajo se desarrollará más adelante si se consiguen los fondos necesarios para llevar a cabo la idea.

**Palabras clave:** Chasis, kit de conversión eléctrico, motor, baterías, controlador, MotoStudent.

## AGRADECIMIENTOS

Durante todo el tiempo que he estado realizando este Trabajo Fin de Grado he tenido personas a mi alrededor que me han apoyado y animado para seguir adelante. Ahora me gustaría agradecerles sus esfuerzos y consejos, porque sin su ayuda todo habría resultado más difícil.

En primer lugar, quiero mencionar a mi familia, que se ha preocupado desde el primer día que empecé la carrera y me han dado todo su apoyo.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mi tutor, JESÚS LÓPEZ TABERNA por su ayuda, dedicación, y colaboración durante todo el proyecto.

En tercer lugar, agradecer también, a los profesores del área eléctrica por darme los conocimientos necesarios, JAVIER MARCOS, MIGUEL GARCÍA y PABLO SANCHIS.

No quisiera olvidarme de IDOIA SAN MARTÍN por su colaboración con el tema de las baterías y de JOKIN AGUINAGA por su ayuda con el programa de diseño.

Por último, quisiera agradecer a mis amigos y compañeros de universidad, que siempre hemos estado para apoyarnos el uno sobre el otro.

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1.    Ámbito y justificación.....	10
1.2.    Objetivos del proyecto.....	11
1.3.    Fases del proyecto.....	12
1.4.    Estructura del proyecto.....	12
2. CONTEXTO .....	16
2.1.    Qué es MotoStudent.....	16
2.1.1. Aspectos generales.....	16
2.1.2. La competición.....	16
2.2.    Fases de la competición MotoStudent 2012.....	17
2.3.    Chasis de la motocicleta.....	19
2.3.1. Historia de la motocicleta.....	19
2.3.2. Tipos de bastidores de motocicleta.....	23
2.3.3. Elección del chasis.....	26
3. KIT DE CONVERSIÓN ELÉCTRICO.....	30
3.1.    Introducción.....	30
3.2.    Comparativa y elección.....	33
3.2.1. HPEVS AC-51.....	33
3.2.2. HPEVS AC-50.....	34
3.2.3. HPEVS AC-20.....	35
3.3.    Comparación de prestaciones.....	38

4. BATERÍAS.....	44
4.1.    Introducción.....	44
4.2.    Parámetros más importantes de las baterías.....	46
4.3.    Efecto memoria.....	47
4.4.    Tecnologías disponibles. Tipos de baterías.....	48
4.5.    Comparativa y elección.....	50
4.5.1.    MILSPEC 12-400 RUGGEDIZED LIFEPO4 BATTERY.....	51
4.5.2.    Batería ZEBRA.....	52
4.5.3.    SAFT 22 V LI-ION MODULE.....	53
4.5.4.    SAFT 24 V SLFP MODULE.....	54
5. INTEGRACION DEL CHASIS.....	57
6. PRESUPUESTO.....	61
7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	65
7.1.    Conclusiones.....	66
7.2.    Líneas futuras.....	67
8. REFERENCIAS.....	69
ANEXOS: PLANOS.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Suzuki 500cc pilotada por Kevin Schwantz (1989).....	10
Figura 2: Puntuación de la competición ( <a href="http://www.motostudent.com">www.motostudent.com</a> ).....	17
Figura 3: Periodos de competición ( <a href="http://www.motostudent.com/">www.motostudent.com/</a> ).....	17
Figura 4: Primera motocicleta de la Historia, ingeniero Gottlieb Daimler (1885).....	19
Figura 5: Motocicleta FN Four, creada en 1904. ....	20
Figura 6: Motocicleta Ariel Square Four, creada en 1950. ....	21
Figura 7: Suzuki Hayabusa. ....	22
Figura 8: Chasis tubular de KTM Duke. ....	23
Figura 9: Ducati Gp10. Mundial de motociclismo 2008 ....	24
Figura 10: Ducati Gp9. Mundial de motociclismo 2007. (Moto campeona del mundo) ....	24
Figura 11: Primer Deltabox, diseñado por Antonio Cobas. ....	25
Figura 12: Moto2 RZ-Honda Mundial del motociclismo.....	26
Figura 13: Chasis original de la moto. Vista lateral.....	27
Figura 14: Chasis original de la moto. Vista 3D.....	27
Figura 15: “La Jamais Contente” primer vehículo que superó los 100 km/h, un eléctrico. ....	30
Figura 16: Coche de gasolina vs coche eléctrico.....	31
Figura 17: Moto del año 2010 del Mundial de TTXGP. ....	32
Figura 18: Kit MotoCzysz Electric D1g1tal Dr1ve. Motor + baterías.....	33
Figura 19: Motor HPEVS AC-51. ....	34
Figura 20: Motor HPEVS AC-50. ....	35
Figura 21: Visión 3D del motor integrado en el chasis. ....	36
Figura 22: Motor HPEVS AC-20. ....	37
Figura 23: Motor HPEVS AC-20. Vista trasera.....	37
Figura 24: Curva de potencia y par del motor de combustión interna.....	39
Figura 25: Curvas del motor HPEVS AC-20. ....	40
Figura 26: Curvas del motor HPEVS AC-20 con ventilador. ....	41
Figura 27: Curvas del motor HPEVS AC-20 sin refrigeración. ....	42
Figura 28: Esquema esencial del proceso de polarización de la pila Zn-Cu de Volta. ....	45
Figura 29: Comparación de las diferentes tecnologías de baterías (Wh/l frente a Wh/Kg.). ....	50
Figura 30: Batería MILSPEC 12-400 RUGGEDIZED LIFEPO4 ( <a href="http://store.evtv.me">store.evtv.me</a> ) ....	51

<b>Figura 31: Batería ZEBRA.</b> .....	52
<b>Figura 32: Batería Saft 24 V SLFP MODULE.</b> .....	54
<b>Figura 33: Modificación del chasis de la moto.</b> .....	58
<b>Figura 34: Chasis de la moto modificado con los soportes de las baterías.</b> .....	59
<b>Figura 35: Conjunto de la moto eléctrica integrada.</b> .....	60

## **ÍNDICE DE TABLAS**

---

<b>Tabla 1: Comparación de las diferentes tecnologías basadas en litio</b> .....	49
<b>Tabla 2: Características de la batería SAFT 22 V LI-ION MODULE</b> .....	53
<b>Tabla 3: Características de la batería Saft 24 V SLFP MODULE</b> .....	55
<b>Tabla 4: Presupuesto</b> .....	62



# *1. INTRODUCCIÓN*

---

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Ámbito y justificación

La idea de este proyecto es plasmar la afición de un estudiante de Ingeniería en Tecnologías Industriales por el mundo de las dos ruedas en un proyecto de este ámbito.

Gracias a la Universidad Pública de Navarra y a la competición MotoStudent he podido desarrollar el diseño una motocicleta eléctrica partiendo de una de un motor de combustión.

MotoStudent es una competición entre universidades cuyo objetivo es la aplicación de los conocimientos que los participantes van adquiriendo en las diferentes escuelas de ingeniería, diseñando y fabricando una moto que, dentro de un reglamento y unas reglas, competirá con el resto de motos fabricadas por el resto de universidades.



Figura 1: Suzuki 500cc pilotada por Kevin Schwantz (1989)

Los conocimientos necesarios para esta competición abarcan todos los aspectos requeridos para realizar una moto de competición como son los mecánicos, de electricidad, electrónica, materiales, organización industrial, etc.

Dado que la motocicleta sobre la que se trabajará es de MotoStudent, es necesario conocer varios temas al respecto, como la comprensión y análisis de la normativa de la competición.

## 1.2. Objetivos del proyecto

El objetivo general que se pretende alcanzar con la realización de este proyecto consistirá en el diseño de una moto eléctrica partiendo de una motocicleta de competición de Moto3 ya construida teniendo que verificar si hace falta hacer cambios estructurales para poder introducir el motor eléctrico, la electrónica y las baterías.

Para la consecución de este objetivo principal se desarrollarán previamente las siguientes tareas:

1. Realizar un estudio y analizar la moto a partir de la cual se comienza a trabajar. Para esto, se utiliza el programa de diseño Catia. Además, se tiene que mirar los diferentes chasis que existen actualmente en el mercado y que han existido a lo largo de la historia tanto a nivel comercial como en competición, con el fin de valorar sus diferentes funcionalidades, adaptándolo o sirviendo de inspiración para este modelo en base a las necesidades que se tengan.
2. Hacer una búsqueda de kits de conversión eléctrica y barajar cuál es el que encaja en este proyecto.
3. Hacer una búsqueda de baterías que cumplan las condiciones necesarias para su implementación en la moto eléctrica.
4. Montar el conjunto.

### 1.3. Fases del proyecto

Para alcanzar los objetivos principales anteriormente mencionados, se plantea el siguiente cronograma:

1. Recopilación de datos técnicos sobre motocicletas e información específica.
2. Establecer los criterios de selección para la elección del chasis entre las diferentes alternativas.
3. Análisis de las búsquedas realizadas y elección del diseño final.

### 1.4. Estructura del proyecto

Este documento se dividirá en 9 partes diferentes, que a continuación se comentarán por separado.

1. **Introducción:** En este primer capítulo se introducirá el documento describiendo el marco en el que se sitúa y la motivación de este proyecto.
2. **Contexto:** Se centra en explicar qué es MotoStudent y se mencionan temas técnico-administrativos, así como el chasis del que se parte.
3. **Kit de conversión eléctrico:** Se introduce el concepto de kit de conversión eléctrico y se hace un análisis de diferentes opciones de los mismos para colocar en la moto. Además, se realiza una comparación de las prestaciones del motor de combustión interna que llevaba la moto y el nuevo motor eléctrico que se colocará en la misma.
4. **Baterías:** Se explica el principio de funcionamiento de las mismas y se hace un repaso de las diferentes tecnologías disponibles. También, se elabora un análisis de diferentes baterías para introducir en la moto eléctrica.
5. **Integración del chasis:** Se expone cómo queda finalmente la moto con los elementos colocados.
6. **Presupuesto:** Se realiza el presupuesto del conjunto que se ha elegido para colocar en la moto así como la modificación del chasis y otros elementos.

7. **Conclusiones y líneas futuras:** Se realiza un resumen de los componentes elegidos y se plantea la solución. También, se proponen aspectos que se han quedado sin resolver en este proyecto y que serían interesantes abordar en el futuro.
8. **Referencias:** Se hace una recogida de los documentos y páginas web empleadas para este proyecto.
9. **Anexos:** Se presentan los planos de la moto con las modificaciones del chasis y con los componentes elegidos ya insertados en la moto.



## *2. CONTEXTO*

---

## 2.CONTEXTO

---

### 2.1. Qué es MotoStudent

#### 2.1.1. Aspectos generales

Este trabajo de investigación surge de la participación de la Universidad Pública de Navarra en la competición MotoStudent promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (MEF). Esta competición propone un desafío entre equipos universitarios de distintas universidades Españolas y europeas. Para ello, el equipo universitario debe establecer el rol entre los miembros del equipo para forjar una empresa destinada a la fabricación de motos de competición.

El objetivo principal de MotoStudent consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición, que pueda participar en la nueva categoría Moto3, que consiste en motos de 250cc de 4 tiempos [1], que competirán en las diferentes pruebas que promueve la organización en unas jornadas que se llevan a cabo en el circuito MotorLand Aragón.

#### 2.1.2. La competición

La competición de MotoStudent es una competición ingenieril, no se puede resumir sólo en una carrera de velocidad. El ganador será el equipo que consiga la mayor cantidad de puntos en las distintas fases. La evaluación corresponderá en cada caso a un jurado designado por la organización, que repartirá los puntos en juego en cada fase del modo que muestra la *figura 2*:

- Proyecto Industrial 600
- Prestaciones 400
- Carrera 100



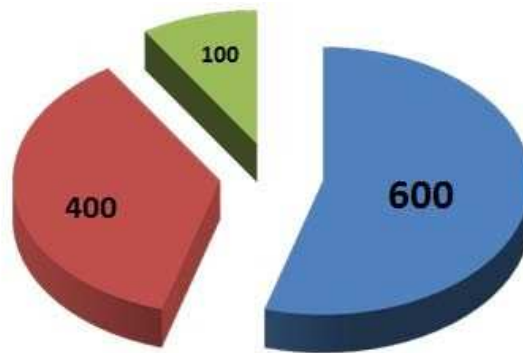


Figura 2: Puntuación de la competición ([www.motostudent.com](http://www.motostudent.com) [1])

Este sistema garantiza un mayor bagaje de puntuación en el que los equipos puedan evaluar sus proyectos en diferentes aspectos, y poder comprobar en qué áreas se pueden seguir mejorando para años futuros, o en qué aspectos se debió prestar más atención respecto al resto de equipos.

Con esta estrategia la organización trata de minimizar los posibles factores ajenos al equipo que puedan lastrar sus posibilidades de éxito como la elección del piloto, posibles caídas en carrera o entrenamientos.

## 2.2. Fases de la competición MotoStudent 2012

La competición se divide en 4 fases, en la que se deben ir presentando diferentes documentos que te permiten pasar a la siguiente fase, cada una de ellas tiene una fecha para demostrar los objetivos marcados por la organización.

A continuación, se muestra en la *figura 3* las fechas de la competición y una breve descripción de cada una de ellas.

CALENDARIO	2011											2012									
	M	A	M	J	J	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O		
Inscripciones			→																		
Justificación sponsors								→													
Cierre de diseño																					
Semana de pruebas																					

Figura 3: Periodos de competición ([www.motostudent.com/](http://www.motostudent.com/) [1])

- **Inscripción.** Los equipos participantes deben rellenar la inscripción de participación, a la vez que nombrar a los alumnos que participarán en el equipo antes del 25 de Mayo de 2011.
- **Presentación y justificación de sponsors.** Los equipos participantes deben

justificar de forma clara que empresas e instituciones sufragan la construcción del prototipo, antes del 8 de Octubre del 2011.

