



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Diseño, construcción y estudio energético de un e-Longoboard (monopatín de travesía eléctrico)

AUTOR: Juan Pablo Soler Sapena

TUTOR: Guillermo Escrivá Escrivá

Curso Académico: 2017-18

Resumen

En este TFG se realiza el diseño y construcción de un e-Longboard (monopatín de travesía eléctrico). Se describen con detalle los pasos realizados y elementos constructivos utilizados. Posteriormente, se realiza un estudio energético del prototipo desarrollado, analizando el comportamiento de sus componentes y se realizan propuestas de mejoras tanto eléctricas como mecánicas para posteriores versiones del prototipo.

Palabras Clave: Diseño, construcción, e-Longboard, análisis energético

Resum

En aquest TFG es realitza el disseny i construcció d'un e-Longboard (monopatí de travessia elèctric). Es descriuen amb detall els passos realitzats i elements constructius utilitzats. Posteriorment, es realitza un estudi energètic del prototip desenvolupat, analitzant el comportament dels seus components i es realitzen propostes de millores tant elèctriques com mecàniques per a posteriors versions del prototip.

Paraules Clau: Disseny, construcció, e-Longboard, anàlisi energètic

Abstract

In this TFG, the design and construction of an e-Longboard (electric longboard) is carried out. The steps and construction elements used are described in detail. Afterwards, an energetic study of the developed prototype is carried out, analyzing the behavior of its components and making proposals for electrical and mechanical improvements for later versions of the prototype.

Keywords: Design, construction, e-Longboard, energetic study

Índice

Documentos contenidos en el TFG

- ❖ Memoria
- ❖ Presupuesto

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción y Objetivos	13
1.1 Objetivo de este proyecto	13
1.2 El origen del monopatín eléctrico actual y objeto de proyecto	14
Capítulo 2. Antecedentes.....	16
2.1 Conceptos previos.....	16
2.1.1 Estilos de manejo de un monopatín.....	16
2.1.2 Tamaños de monopatín.....	18
2.1.3 Partes de un longboard estándar	19
2.2 Investigación y modelos existentes	27
Capítulo 3. Desarrollo del prototipo inicial.....	33
3.1 Modelo 1. Introducción	33
3.2 Componentes eléctricos	34
3.2.1 Motor.....	34
3.2.2 Variador de potencia	35
3.2.3 Batería.....	36
3.2.4 Emisora y receptor	38
3.2.5 Cables.....	38
3.2.6 Conectores.....	39
3.3 Componentes mecánicos para la transmisión.....	41
3.4 Diseño y construcción	43

3.4.1	Diseño del soporte del motor y la transmisión	44
3.4.2	Diseño de la carcasa para la electrónica	49
3.4.3	Modificación de la emisora	54
3.4.4	Instalación de la electrónica	57
3.4.5	Realización de las conexiones	58
3.4.6	Configuración del Variador o ESC.....	61
3.5	Análisis de los componentes electrónicos.....	62
3.5.1	Ensayo 1: Análisis del Variador ESC.....	62
3.5.2	Ensayo 2: Análisis de las características técnicas del prototipo 1.....	69
3.6	Conclusiones sobre el modelo 1	71
3.6.1	Construcción	71
3.6.2	Funcionamiento.....	71
3.6.3	Características técnicas	72
3.7	Propuestas de mejora	73
3.7.1	Potencia del motor y cambios en el sistema de propulsión	73
3.7.2	Sustitución del variador.....	74
3.7.3	Reducción del peso.....	74
Capítulo 4.	Desarrollo del prototipo 2	75
4.1	Modelo 2. Introducción	75
4.2	Componentes electrónicos	75
4.2.1	Motores	75
4.2.2	Variador o ESC	76
4.2.3	Cables y conectores	77
4.3	Componentes mecánicos para la transmisión.....	78
4.4	Diseño y construcción	81
4.4.1	Nuevo soporte Dual Drive	81
4.4.2	Sustitución de las ruedas. Ruedas impresas en 3D	84
4.4.3	Nueva carcasa.....	87

4.4.4	Instalación final.....	90
4.5	Análisis de los componentes electrónicos.....	93
4.5.1	Ensayo 1: Análisis del nuevo Variador.....	93
4.5.2	Ensayo 2: Análisis de las características técnicas del prototipo 2.....	99
4.6	Conclusiones sobre el modelo 2	102
4.6.1	Construcción	102
4.6.2	Funcionamiento.....	102
4.6.3	Características técnicas	102
4.6.4	Comparativa entre los prototipos 1 y 2.....	103
Capítulo 5.	Conclusiones.....	104
Capítulo 6.	Bibliografía.....	105

Índice del presupuesto

Introducción	109
Capítulo 1. Costes de fabricación prototipo 1.....	109
Capítulo 2. Costes de fabricación prototipo 2.....	110
Resumen	111



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Diseño, construcción y estudio energético de un e-Longoboard (monopatín de travesía eléctrico)