- **Presentación de diseño cerrado.** Antes del 31 de Marzo de 2012 los equipos participantes presentarán a la organización información gráfica en detalle del prototipo que será guardada por la Organización. Esta información debe permitir a los jurados, sin manipulación informática alguna, verificar los futuros prototipos. Esta documentación sólo será analizada por los jurados en las jornadas de competición y validarán que el prototipo presentado responde a esa información.

Este año se permitió un retraso en la fecha por petición de la mayoría de universidades, siendo la organización comprensiva a causa de la situación económica que se vive.

- **Semana de pruebas.** El fin de semana del 12 al 14 de Octubre. Los equipos presentarán en el circuito un prototipo para que sea revisado por los inspectores conforme a los aspectos dimensionales y de seguridad que indica el reglamento técnico.

Las verificaciones en el circuito que deben superar los prototipos son:

Las pruebas de seguridad en banco pretenden ser una garantía de robustez, fiabilidad y seguridad ante las pruebas en circuito. Así las motos deberán superar las siguientes pruebas:

1. Prueba de resistencia de chasis según especificaciones de reglamento técnico.
2. Prueba de frenada en banco de rodillos según especificaciones de reglamento técnico.
3. Análisis de gases de escape según especificaciones de reglamento técnico.

El proyecto industrial será analizado por un jurado de expertos elegidos por la organización.

## 2.3. Chasis de la moto

### 2.3.1. Historia de la motocicleta

Los bastidores de moto no pueden considerarse como un invento propiamente dicho, ya que es una evolución natural de las bicicletas. Pero sí se han ido desarrollando innovaciones que han permitido ir mejorando sus prestaciones, tanto en temas de seguridad como dinámicas.

El principal atractivo de conducir una motocicleta veloz ha cambiado muy poco en el último siglo. Durante ese tiempo, las motos han pasado de ser máquinas simples con un solo cilindro a convertirse en ultra sofisticados ingenios capaces de superar los 300Km/h. [2]



**Figura 4: Primera motocicleta de la Historia, ingeniero Gottlieb Daimler (1885)**

“Rápidas” es un concepto relativo, que actualmente pocos lo emplearían describir una moto que apenas alcanzase los 40Km/h. Sin embargo, ésta era la velocidad máxima de la primera moto de serie, construida en Alemania por Hildebrand y Wolfmüller en 1894. Ha de tenerse en consideración que el freno trasero de dicha moto de dos cilindros de 1500 cc refrigerada por agua era una simple barra de metal arrastrada por el suelo.

No es hasta 1901, cuando fue creada la motocicleta tal y como se conoce hoy en día. Aquel año los hermanos franceses Werner trasladaron el motor de la rueda delantera a un cuadro rectangular entre las ruedas. La “nueva Werner” se manejaba

mucho mejor gracias a su centro de gravedad más bajo y sentó el modelo a seguir, con alguna notable excepción, en el diseño de motocicletas. Los avances fueron sucediéndose a partir de entonces. También en 1901 la firma estadounidense Indian construyó su primer modelo y, un año después, Harley-Davidson haría lo propio.

Numerosas firmas empezaron a construir motos de dos y hasta cuatro cilindros antes de la Primera Guerra Mundial a medida que un número cada vez mayor de gente descubría la emoción y la comodidad de las motos. Las máquinas de cuatro cilindros construidas por la empresa belga FN no eran las más rápidas de los primeros años del motociclismo, pero sí se contaban entre las más fiables y sofisticadas. Creada en 1904, la FN *Four* causó sensación gracias a su avanzado diseño, que incluía transmisión secundaria por cardán y un chasis simple pero ligero y eficiente. La *Four* fue un éxito comercial: se mantuvo en producción durante más de dos décadas, durante las cuales experimentó sucesivos aumentos de cilindrada.



**Figura 5: Motocicleta FN Four, creada en 1904.**

Durante las décadas de 1920 y 1930, las monocilíndricas, cada vez más sofisticadas y veloces, consiguieron conservar su popularidad al tiempo que hacían su aparición monturas de doble cilindro como la Speed Twin de Triumph y la Brough Superior, que daban una nueva dimensión de motociclismo de grandes cilindradas.

“De diez a cien en directa” era el orgulloso eslogan con que Ariel anunció la Square Four durante la década de 1950. De esta forma resaltaba las prestaciones de la moto a bajas revoluciones, así como su velocidad máxima por encima de los 161 Km/h. La Square Four fue rediseñada en numerosas ocasiones durante su producción que se extendió entre 1931 y 1958. A lo largo de esos veintisiete años se dobló la

cilindrada del motor y se transformó por completo el chasis y el perfil. Sin embargo, pese a ello, su potencia, su suavidad y el tamaño compacto de su motor de cuatro cilindros refrigerado por aire se mantuvieron constantes.



**Figura 6: Motocicleta Ariel Square Four, creada en 1950.**

Para finales de los '70, las firmas japonesas habían aportado una extraordinaria variedad de superbikes con dos, tres y seis cilindros; algunas de las cuales con una potencia superior a los 100 CV. A ese floreciente mercado se unieron los fabricantes europeos, con un sinfín de modelos exóticos.

A diferencia de la década anterior, en la que se manifestó una tendencia hacia una mayor potencia y un mayor tamaño, la década de 1980 vio evolucionar a las superbikes de distintas formas. Las primeras estrellas de esa era fueron una variación de lo visto antes: bestias grandes y pesadas, con motor de varios cilindros refrigerado por aire, bastidor de acero tubular y doble amortiguador trasero. Sin embargo, las motos siguientes se refinaron y lograron un mayor rendimiento y potencia adicional. La nueva raza de superbike contaba con motor de refrigeración por agua, bastidor de aluminio, suspensión trasera por monoamortiguador y carenado aerodinámico. Hacia el final de la década, la superbike definitiva era una máquina más pequeña, ligera y sofisticada.

En los noventa, las superbikes mejoraron y se hicieron más rápidas, alcanzando velocidades de más de 241Km/h. El manejo de las máquinas estándar, las

producidas en serie, era igual al de las motos de competición de unos años antes. Los avances tecnológicos estaban allí para todos aquéllos que podían permitírselos, como pistones ovalados de Honda o las suspensiones delanteras sin horquilla de Yamaha y Bimota. Sin embargo, la mayoría de los motoristas prefería máquinas más convencionales. Muchas de las mejores superbikes eran versiones mejoradas de formatos establecidos, como las bien diseñadas dos cilindros en V de Ducati o las rápidas y ligeras cuatro cilindros japonesas. Si lo que se quería era velocidad pura, no había nada comparable a la aerodinámica de la Hayabusa de Suzuki.



**Figura 7: Suzuki Hayabusa.**

Otra máquina que decía mucho en favor de las superbikes era la Kawasaki ZX-12 R, cuya velocidad se limitó a 300Km/h [2]. Este límite fue acordado por los principales fabricantes para evitar que les obligaran a dotar a sus máquinas de velocidades más bajas.

La evolución de la motocicleta a lo largo de la historia, es algo que siempre ha dependido de la utilización que de ella ha demandado la sociedad. Por supuesto, la evolución tecnológica ha sido vital en dicho proceso evolutivo, pero casi siempre ha dependido de las necesidades que este tipo de vehículo tan peculiar ha cubierto en la sociedad.

### 2.3.2. Tipos de bastidores de motocicleta

Según el tipo de bastidor se puede clasificar las motos en 3 grandes grupos:

[2]

#### 2.3.2.1. Chasis tubulares

Este tipo de chasis se caracteriza por estar constituido por un entramado de tubos circulares de diferentes diámetros y soldados unos con otros creando una estructura rígida. También es bastante usual combinarlo con tubos rectangulares para hacer el sub-chasis o algún tipo de anclaje con el motor. Históricamente han sido construidos en acero, ahora debido a las mejoras técnicas en soldadura se construyen en aluminio tanto a nivel comercial como en competición, el problema de este material es que su punto de deformación plástica se encuentra antes que con el acero, deformándose con esfuerzos menores.

Vulgarmente son considerados como chasis europeos ya que empresas como Ducati, Gilera, Derbi o Bultaco fueron las pioneras en este sistema y tuvieron un gran desarrollo en la fabricación de chasis con este tipo de estructuras.



Figura 8: Chasis tubular de KTM Duke.

## 2.3.2.2. Auto-portantes

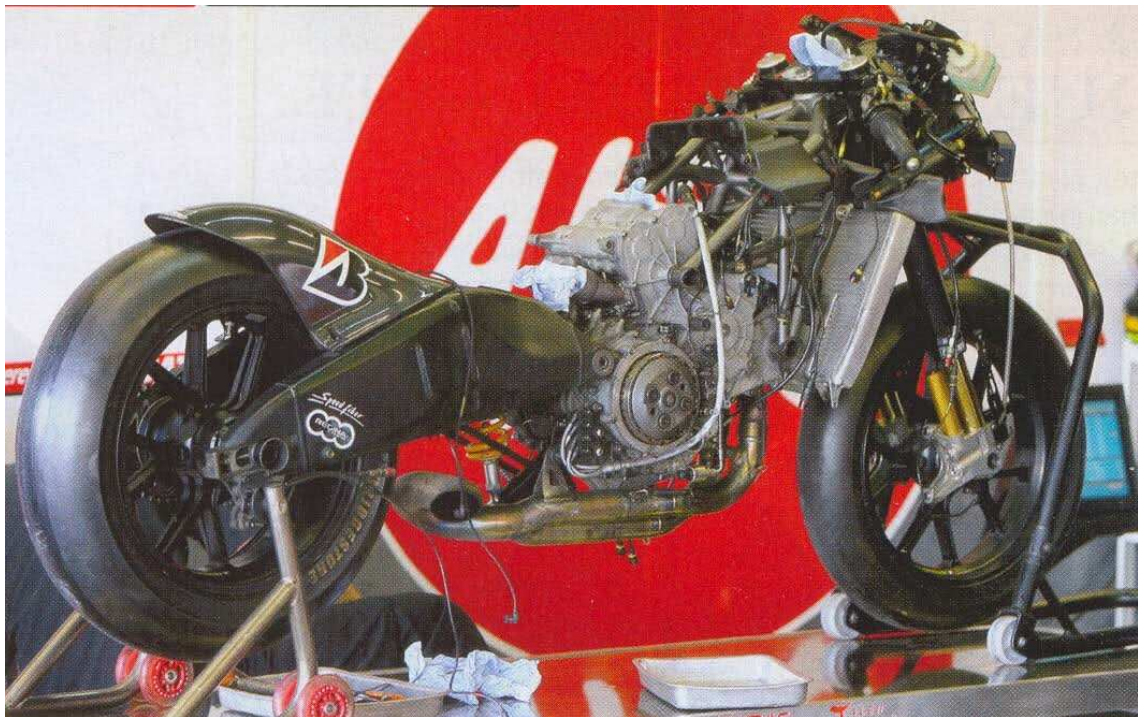


Figura 9: Ducati Gp10. Mundial de motociclismo 2008

Los bastidores considerados auto-portantes tienen como peculiaridad la utilización del motor como parte estructural, por tanto sufre esfuerzos al ser parte del chasis. Es la unión entre la parte delantera y el basculante, las tres partes de la motocicleta son necesarias para poder mantenerse como un bloque unido.

Como dato adicional el equipo Ducati Corse diseñó en 2007 un chasis auto-portante fabricado en fibra de carbono.



Figura 10: Ducati Gp9. Mundial de motociclismo 2007. (Moto campeona del mundo)



### 2.3.2.3. Chasis de doble viga

Doble viga mecanizado ó deltabox son los chasis considerados japoneses, marcas como Yamaha, Honda Kawasaki o Suzuki utilizan este tipo de chasis desde sus orígenes.

Aunque la verdad es que este tipo de chasis fue creado por primera vez en España, por un ingeniero español que revoluciono el mundo de la competición, Antonio Cobas.

Fue el primero que unió la pipa de dirección directamente con el basculante. Este tipo de chasis es más fácil de diseñar, ya que la simulación resulta más predecible, al tratarse de dos vigas unidas a dos puntos fijos.

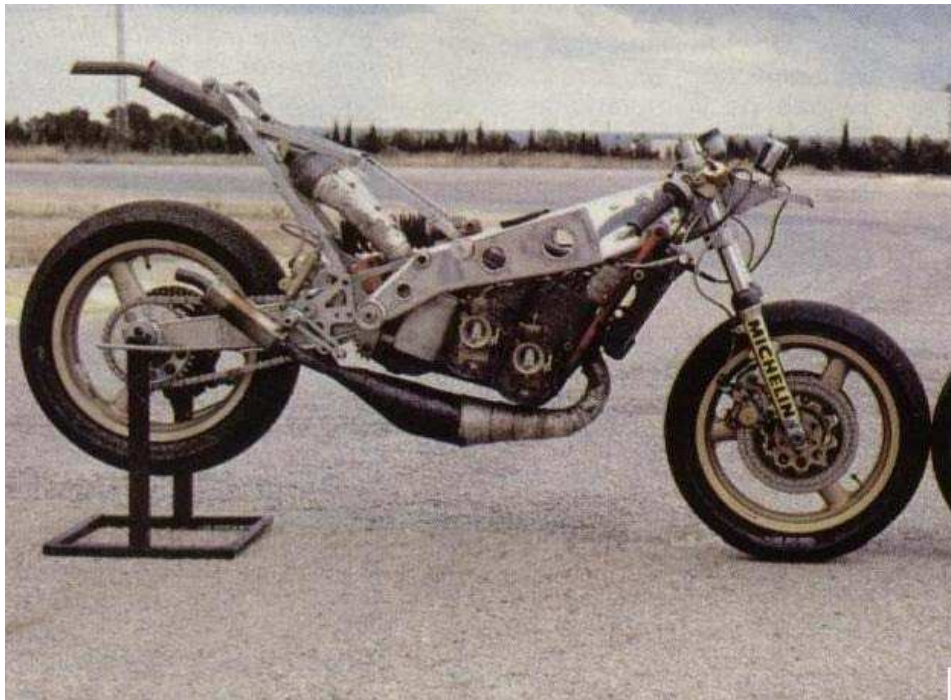


Figura 11: Primer Deltabox, diseñado por Antonio Cobas.

En la *figura 11*, se observa como Antonio Cobas realiza unos orificios para aligerar el peso en las zonas donde está sobredimensionado el chasis, además de controlar la rigidez del bastidor.

### 2.3.3. Elección del chasis

Después de ver los tipos de chasis que existen, el chasis que se tiene de partida, ya que en este proyecto se parte de una moto ya construida, es del tipo de doble cuna abierta, del grupo de los chasis tubulares. A continuación se muestra una imagen del estilo al que se utilizará en nuestro caso.



Figura 12: Moto2 RZ-Honda Mundial del motociclismo.

En esta moto se ve un chasis completamente tubular, incluido basculante. También se observa como el sub-chasis, parte cromada de la moto es rectangular y queda unido perfectamente con el chasis tubular.

Para el proyecto que se está abordando, el chasis de partida es el que se muestra en la siguiente figura, aunque como más adelante se verá será modificado para que todos los elementos necesarios para construir la moto eléctrica encajen correctamente.

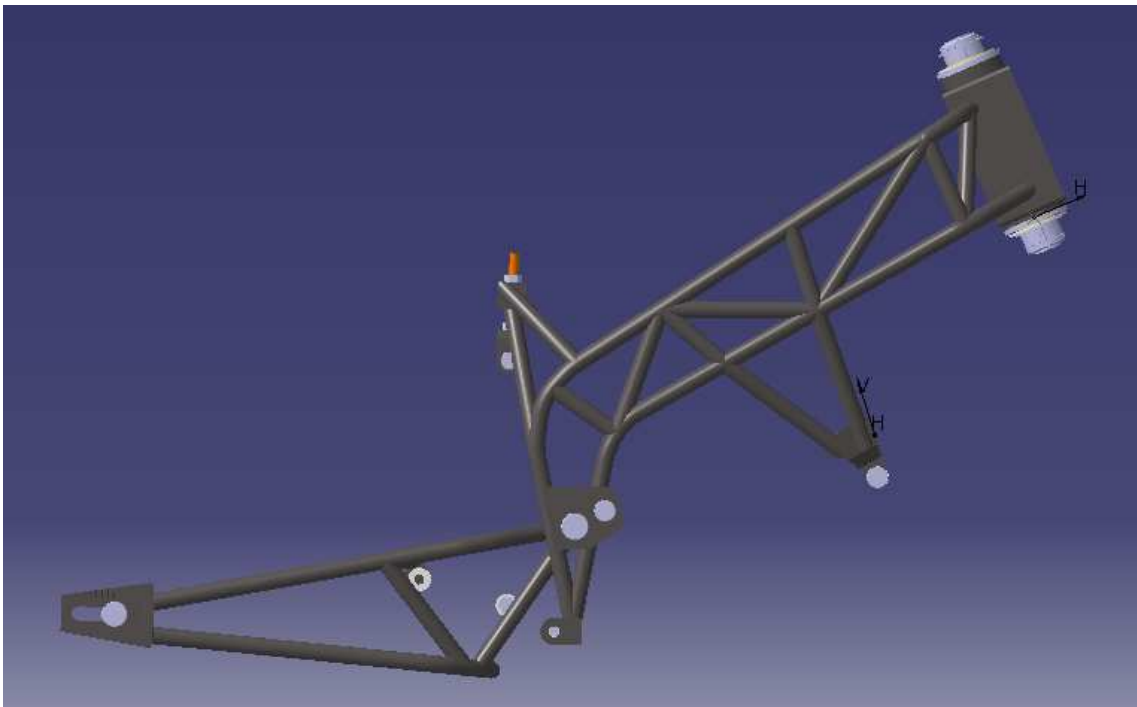


Figura 13: Chasis original de la moto. Vista lateral.

Además de esta imagen, se muestra otra con una visión 3D para dar más detalle del mismo.



Figura 14: Chasis original de la moto. Vista 3D.



## *3. KIT DE CONVERSIÓN ELÉCTRICO*

---

## 3. KIT DE CONVERSIÓN ELÉCTRICO

### 3.1. Introducción

Hoy en día cada vez es más común oír hablar de los vehículos eléctricos y de su desarrollo. No es tan común ver frecuentemente uno de ellos en la calle. Esto sucede porque hay ciertas cosas que se necesitan que mejoren y problemas que deben ser resueltos, como la autonomía y por causa de esta, las baterías. [3]

Las demás carencias que hoy en día puede haber, como mayor variedad de modelos, mayores prestaciones, sensaciones deportivas... se resolverán con el tiempo cuando la demanda aumente; pero el problema de las baterías es un hándicap de salvar para el desarrollo de los vehículos eléctricos.

Por hacer un poco de historia, los primeros vehículos autopropulsados fueron a finales del siglo XIX que utilizaban baterías y motores eléctricos. Tenían numerosas ventajas frente a los complejos y ruidosos vehículos de gasolina, como la limpieza y la elegancia, sencillez en su uso, facilidad de abastecimiento...



Figura 15: “La Jamais Contente” primer vehículo que superó los 100 km/h, un eléctrico.  
(<http://blogs.20minutos.es/coches-electricos-hibridos/2014/02/01/los-origenes-del-coche-electrico/>)

Conforme pasaba el tiempo, el motor de gasolina fue ganando en prestaciones y en refinamiento, y entonces es cuando la desventaja fundamental de los vehículos eléctricos, que era la autonomía, fue la que los hizo desaparecer.

Se ha avanzado mucho, pero la verdad es que las mecánicas de combustión están empezando a tocar fondo y la mejora de su eficiencia está limitada por las leyes físicas. Además, las emisiones de los vehículos convencionales empiezan a ser insostenibles para el entorno, y todo ello, acabará desbancando el motor de combustión.



**Figura 16: Coche de gasolina vs coche eléctrico (<http://blogs.20minutos.es/coches-electricos-hibridos/2014/02/01/los-origenes-del-coche-electrico/>)**

Para dar a conocer las prestaciones de los vehículos eléctricos, en este caso que nos ocupa, el de las motocicletas, no hay nada mejor que hacer diseños para el mundo de la competición. Aquí es donde realmente se saca mayor partido a los proyectos llevando al límite todos los componentes y, como se ha comentado, las prestaciones de la moto.

En 2009 se disputó la primera competición oficial de la historia donde se enfrentaron motos que no emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Se celebró en la Isla de Man, cuna del motociclismo mundial. Se habla de velocidades cercanas a los 240 km/h [4] y potencias no lejanas de las motos de competición tradicionales. Los motores estaban formados por enormes baterías, pero el resto de la moto coincidía con las habituales.

TTXGP, el eGrandPrix es una serie de carreras internacionales que proporcionan una plataforma de alto nivel para el desarrollo de motocicletas eléctricas, lo que permite que las tecnologías futuristas desarrolladas puedan ser probadas de una forma emocionante y desafiante. TTXGP pretende impulsar la innovación tecnológica de nula emisión de CO<sub>2</sub>, para demostrar que las energías limpias en el transporte han madurado y puede ser divertido, rápido y emocionante. [5]



Figura 17: Moto del año 2010 del Mundial de TTXGP.

([http://2.bp.blogspot.com/\\_FJ6ozskIagk/TAVq5AQSOki/AAAAAAAAA\\_Y/w6Ob\\_j1F5yU/s1600/ttxgp2.jpeg](http://2.bp.blogspot.com/_FJ6ozskIagk/TAVq5AQSOki/AAAAAAAAA_Y/w6Ob_j1F5yU/s1600/ttxgp2.jpeg))

En 2010 comenzó el mundial oficial de TTXGP, dirigido por Azhar Hussain, y sin duda supuso un escaparate para los fabricantes y una forma de atraer patrocinadores, marcas, como Brammo, Mission Motors, Motoczysz, Electric Motorsport y el ganador de la primera carrera en la Isla de Man, Agni Motors. Esta modalidad es un perfecto laboratorio para el desarrollo de las tecnologías de movilidad eléctrica.

Para propulsar la moto eléctrica, además de las baterías se necesita un motor eléctrico, que en el presente proyecto lo que se escogerá será un kit de conversión eléctrico que sustituya al motor de combustión de la moto.

Un kit de conversión eléctrico es una conversión de un motor de combustión interna a una propulsión eléctrica, dando lugar a un vehículo eléctrico o en su defecto híbrido. [6]

Un kit de conversión eléctrico se compone de, aparte de las baterías, de un motor eléctrico que puede ser síncrono o asíncrono dependiendo de la aplicación que se quiera y de sus prestaciones. Además también debe tener un controlador, para que este regule la velocidad de giro del motor dependiendo de nuestra necesidad. Hay motores que disponen de sensores para saber la velocidad de giro del motor, pero hay otros que únicamente integran un encoder para saber la posición del rotor. También los hay que no disponen de ningún sensor para medir la posición del rotor y la velocidad de giro.





**Figura 18: Kit MotoCzysz Electric D1g1tal Dr1ve. Motor + baterías**  
 (<http://www.motorpasionmoto.com/tecnologia/motoczysz-electric-d1g1tal-dr1ve-un-kit-electrico-de-100-cv>)

### 3.2. Comparativa y elección

A la hora de escoger el kit de conversión para este proyecto, los requisitos fundamentales que tienen que cumplir de mayor a menor importancia son los siguientes:

- Dimensiones adecuadas para que encaje en el chasis
- Potencia suficiente
- RPM altas (5000- 10000)
- Tensión de alimentación del controlador

A continuación, se analizarán por separado cada uno viendo en qué aspectos pueden ser útiles para la moto y en cuáles no.

#### 3.2.1. HPEVS AC-51

Al empezar a buscar modelos, resultó complicado encontrar kits con las características requeridas, por lo que se escogió el motor HPEVS AC-51 que tiene una potencia de 65 kW. Es un motor muy robusto y que trabaja a velocidades grandes,

pero es de dimensiones bastante grandes como para meterlo en el chasis anteriormente mostrado. Además, la tensión a la que hay que alimentar el controlador es de 144V [7]; esto requiere poner muchas baterías en serie, lo cual ocuparía mucho espacio y tendría mucho peso.

Por otro lado, se podría poner un elevador de tensión, pero esta opción se descarta, ya que cabe la posibilidad de poner otros motores que lo cumplan. Su precio ronda los 5.000 \$.



Figura 19: Motor HPEVS AC-51 ([www. http://electricmotorsport.com/ev-parts/motor-drive-kits-2/ac-induction-motor-kits/ac-51-kit.html](http://electricmotorsport.com/ev-parts/motor-drive-kits-2/ac-induction-motor-kits/ac-51-kit.html))

### 3.2.2. HPEVS AC-50

Después, vistas las limitaciones del motor anterior, se optó por poner el HPEVS AC-50, que estéticamente es muy parecido al anterior, pero en este caso, el controlador puede ser de 48V o 96V. Esta característica es muy favorable ya que el número de baterías que se deben poner es mucho menor.

La potencia disminuye hasta los 50 kW [8], pero el motivo por el cual no se ha escogido para este proyecto es por las dimensiones que tiene. No encaja en el chasis existente y para adaptarlo, habría que rediseñar el chasis desde el principio.

Para concluir, cabe destacar que su precio es menor que el anterior, reduciéndose unos 500 \$.



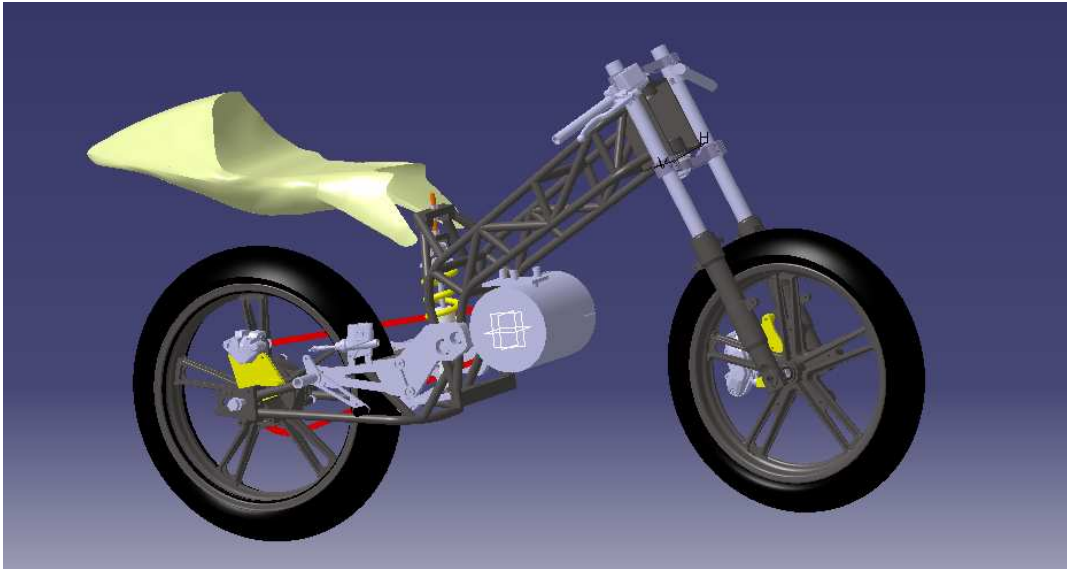
Figura 20: Motor HPEVS AC-50  
([http://www.evwest.com/catalog/product\\_info.php?cPath=8&products\\_id=83](http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=83))

### 3.2.3. HPEVS AC-20

Este motor de unos 26 kW es el que se ha optado para sustituir al motor de combustión de la moto de partida.

Es un motor que cumple los requisitos que anteriormente se han mencionado, como, dimensiones tales como para que encaje en el chasis, velocidades de giro altas, potencia suficiente para la aplicación en la que se trabaja y tensión de alimentación del controlador asequible.

Las dimensiones del motor encajan muy bien en el chasis que se tiene de la moto original, siendo 177 mm de radio y 280 mm de longitud. Tal y como aparece en la siguiente figura, se ha modelizado en “Catia” para ver cómo quedaría integrado en el chasis.



**Figura 21: Visión 3D del motor integrado en el chasis.**

Es un motor que puede llegar a girar a unas velocidades de 10000 rpm, aunque su estado continuo esté en las 5000 rpm [9]. Para esta aplicación interesa que las velocidades de giro sean altas, ya que es un ámbito en el que se cogen velocidades altas y el motor tiene que responder ante ellas consiguiendo dar par.

Tal y como indican las características del motor, tiene una potencia de 26 kW, la cual está dentro del rango en el que se puede aceptar. Como se ha mencionado anteriormente, existe una competición de motos electricas llamada TTXGP donde las motos tienen algo más de potencia, dado que el chasis está hecho a medida del motor y baterías necesarias. Esta moto no se quedaría muy atrás en cuanto a potencia se refiere.



**Figura 22: Motor HPEVS AC-20**

([http://www.evwest.com/catalog/product\\_info.php?cPath=8&products\\_id=282](http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=282))

En la siguiente imagen se observa que tiene integrado un ventilador para que así, refrigere mejor y el límite térmico sea más alto. De esta manera, se podrá inyectar más corriente para que trabaje a velocidades de giro mayores.



**Figura 23: Motor HPEVS AC-20. Vista trasera.**

([http://www.evwest.com/catalog/product\\_info.php?cPath=8&products\\_id=282](http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=282))

Tal y como indica la empresa distribuidora EVWEST, puede acercarse a dar 650 A produciendo picos de 26 kW.

Como se ha mencionado antes, tensión de alimentación del controlador es de 48 V, que reduce el número de baterías en serie que hubiera que poner. Con el controlador de 48 V que lleva el motor, hace un sistema fiable contra las bajas tensiones.

Además, este motor tiene la ventaja de que pesa cerca de los 30 kg, ya que el reducir el peso es fundamental para esta aplicación. Puede absorber una tensión máxima de 60V y lleva como sensor de posición un encoder. Al no tener un sensor de velocidad de giro, mediante el encoder se puede saber la posición del rotor y hacer que se sepa la velocidad a la que gira el motor.

El HPEVS AC-20 tiene una eficiencia del 88% [9], que es muy alta comparada con los motores de combustión interna y hay que añadir que su precio ronda los 2.500 \$, bastante más barato que los otros dos anteriores.

### 3.3. Comparación de prestaciones

En este apartado se va a analizar las prestaciones de la moto de combustión de donde se ha partido para este proyecto y también, se analizarán las prestaciones del motor eléctrico de la nueva moto eléctrica que se ha diseñado. Para ello se dispone de las curvas de cada uno de los motores.

En primer lugar, se comentará lo referente a las curvas del motor de combustión interna que portaba la moto, para después hablar de las curvas del nuevo motor eléctrico que se ha empleado.

**Curvas de potencia y par / Power and torque curves**

**Figura 24: Curva de potencia y par del motor de combustión interna**

El motor de combustión que montaba la antigua moto era un motor de 250 c.c. que entregaba una potencia máxima de 27 kW, lo que es lo mismo que cerca de los 38 C.V., tal y como se aprecia en la imagen. Además, se observa cómo este motor alcanza velocidades de giro bastante altas, llegando a sobrepasar las 13.000 rpm. Se puede apreciar que tiene una primera fase que la potencia es proporcional a la velocidad a la que gira el motor y que después, en el rango entre 12.000 rpm y 13.000 rpm la potencia no aumenta, sino que se mantiene para que pasadas las 13.000 rpm caiga.

En los motores un parámetro que tiene importancia es el rendimiento volumétrico o el llenado del motor, que no es óptimo más que en un determinado régimen, ya que a bajas revoluciones, la inercia de los gases no llena ni vacía el recinto y porque puede haber bypass entre las válvulas de admisión y las del escape.

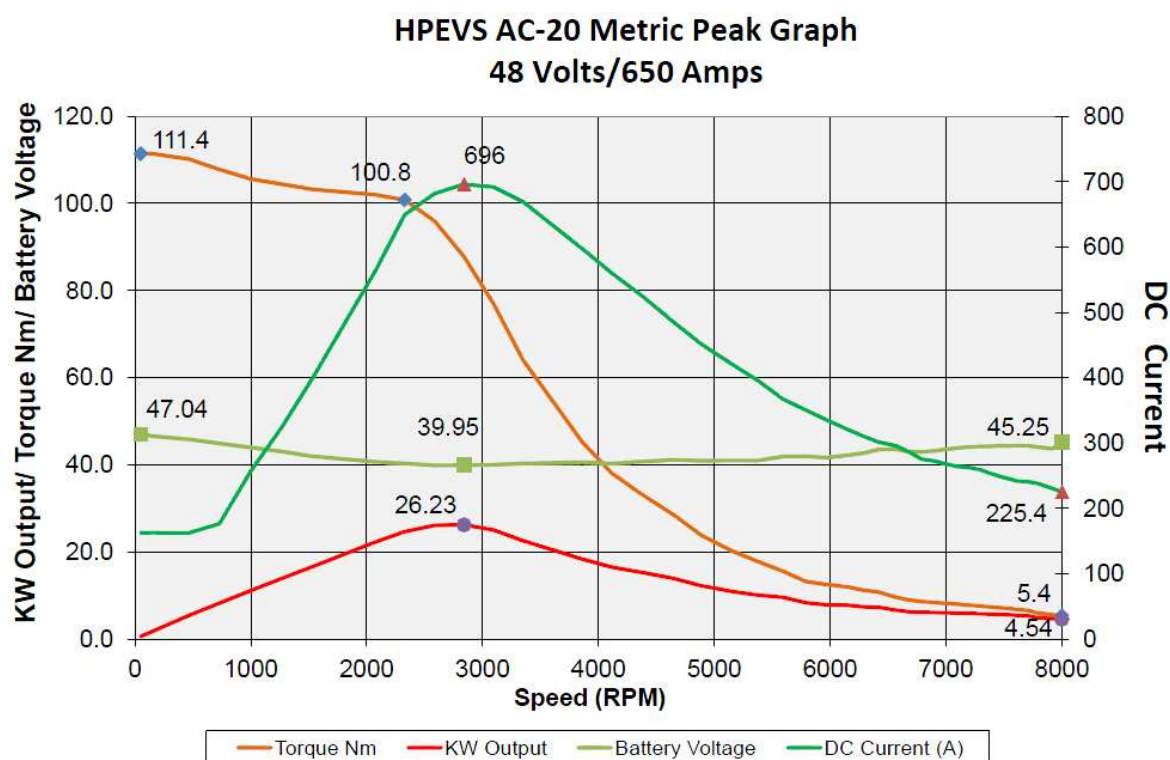
En altas revoluciones, por el contrario, el llenado de los cilindros no es completo, puesto que al gas no le da tiempo a ocupar todo el recinto. [10]

Como consecuencia de esto, la curva del par, que debería ser una recta horizontal con un funcionamiento ideal del motor de combustión interna, se convierte en una curva con un tramo central más plano que los extremos y con un valor del mismo mayor.

Dependiendo del sistema de renovación de carga, según sea el motor, en este caso es con carburación, el fabricante puede “conformar” dentro de unos límites la curva de par en función de la aplicación que se le vaya a dar.

Según la gráfica anterior, el par máximo es de 25,44 Nm y se obtiene a una velocidad de aproximadamente 8.500 rpm, que es cuando no tiene mucho tiempo para aspirar aire y lo que hace es meter más gasolina.

Una vez analizadas las curvas de par y potencia del motor de combustión interna de la antigua moto, a continuación se mostrará un gráfica del motor HPEVS AC-20 que representa las medidas pico de diferentes parámetros del mismo, entre ellos, la potencia y el par (líneas roja y naranja, respectivamente).



**Figura 25: Curvas del motor HPEVS AC-20**

Como ya se ha mencionado anteriormente, estas curvas representan los valores pico de cada parámetro, que tal y como se observa el par máximo es de 111 Nm, tal y como indica el fabricante, y la potencia máxima es de 26,23 kW.

Se debe mencionar que la curva de par es típica de un motor eléctrico, dando par máximo en un rango amplio de velocidades de giro. A partir de una determinada velocidad ese par va disminuyendo al igual que la potencia del motor. Esto puede venir bien para hacer la salida de una carrera, ya que el par de arranque es mucho



mayor que el de un motor de combustión. Además, puede ser muy útil para las salidas de curva, aportando mucho para conseguir velocidades altas en poco tiempo.

Como se puede comprobar, las prestaciones son muy parecidas entre el motor de combustión interna utilizado y el motor eléctrico a utilizar en cuanto a potencia se refiere. El par máximo del motor eléctrico es casi 4,5 veces superior y además se da en un rango de velocidades mayor, aportando una aceleración mucho mayor que la que puede aportar el motor de combustión interna.

A continuación, se muestra una gráfica de las prestaciones del motor eléctrico HPEVS AC-20 con ventilador, que hace que influya en el rendimiento del motor.

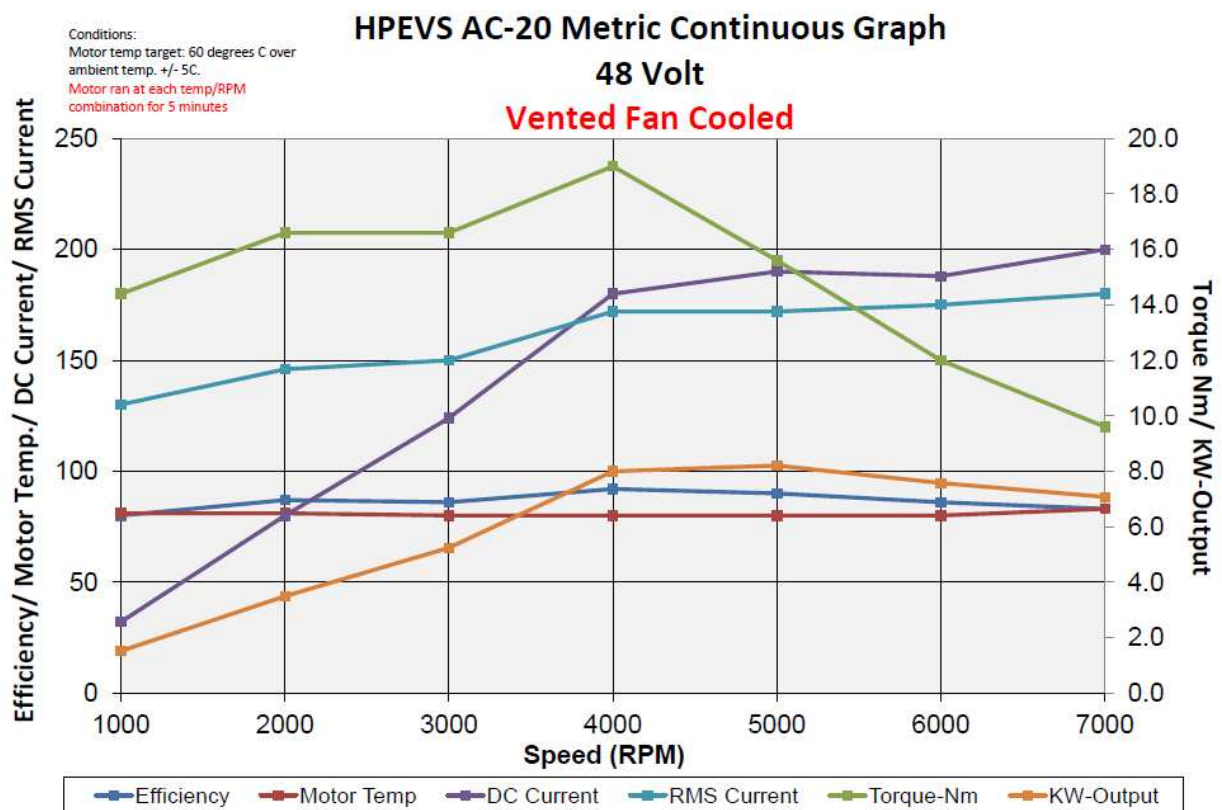


Figura 26: Curvas del motor HPEVS AC-20 con ventilador

Se observa que el par sube hasta los 19 Nm de forma escalonada para luego disminuir. Por otro lado, la temperatura del motor, tal y como tenía que ser, permanece constante debido a que el motor está refrigerado por aire. En este caso la eficiencia se sitúa sobre el 90%, mucho mayor que la del motor de combustión interna.

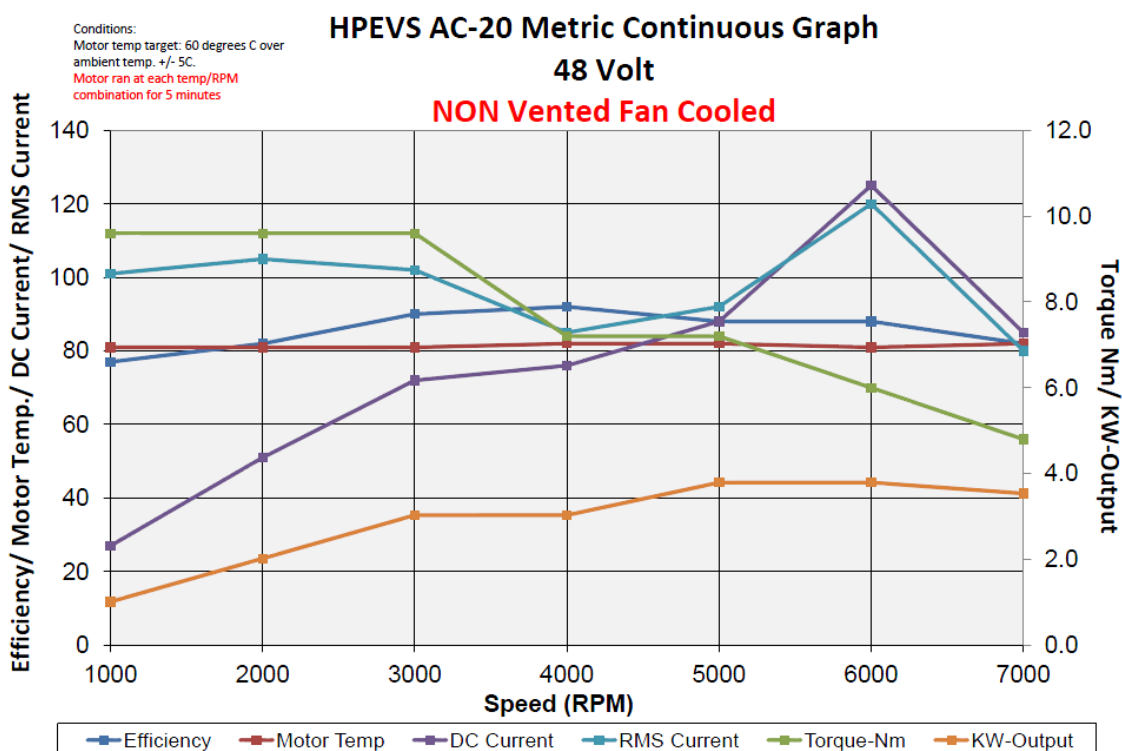


Figura 27: Curvas del motor HPEVS AC-20 sin refrigeración

Por el contrario, si el motor no está ventilado, las condiciones de trabajo empeoran drásticamente. Por ejemplo, el par alcanza un máximo de 9 Nm y la potencia del motor no sobrepasa los 4 kW. Tal y como se observa, al no tener ventilación, las pérdidas por efecto Joule generan el mismo calor que en el caso anterior pero no se refrigeran, por lo que la eficiencia cae por debajo del 80% y como máximo ronda el 85%. Esto afecta a la vida útil del motor.

## *4. BATERÍAS*

---

## 4. BATERÍAS

---

### 4.1. Introducción

Las baterías son el elemento más caro, voluminoso y pesado de un vehículo eléctrico. Por lo tanto, el conocimiento de ellas en profundidad se considera bastante importante.

Una batería es un acumulador o un conjunto de varios acumuladores de electricidad, es decir, un dispositivo capaz de almacenar energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos. Inicialmente, se puede comenzar clasificando las baterías en función de la posibilidad que tienen de ser recargadas una vez que han sido descargadas. En este sentido se pueden definir las baterías primarias, que no permiten su recarga; y las baterías secundarias, que sí pueden ser recargadas. Para el objetivo de este proyecto, nos centraremos en el segundo grupo, el de las baterías secundarias o recargables, donde el proceso electroquímico es reversible, ya que los elementos químicos implicados en el proceso no se consumen, por lo que las baterías pueden cargarse y descargarse un determinado número de veces.

Un acumulador es un dispositivo que consta, en general, de dos electrodos, del mismo o de distinto material, sumergidos en un electrolito. Un electrolito es cualquier sustancia que contiene iones libres, que se comportan como un medio conductor eléctrico. Debido a que generalmente se componen de iones en solución, los electrolitos también son conocidos como soluciones iónicas, pero también son posibles los electrolitos fundidos y los electrolitos sólidos. En términos más sencillos, el electrolito es un material que se disuelve en agua para producir una solución que conduce una corriente eléctrica. [11]

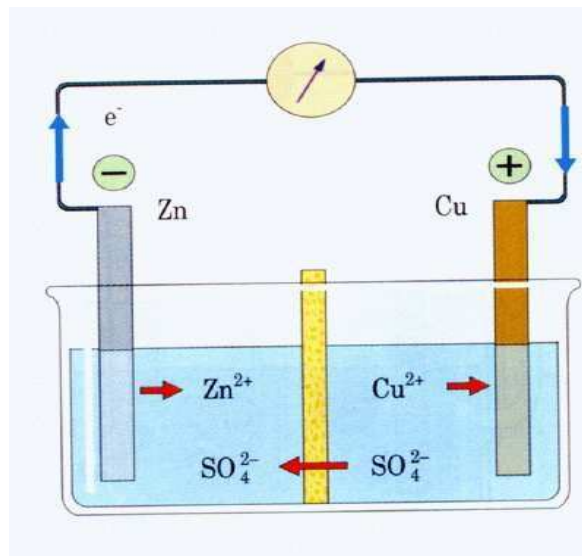


Figura 28: Esquema esencial del proceso de polarización de la pila Zn-Cu de Volta.

Todas las baterías son similares en su construcción y están compuestas por un determinado número de celdas electroquímicas. Cada una de estas celdas está compuesta de un electrodo positivo y otro negativo, además de un separador. Cuando dos electrodos apropiados se sumergen en un electrolito, un exceso de electrones aparece en un electrodo (negativo) y una deficiencia en el otro (positivo). La diferencia de potencial eléctrico entre los dos electrodos origina el flujo de una corriente eléctrica en un circuito externo que vincula a los dos electrodos. El flujo de electrones, por tanto, se produce de negativo a positivo. Entonces, durante el cierre del circuito externo, tendrá lugar el proceso de descarga, y durante la aplicación de una corriente, igualmente externa, tendrá lugar la carga de la batería.

Normalmente, el electrodo negativo está formado por un metal base y el electrodo positivo está compuesto por un óxido metálico. No obstante, esta definición no es tan restrictiva ya que existen muchas combinaciones de elementos y compuestos que en presencia de algún tipo de electrolito pueden producir corriente eléctrica.

Todos los componentes de las celdas descritos anteriormente van recogidos en un contenedor, encargado de proporcionar el soporte y la rigidez mecánica necesaria para el funcionamiento de la batería. En cada uno de ellos se pueden interconectar varias celdas para proporcionar una determinada capacidad y/o tensión, denominándose al conjunto batería o monobloque. [11]

### 4.2. Parámetros más importantes de las baterías

A la hora de inclinar la balanza por un tipo de batería, para una determinada aplicación, es necesario conocer los valores de varios parámetros, para saber si se ajustarán a las necesidades solicitadas. Por lo tanto, a continuación se describen los principales parámetros implicados:

- La tensión proporcionada por cada elemento (celda) es determinante para elegir un tipo u otro de batería. Combinando las baterías en serie y/o paralelo podremos obtener el potencial deseado.
- La cantidad de carga eléctrica que es capaz de almacenar o suministrar se denomina capacidad, y también será un factor determinante a la hora de decantarse por un tipo u otro de batería, puesto que en ocasiones se requieren unas sollicitaciones especiales, como por ejemplo, en el arranque de los motores, donde se exigen elevadas corrientes. Se mide en Amperios-hora (la corriente máxima obtenible). La capacidad eléctrica hace referencia a los tiempos de carga y descarga, y se mide en Culombios, que es una unidad equivalente a la cantidad de carga transportada durante un segundo por una corriente de un Amperio, de manera que  $1Ah=3.600 C$ .
- La energía que es capaz de suministrar una batería se mide en Vatios-hora. Este parámetro no es más que el producto de la tensión suministrada por la batería (V) y la capacidad de la misma (Ah).
- La energía específica o energía por masa, es un ratio que nos permite comparar los diferentes tipos de baterías en función de la energía que puede suministrar, con relación a su peso. Se medirá en Wh/Kg.
- La densidad energética es un ratio que involucra el volumen ocupado. Se mide en Wh/litro. [\[11\]](#)
- El número de ciclos de carga y descarga que pueden soportar manteniendo un alto porcentaje de la capacidad completa de almacenar energía (valor nominal), que disponía en un principio. Es un indicativo de la duración de la batería, es decir, de su ciclo de vida.
- El tiempo de carga y descarga. La batería no almacena toda la energía eléctrica que recibe por lo que la cantidad de electricidad suministrada debe ser mayor que la teóricamente necesaria. Trabajando entre  $5^{\circ}C$  y

25°C el factor de carga es de 1,4, es decir debe suministrarse una carga que sea un 40% superior a la deseada.

- El tiempo de auto-descarga, es decir, la pérdida de capacidad de una batería cuando se mantiene en circuito abierto. Para medirlo se utiliza el porcentaje de la carga que pierde por cada unidad de tiempo, por ejemplo, cada mes. En cualquier caso el ritmo de auto-descarga aumenta con la temperatura.

El rango de temperaturas a los que el funcionamiento es óptimo, es decir, aquel en el que la batería puede funcionar regularmente y sin daños.

### 4.3. Efecto memoria

El efecto memoria es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo: se crean cristales en el interior de estas baterías, a causa de una reacción química al calentarse la batería, bien por uso o por las malas cargas. Este efecto consiste en que la batería parece «recordar» el nivel de carga que tenía cuando se comienza a recargar, de forma que al utilizarse nuevamente, sólo se descarga hasta dicho nivel, disminuyendo obviamente su tiempo de uso. Para prevenirlo no hace falta esperar a descargar totalmente la batería antes de realizar una carga; basta con que una de cada pocas cargas sea completa.

Existen cargadores en el mercado, que realizan una ecualización en las baterías; hacen una carga muy lenta, para cargar la batería hasta su máxima carga real. Las baterías que tienen efecto memoria son:

- Batería de Ni-Cd.
- Batería de Ni-MH (Niquel metal hidruro) (menor efecto que la anterior).

Las baterías que no tienen efecto memoria son:

- Batería de plomo y ácido.
- Batería de iones de litio.

También en las baterías sin efecto memoria se recomienda una descarga completa y carga completa de vez en cuando. En las de litio se recomienda una vez al mes si se usan habitualmente. [11]

Las baterías de Li-Po, no se deben descargar por debajo de cierto valor porque dejan de funcionar, y no se deben cargar más de lo normal porque explotan, sin embargo, no tienen efecto memoria.

Otras baterías no químicas tampoco tienen ningún efecto memoria, como por ejemplo los condensadores de alta capacidad.

#### 4.4. Tecnologías disponibles. Tipos de baterías.

- **BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO (O ACUMULADORES DE PLOMO):** Es uno de los tipos de baterías más utilizados en la actualidad, principalmente en los automóviles, y esto es así porque el plomo es un material relativamente barato, y que se puede encontrar con facilidad.
- **BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO**
- **BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO:** Tiene un rendimiento similar al de la batería de NiCd, siendo la principal diferencia que en la batería de NiMH se utiliza un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico.
- **BATERÍAS DE IONES DE LITIO:** Permiten llegar a altas densidades de capacidad, y son muy ligeras. No admiten descargas completas, y sufren mucho cuando estas suceden por lo que suelen llevar acoplados circuitos protectores adicionales para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva, como la descarga completa.
- **BATERÍAS DE POLÍMEROS DE LITIO:** Son muy parecidas a las baterías de iones de litio anteriormente explicadas. El Li-polímero se distingue de otros sistemas de batería en el tipo de electrólito usado. El diseño original, utiliza un electrólito sólido seco del polímero solamente. Este electrólito se asemeja al plástico, como la película que no conduce electricidad pero permite un intercambio de iones (los átomos o los grupos eléctricamente cargados de átomos). El electrólito del polímero substituye el separador poroso tradicional, que se empapa con el electrólito. Por lo tanto, aquí radica una de sus ventajas, junto con su bajo peso, su facilidad de empaquetamiento, su baja tasa de auto- descarga, la ausencia del efecto



memoria y un elevado número de ciclos de carga. A continuación se muestra una tabla en la que se comparan tres tecnologías basadas en el litio:

TECNOLOGÍA	IÓN-LITIO	POLÍMEROS DE LITIO
<b>CARACTERÍSTICAS</b>		
<b>ÁNODO</b>	Carbón	Carbón
<b>ELECTROLITO</b>	Líquido	Poli-electrolito
<b>CÁTODO</b>	Óxido metálico (LiCoO <sub>2</sub> , LiNiO <sub>2</sub> , LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Óxido metálico (LiCoO <sub>2</sub> , LiNiO <sub>2</sub> , LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )
<b>TENSIÓN NOMINAL</b>	3,7 V	3,7 V
<b>DENSIDAD DE ENERGÍA</b>	Alta	Alta
<b>CICLO DE VIDA</b>	Excelente	Bueno
<b>BAJAS TEMPERATURAS</b>	Bueno	Medio
<b>SEGURIDAD</b>	Mala	Media
<b>FLEXIBILIDAD-TAMAÑO</b>	Mala	Buena

**Tabla 1: Comparación de las diferentes tecnologías basadas en litio.**

Para completar el análisis, se ha realizado una gráfica para mostrar los datos de la energía específica [Wh/kg] y la densidad energética [Wh/l], de las diferentes tecnologías de las que se disponen, comparando los valores de cada una como se ve a continuación:

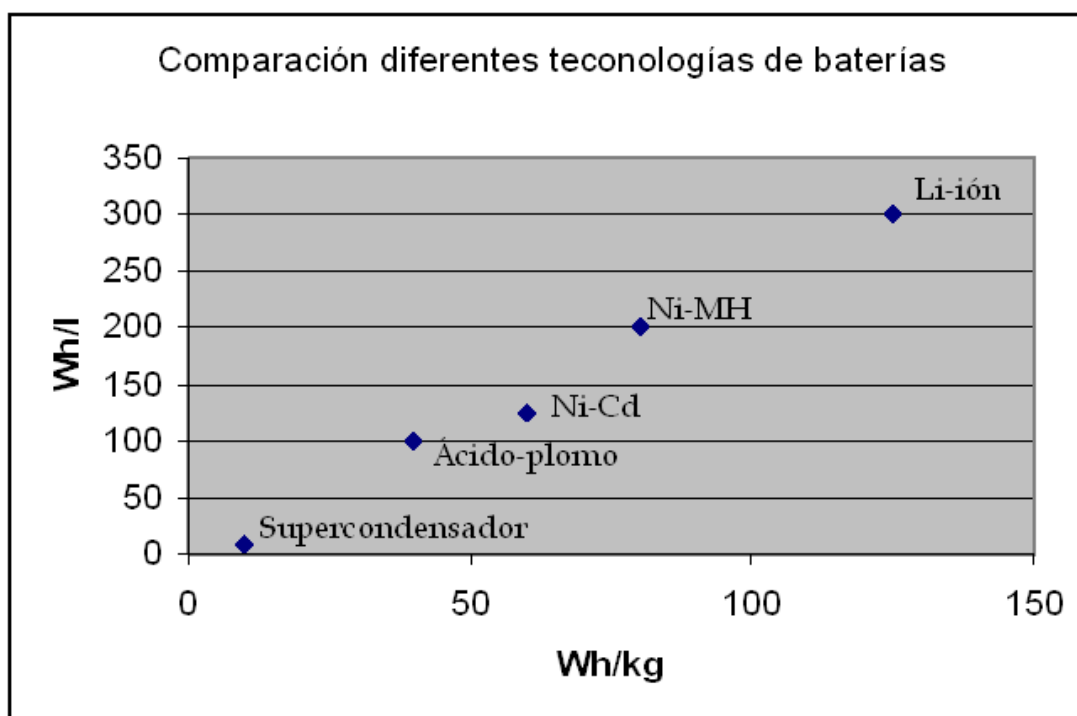


Figura 29: Comparación de las diferentes tecnologías de baterías (Wh/l frente a Wh/Kg.).

Con esta gráfica, podemos observar claramente que la batería más adecuada será la de ión-Litio, puesto que la batería será más ligera cuanto más a la derecha se encuentre en el eje de abscisas, y será de menor tamaño cuanto más arriba se encuentre posicionada en el eje de ordenadas. Por tanto, la batería de litio es la que mejores características tiene en cuanto a estos parámetros.

#### 4.5. Comparativa y elección

Para elegir la batería que se colocará en la moto se barajan varias opciones, pero por los siguientes motivos sólo una es la adecuada.

- Dimensiones aceptables
- Tensión de salida
- Energía suficiente
- Peso

A continuación, se analizarán por separado cada una viendo en qué aspectos pueden ser útiles para la moto y en cuáles no.

#### 4.5.1. MILSPEC 12-400 RUGGEDIZED LIFEP04 BATTERY

Esta batería de Litio-ferrofosfato es de 12 Vdc y 400 Ah, la cual da una energía de aproximadamente 5,2 kWh [12]. Es una cifra de energía que para el proyecto en cuestión está muy bien, ya que la energía que se debe tener almacenada tiene que rondar los 8-10 kWh. Como ya se sabe, el kit del motor eléctrico que se ha elegido, el controlador se alimenta a 48 V, por lo que se deben poner 4 baterías en serie.



Figura 30: Batería MILSPEC 12-400 RUGGEDIZED LIFEP04 (store.evtv.me)

Es muy robusta y necesita poco mantenimiento, además de que el efecto memoria no le afecta. Aunque no se use, se tendrá la misma tensión que con la que se dejó la última vez.

Por el contrario, no tiene un sistema de control, y su peso es de 68 kg. Las dimensiones que esta batería tiene son 500x317x317mm. Como ya se ha comentado

anteriormente, se deberían colocar 4 baterías, esto hace que si se colocan dichas baterías habría que rediseñar el chasis entero, y el peso total de las baterías sería de 272 kg. Aparte, al colocar 4 baterías la energía total rondaría los 20 kWh, demasiada para la aplicación en la que estamos. Además, el precio ronda los 4.000 \$, con lo que el pack de baterías, dado que se necesitan 4, estaría por los 16.000 \$.

### 4.5.2. Batería ZEBRA

Esta batería está basada en la tecnología de sal fundida. Se suelen utilizar las baterías de sodio-azufre. Son pilas de alta temperatura de funcionamiento, que como electrolito usan la sal fundida. La densidad energética que ofrecen es elevada por la mayor variedad y diferencia de potencial eléctrico de los electrodos, así como también ofrecen una mayor potencia específica, por la mayor conductividad iónica de la sal fundida.

La temperatura de trabajo es de 400-700°C, por lo que necesitan materiales estructurales con características muy específicas. También, cabe destacar que los vehículos alimentados por estas baterías han cubierto más de 2 millones de km sin recargarlas. Son muy aconsejables para utilizarlas en autobuses o camiones eléctricos.



Figura 31: Batería ZEBRA. (es.wikipedia.org)

Tal y como se aprecia en la imagen, es de dimensiones muy grandes. La tensión de salida es de 2.58 V de cada célula y la energía específica es de 90 W/kg. [13]

Para el caso de este proyecto, no sirve esta batería, dado que las dimensiones son muy grandes y habría que poner más de una de ellas. Además, la temperatura de trabajo es alta y cuando no está trabajando, el electrodo se solidifica. Para volver a ponerlo en estado líquido, hace falta precalentarlo dos días antes de que comience a trabajar, de modo que no es favorable ya que consume bastante energía de la red.

Para obtener información acerca del precio habría que consultarlo con el propio fabricante.

#### 4.5.3. SAFT 22 V LI-ION MODULE

Esta batería de la casa Saft es de ión-Litio y da 22V y 990 Wh, por lo que es muy atractiva para el proyecto que se está abordando. Al ser de ión-Litio el tamaño y el peso es menor que cualquier otra batería de sus mismas características. Es muy robusta para insertarla en vehículos eléctricos, además de tener poco mantenimiento.

CARACTERÍSTICAS NOMINALES A 25°C	
TENSIÓN NOMINAL (V)	22
CAPACIDAD (Ah)	45
ENERGÍA NOMINAL (Wh)	990
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
ANCHO (mm)	70
ALTO (mm)	245
PROFUNDIDAD (mm)	160
PESO (kg)	8

Tabla 2: Características de la batería SAFT 22 V LI-ION MODULE [14]

Como se observa en la tabla, es de dimensiones menores a las anteriores y su peso es considerablemente menor que el primer caso que se ha analizado.

Sin embargo, tal y como se ha mencionado anteriormente, se necesitan 48 V para alimentar el controlador del kit del motor eléctrico, por lo que habría que poner 3 baterías en serie. Además de esto, para cubrir la energía, unos 8-10 kWh, se deberían colocar 8 baterías mínimo, estando 3 en serie. Esto es un punto en contra, ya que no hay espacio suficiente en la moto y además el peso del pack de baterías ascendería a unos 80 kg. Por lo tanto, este tipo de batería no serviría para esta moto eléctrica.

#### 4.5.4. SAFT 24 V SLFP MODULE

Así como la anterior batería que se ha analizado, esta también pertenece a la misma marca, Saft y es de ión-Litio, con lo que el peso, tamaño y energía específica son menores que con otras tecnologías. Cabe destacar que este acumulador es de 24 V y 2 kWh [15], así que con un pack de 4 baterías sería suficiente para cubrir las necesidades requeridas; por un lado, la tensión del controlador, 48 V; y por otro, la energía total de las baterías, 8-10 kWh. Para conseguir los 48 V se deben colocar dos baterías en serie, y las otras dos en paralelo para que el sistema proporcione 8 kWh.



Figura 32: Batería Saft 24 V SLFP MODULE ([www.saftbatteries.com](http://www.saftbatteries.com))

Tal y como se muestra en la siguiente tabla, las dimensiones son adecuadas y se pueden agrupar las cuatro para que se puedan colocar en la moto sin ningún problema; como ya se sabe, se cuenta con modificar el chasis. Respecto al peso, cabe destacar que por cada batería son 18,5 kg, algo más que el caso anterior, pero ahora solo se deben colocar 4 de ellas, con lo que el peso ascendería a 74 kg. Es un peso

razonable para esta aplicación aunque siempre se tiene como objetivo minimizar el peso total de la moto para ganar velocidad.

### CARACTERÍSTICAS NOMINALES A 25°C

<i>TENSIÓN NOMINAL (V)</i>	24
<i>CAPACIDAD (Ah)</i>	86
<i>ENERGÍA NOMINAL (Wh)</i>	2000

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

<i>ANCHO (mm)</i>	80
<i>ALTO (mm)</i>	270
<i>PROFUNDIDAD (mm)</i>	180
<i>PESO (kg)</i>	18,5

Tabla 3: Características de la batería Saft 24 V SLFP MODULE [15]

Después de la comparativa entre las baterías que podrían haber encajado para el presente proyecto, la opción más acertada, mirando las restricciones del proyecto, es la última, las baterías de SAFT 24 V SLFP MODULE, ya que cumplen con todos los requisitos que se exigen.

El precio de estas baterías ronda los 1.000 €/kWh, con lo que el pack de las 4 baterías llegaría a costar los 8.000 €. En este precio va incluido el dispositivo de gestión de la batería (BMS) y el controlador de temperatura (BMST). Es cierto que es caro, pero hoy en día la tecnología de ión-litio no está lo suficientemente desarrollada.





# *5. INTEGRACIÓN DEL CHASIS*

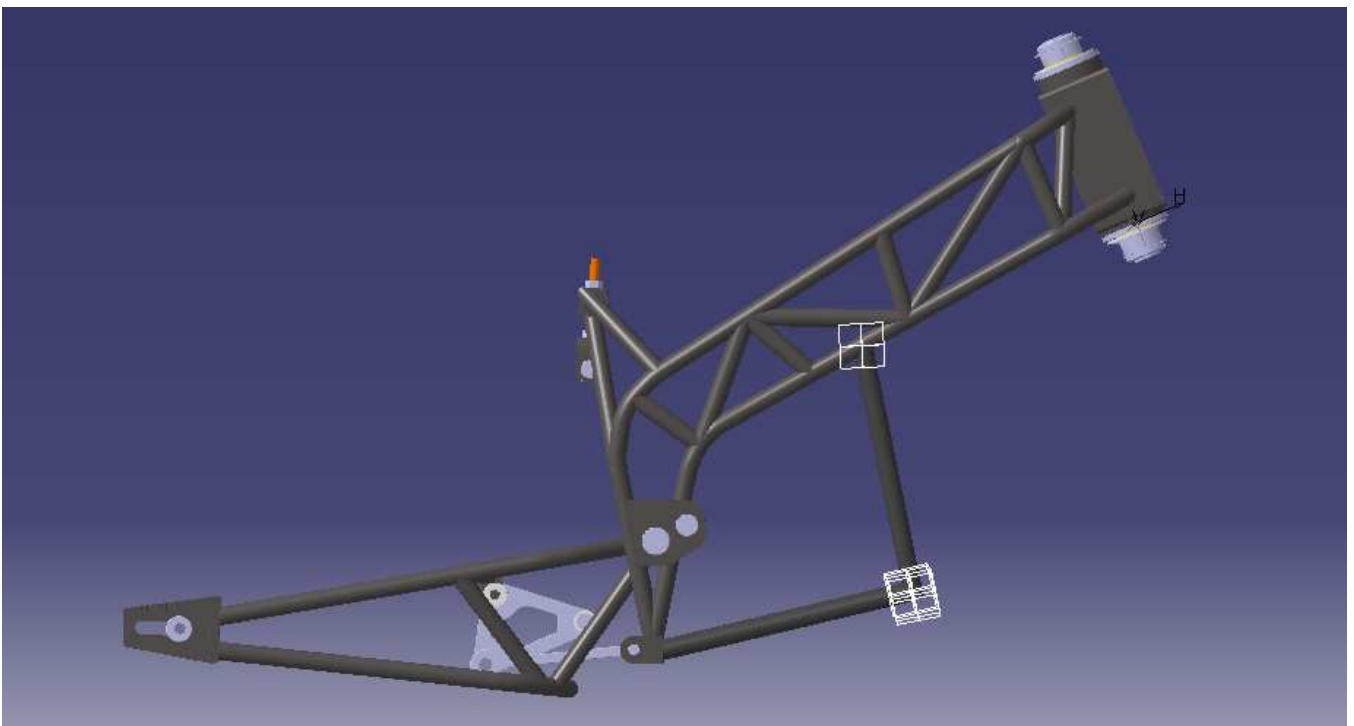
---

## 5. INTEGRACIÓN DEL CHASIS

Para la integración de la moto ha hecho falta modificar el chasis, además de otros elementos, como la cadena, diseñar soportes para las baterías, etc.

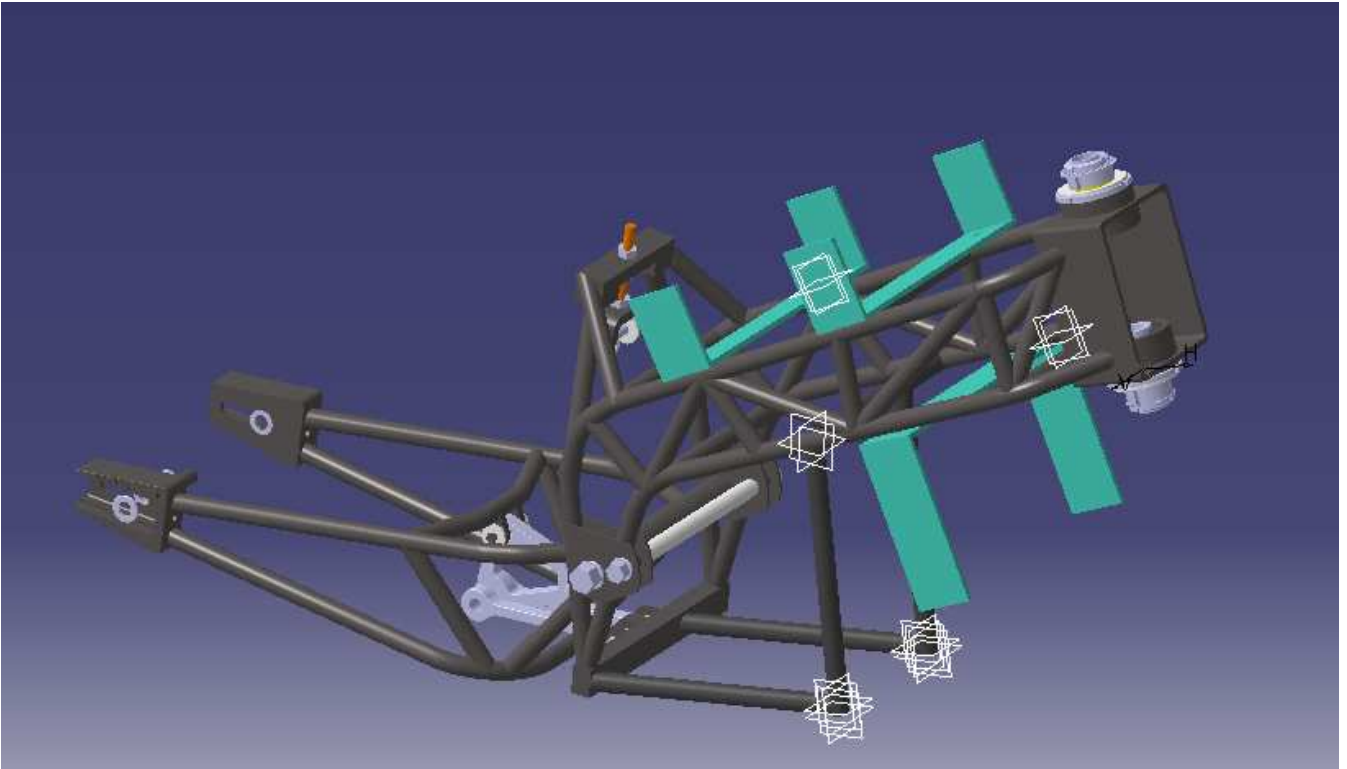
La parte fundamental es la incorporación del motor en el chasis, por lo que es lo primero que se diseñó para ver la modificación del chasis que se debía hacer. A partir de ahí, se han ido ajustando los componentes de la mejor manera posible para que quepan todos ellos.

A continuación, se muestra una figura de cómo ha quedado el chasis después de las modificaciones. Cabe destacar que en los planos que aparecen al final de este proyecto viene la modificación más detallada.



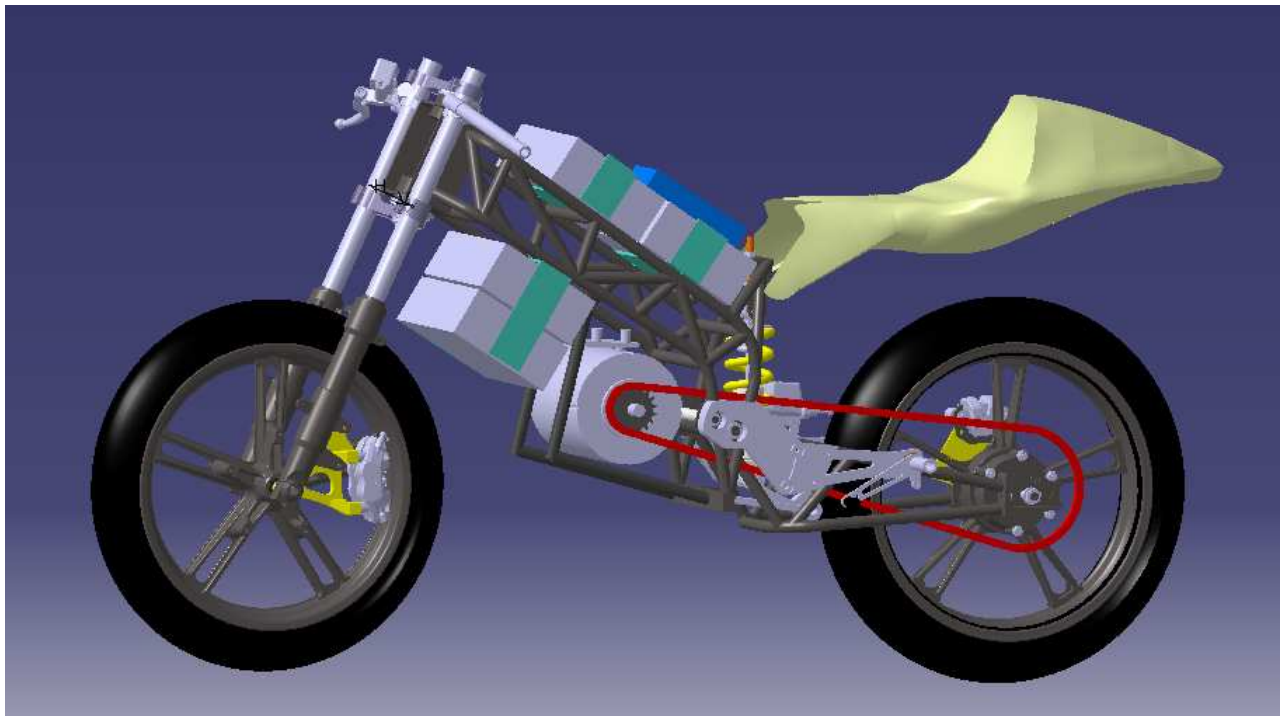
**Figura 33: Modificación del chasis de la moto.**

Tal y como se observa en la imagen, se ha tenido que diseñar un soporte para el motor, para que esté sujeto al chasis. En la siguiente figura se muestra el chasis junto con los soportes de las baterías.



**Figura 34: Chasis de la moto modificado con los soportes de las baterías.**

Por último, se muestra la imagen de todo el conjunto montado, es decir, el chasis, las baterías el motor... También, cabe destacar que la cadena ha habido que alargarla para que coincidiese con la posición del motor, haciendo los mínimos cambios posibles.



**Figura 35: Conjunto de la moto eléctrica integrada**

Se aprecia que el tema de la manipulación del cableado a través del chasis de la moto no es un problema, ya que se ve que existen muchos huecos por los que se pueden pasar.

Hay que señalar que el controlador está puesto en la parte superior para que de esta forma sea muy accesible y poder manipularlo fácilmente. Además, hay que comentar que la disposición de las baterías es la óptima de cara a aprovechar los huecos útiles de la moto.

Se debe tener en cuenta que el puño de gas también tiene que ser diferente al que lleva la moto original, ya que ahora incide sobre el motor eléctrico.

Se debe añadir que las modificaciones hechas al chasis para poder integrar el conjunto eléctrico se han pensado para que sean las mínimas posibles y así, evitar gastos añadidos.

## *6. PRESUPUESTO*

---

## 6. PRESUPUESTO

Para realizar el presupuesto de la moto eléctrica de competición que se está abordando en este proyecto, se tendrán en cuenta los siguientes puntos:

- **Modificación del chasis** (El precio es estimado ya que no se tiene certeza de la cantidad de material que se empleará)
- **Costo del kit eléctrico** (motor + controlador) (Curtis 1238-7601 HPEVS AC-20)
- **Costo de las baterías** (Baterías + BMS + BMST) (Saft 24V SLFP Module)
- **Puño de aceleración** (WUXING FT85XDX electric motorcycle gas throttle)
- **Fungible** (Cables, tornillos, arandelas, contactores...)

No se tendrá en cuenta la mano de obra ni el cargador de las baterías y se da por hecho que los precios ya tienen el I.V.A. incluido.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
KIT DE CONVERSION	1	1.902,95 €	1.902,95 €
BATERÍAS	4	2.000 €	8.000 €
MODIFICACIÓN CHASIS	1	1.500 €	1.500 €
PUÑO DE ACELERACIÓN	1	40 €	40 €
FUNGIBLE	-	-	300 €
		<b>TOTAL</b>	<b>11.742,95 €</b>

Tabla 4: Presupuesto.

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de ONCEMIL SETECIENTOS CUARENTA Y DOS EUROS Y NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS.





## *7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS*

---

# 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

---

## 7.1. Conclusiones

El proyecto profundiza en el mundo de las motocicletas eléctricas desde un punto de vista técnico, explicando cuales de las diferentes opciones de motor y baterías puede ser la más conveniente y encajar en una motocicleta ya construida. Lo difícil de este proyecto ha sido elegir los diferentes componentes para insertarlos en la moto, ya que el espacio está restringido y el chasis ya construido.

En este proyecto se ha conseguido cumplir el objetivo principal, que es hacer un diseño de una moto eléctrica a partir de una de combustión interna agregándole el motor y las baterías necesarias. Para ello se han tenido que buscar kits de conversión eléctricos y baterías y ver cuál es el que conviene para este proyecto.

Para empezar a hablar de conclusiones, se podría comenzar diciendo que el motor eléctrico que se ha escogido para que forme parte de la moto, tiene mejores prestaciones que el motor de combustión interna. Esto ya se ha comentado a la hora de la comparación entre el motor eléctrico y el de combustión. Es cierto que el motor eléctrico tiene pocos kilos más de peso, pero el par inicial que se consigue es bastante mayor que con el motor de combustión.

Otro factor que se debería comparar es el peso del conjunto total, es decir, de la moto ya en su totalidad. La moto de motor de combustión interna pesa cerca de los 110 kg, mientras que la moto eléctrica que se ha diseñado pesa cerca de los 160 kg. Esta diferencia de peso es debido a las baterías que se han colocado. Con estos 50 kg de diferencia la aceleración seguirá siendo mayor la de la moto eléctrica ya que tiene un par muy superior que el motor de combustión interna a bajas velocidades.

Dado que el mundo de la competición es el mejor escenario para sacar a la luz el desarrollo de nuevas tecnologías, este proyecto sí que puede ser viable para llevarlo a cabo, ya que se podría avanzar en este mundo de las motos eléctricas viendo las mejoras que se pueden hacer para ser más rápidas sobre la pista.

Además, en el mundo de la competición el presupuesto es muy alto, debido a que, como ya se ha comentado anteriormente, es un escaparate inmejorable para desarrollar en su totalidad una tecnología. Con esto se puede decir que la

modificación de la moto de combustión interna a una moto eléctrica no es cara. Sería cara si uno mismo se quisiera fabricar su propia moto eléctrica, pero en un ámbito de desarrollo e innovación no resulta del todo caro.

## 7.2. Líneas futuras

Después de haber realizado este proyecto, se puede comentar que como más sentido tendría es llevándolo a la práctica. Para ello los pasos a seguir serían los siguientes:

- Buscar patrocinadores para el apoyo económico, que tal y como se ha visto el presupuesto es de 11.742,95 €, una cifra elevada.
- Buscar más componentes aparte de los ya elegidos en este proyecto para así, ver si puede ser más útil y encajar mejor en la moto.
- Hacer los cambios necesarios en el chasis.
- Montar el motor y las baterías.
- Configurar el controlador.
- Puesta en marcha.

Para llevar a cabo este otro proyecto sería necesario más tiempo del que se necesita para hacer un estudio de mercado y elegir los componentes para colocar en la moto. Requeriría de más de un año para hacer en un plazo concreto.

Además de este proyecto, se podría plantear otro que fuera un estudio más profundo y detallado de las baterías a colocar, ya que lo que se pretende es reducir el peso de las mismas y aumentar su autonomía.

El haber hecho un proyecto en este tema ayuda mucho a uno mismo a desarrollar sus conocimientos en el ámbito de las motocicletas y más, tratándose de motocicletas eléctricas que de aquí a no muchos años serán tan comerciales y usuales como las de motor de combustión interna, pero se debe mejorar en el peso y la autonomía de ellas.



## 8. REFERENCIAS

---

## 8. REFERENCIAS

---

### Referencias bibliográficas y linkográficas

- [1] FOLGUERA, TANIA (2011) - Trabajo dirigido: *“Modelado en Pro-e”*. Universidad Carlos III de Madrid.
- [2] ÁLVAREZ GARCÍA, SARA (2012) - Proyecto Fin de Carrera: *“Diseño de un basculante e integración del mismo en una motocicleta de competición”*. Universidad Carlos III de Madrid.

Página web sobre una introducción a vehículos eléctricos:

- [3] <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/baterias-y-vehiculo-electrico>.

Página sobre las carreras de TT de Isla de Man:

- [4] <http://www.neoteo.com/ttxgp-primer-mundial-de-motos-electricas-16306/>.

Página sobre TTXGP 2010 campeonato del mundo de motos eléctricas:

- [5] <http://energeticafutura.com/blog/ttxgp-2010-campeonato-del-mundo-de-motos-electricas-tendra-la-final-en-espana/>

Página sobre el funcionamiento de un kit de conversión eléctrico:

- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_vehicle\\_conversion](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_conversion).

Página sobre el motor HPEVS AC-51:

- [7] <http://www.electricmotorsport.com/ev-parts/motors/ac-induction/ac-51-kit.html>.

Página sobre el motor HPEVS AC-50:

- [8] <http://www.electricmotorsport.com/ev-parts/motors/ac-induction/ac-50-kit.html>

Página sobre el motor HPEVS AC-20:

- [9] [http://www.evwest.com/catalog/product\\_info.php?cPath=8&products\\_id=286](http://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=286).

[10] NÚÑEZ, CARLOS (2012) – *Curvas y características de motores y vehículos*.  
Universidad Carlos III de Madrid.

[11] TORREJÓN PÉREZ, CRISTINA (2010) – *diseño de un pack de baterías para  
motocicletas eléctricas*. Universidad Carlos III de Madrid.

Página sobre la batería MILSPEC 12-400 RUGGEDIZED LIFEPO4:

[12] <http://store.evtv.me/proddetail.php?prod=milspec12400&cat=10>.

Página sobre la batería ZEBRA:

[13] [http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_de\\_sal\\_fundida](http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_sal_fundida).

Página sobre la batería Saft 22V LI-ION MODULE:

[14] <http://www.saftbatteries.com/battery-search/22-v-li-ion-module>.

Página sobre la batería Saft 24 V SLFP MODULE:

[15] <http://www.saftbatteries.com/battery-search/24-v-slfp-module>.



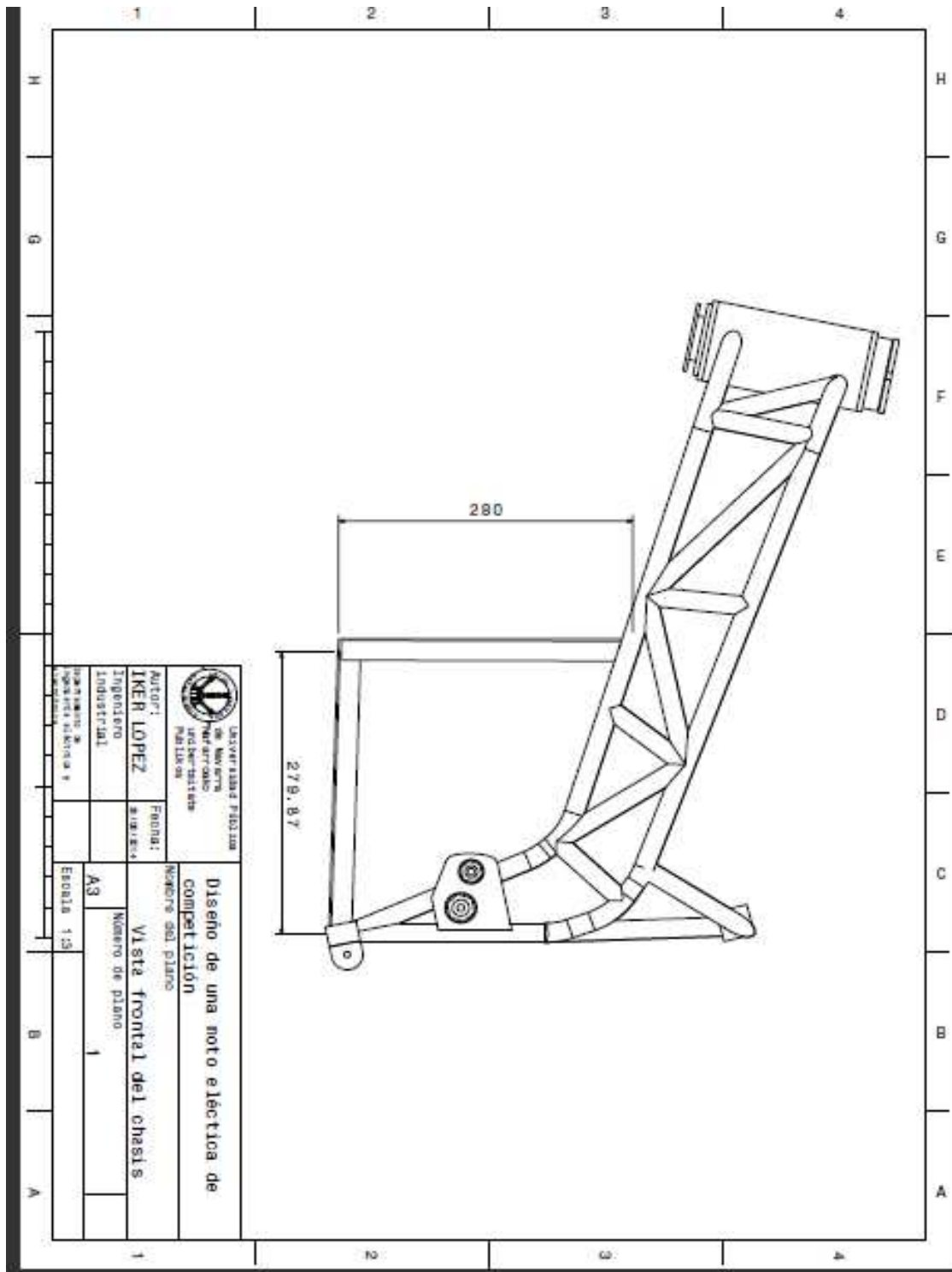


# *ANEXOS: PLANOS*

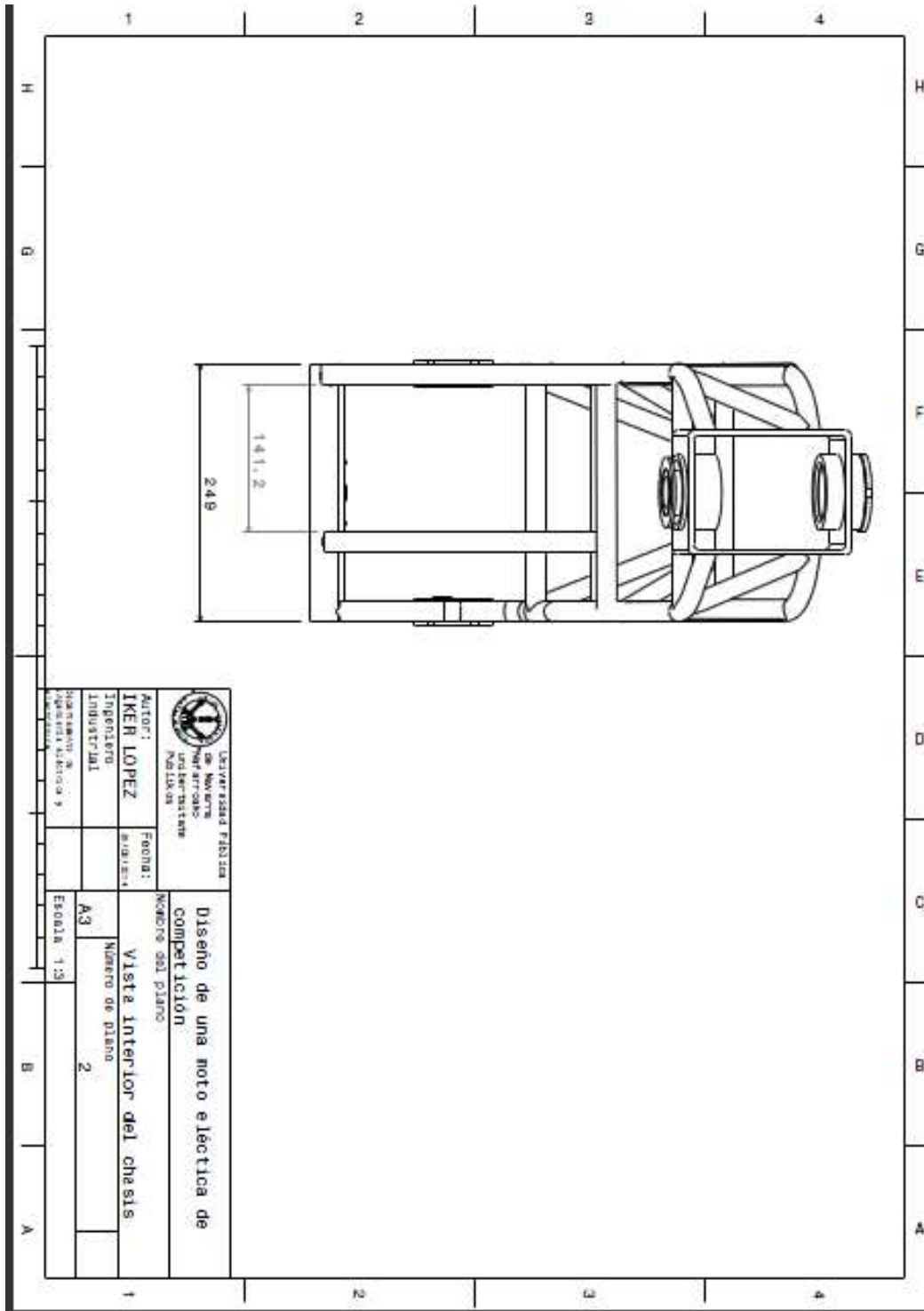
---

# DISEÑO DE UNA MOTO ELÉCTRICA DE COMPETICIÓN

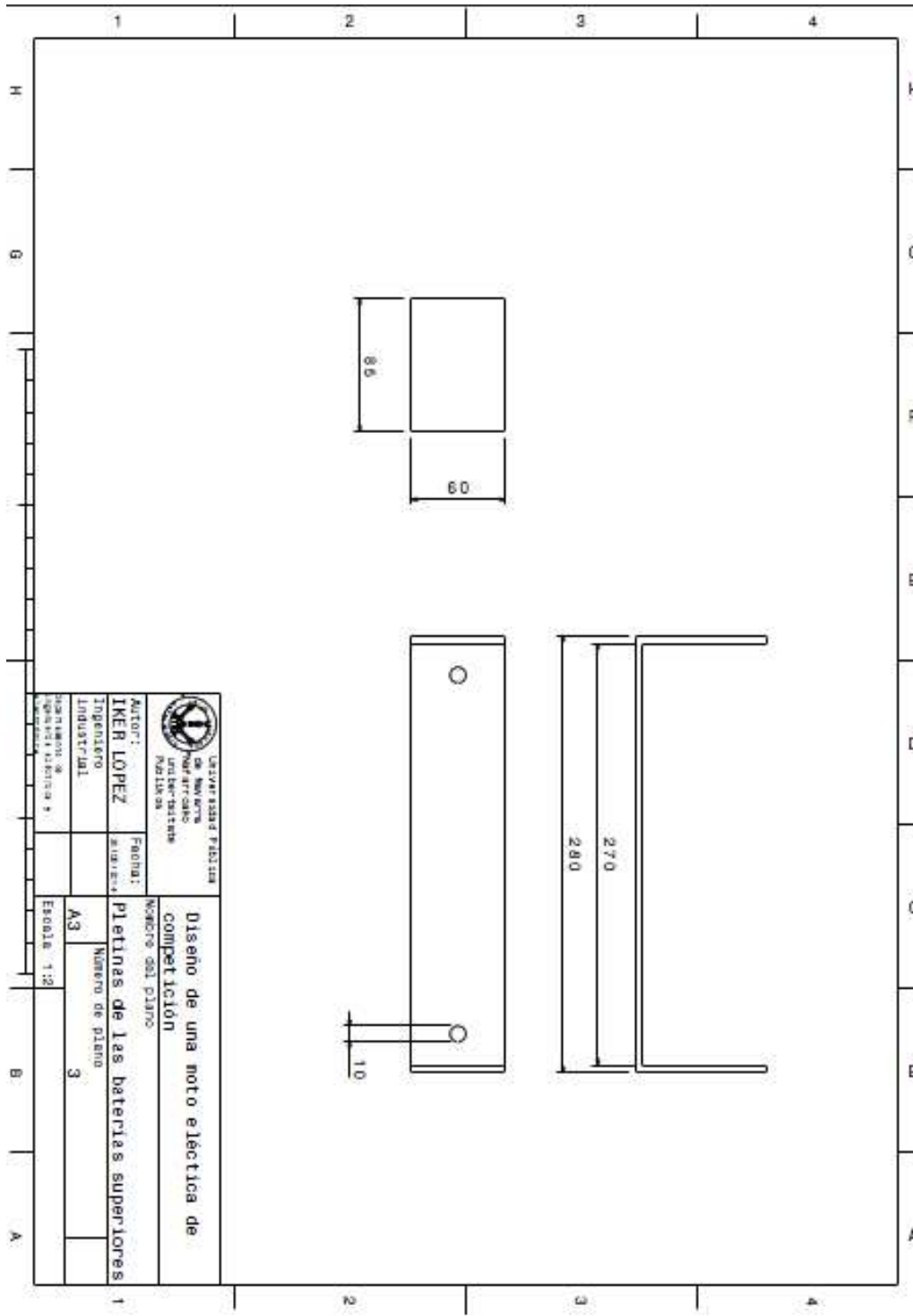
Plano 1: Formato A3. Vista frontal del chasis.



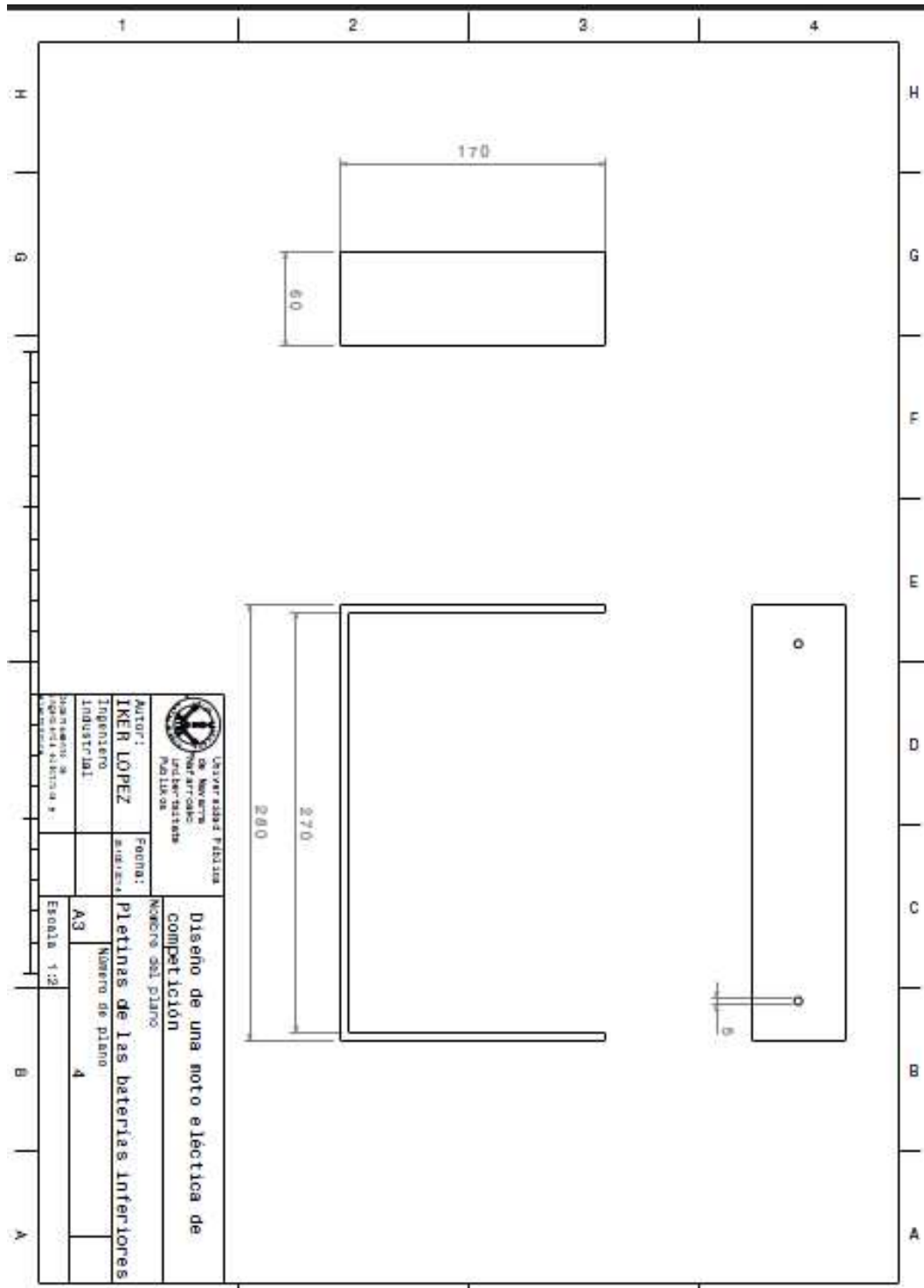
Plano 2: Formato A3. Vista interior del chasis.



Plano 3: Formato A3. Pletina de las baterías superiores.



Plano 4: Formato A3. Pletina de las baterías inferiores.



# DISEÑO DE UNA MOTO ELÉCTRICA DE COMPETICIÓN

Plano 5: Formato A3. Conjunto montado.