Memoria

AUTOR: Juan Pablo Soler Sapena

TUTOR: Guillermo Escrivá Escrivá

Curso Académico: 2017-18

Capítulo 1. Introducción y Objetivos

1.1 Objetivo de este proyecto

El objetivo de este trabajo es diseñar y construir un monopatín eléctrico, realizando posteriormente un estudio energético tanto de sus componentes como de su funcionamiento general. Para ello se investigarán productos existentes y se estudiará la información disponible tanto para saber los elementos necesarios para su composición como para la determinación de los criterios clave a la hora de seleccionar dichos elementos. Una vez adquiridos estos conocimientos se planteará el diseño de un prototipo funcional que cumpla los requisitos y se procederá a su construcción. Posteriormente se realizará en el laboratorio un estudio del funcionamiento de los componentes electrónicos principales para comprender en profundidad su funcionamiento. Se realizarán también mediciones del funcionamiento general del prototipo para determinar sus características básicas. Se analizarán los resultados y se obtendrán unas conclusiones que darán paso a una proposición de mejoras, las cuales se aplicarán en el diseño y construcción de un segundo prototipo. Éste se volverá a analizar de forma equivalente al primer modelo y se razonarán los resultados a fin de obtener nuevas conclusiones. Finalmente se procederá a comparar los resultados de ambos prototipos y se analizará la efectividad de las mejoras aplicadas. Todo ello aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de la titulación del grado en ingeniería de tecnologías industriales.

1.2 El origen del monopatín eléctrico actual y objeto de proyecto

La temática de vehículos portátiles eléctricos ganó fuerza inicialmente en los Estados Unidos, donde el uso de monopatines y otros vehículos compactos como patinetes o bicicletas plegables estaba más extendido.

Dada la planitud de la mayoría de sus poblaciones y las largas distancias que recorren sus usuarios para llegar al trabajo, colegio u otros lugares, la necesidad primordial de un tamaño reducido del vehículo se convirtió en un requisito, pudiendo ser así almacenado, por ejemplo, en el área de trabajo, o en las taquillas de los colegios sin ocupar mucho espacio.

A principios del año 2014 comenzaron a aparecer en la plataforma de vídeos online *YouTube* grabaciones de algunas personas experimentando con electrificar sus monopatines utilizando componentes electrónicos de maquetas de aviación a escala.

El motivo con el que justificaban la utilización de estos componentes y no otros era, principalmente, que los motores disponibles en el mercado en ese momento ya poseían suficiente potencia como para emplearlos en otros proyectos, con la ventaja de un tamaño menor en comparación con otros motores de su misma potencia.

El tamaño es sin duda un requisito necesario para ser empleados en maquetas a escala, pero esta es también la ventaja principal por la que se pueden utilizar en proyectos como la electrificación de vehículos portátiles. Al ser estos motores de dimensiones reducidas es fácil realizar instalaciones en vehículos pequeños.

Dichos motores además poseen un par significativo y alto rendimiento, lo que permite un buen aprovechamiento de las baterías que se emplean para alimentarlos.

Con la ferviente actividad hoy en día de las redes sociales y la venta disponible por internet, este tipo de proyectos no tardaron en ganar popularidad, expandiéndose por todo el mundo. Este apoyo por parte de la sociedad ha propiciado un aumento en el desarrollo de piezas y componentes específicos para los monopatines eléctricos como, por ejemplo, motores con una potencia más ajustada acorde a la necesaria, con sensores para conseguir aceleraciones y frenadas más suaves, incluso ruedas modificadas para insertar el motor en su interior. Actualmente hay un gran número tanto de empresas con grandes marcas detrás como pequeñas emergentes, aún en crecimiento, que ofrecen un surtido de vehículos portátiles eléctricos a la venta. Incluso las hay que se han creado con la venta de estos productos como único propósito.

Para monopatines eléctricos en concreto existen tanto productos acabados como kits para realizar la conversión de uno normal a eléctrico. Ejemplos de empresas enfocadas en este producto serían:

- *Boosted Boards*¹, la empresa líder en calidad en cuanto a longboards eléctricos se trata. Su venta consiste en productos acabados con garantías de fabricación y venta de repuestos.
- *diyelectricskateboard.com*², tienda online que se dedica a la venta de las piezas y kits necesarios para electrificar un monopatín de forma personalizada.
- *Enertion Boards*³ es otro ejemplo más de empresa dedicada únicamente a la venta de monopatines eléctricos. Su CEO es muy conocido en *eSk8.builders*⁴, un foro dedicado íntegramente al tema de los monopatines eléctricos.

El proyecto que aquí nos atañe surgió de la exploración por internet sobre temáticas de carácter tecnológico, con el *DIY* como tema principal (*do it yourself*, hazlo tú mismo). La idea de construir un monopatín eléctrico parecía atractiva y llena de retos, que servirían tanto para aprender cosas nuevas como para complementar y reafirmar la experiencia teórica que han aportado las clases. Así fue como se optó por realizar este proyecto como trabajo final de grado.

¹ <https://www.boostedboards.com>

² <https://diyelectricskateboard.com>

³ <https://www.enertionboards.com>

⁴ <https://www.electric-skateboard.builders>

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 Conceptos previos

A continuación, se exponen varios conceptos pertenecientes al mundo del manejo del monopatín (*skateboarding*) y que serán de gran ayuda para comprender mejor este documento. Los dos conceptos que más se van a utilizar durante todo el documento son los siguientes:

- Skate. Apodo abreviado de la palabra *skateboard* (monopatín). Se emplea para nombrar de forma genérica a este vehículo portátil.
- Skater. Persona que maneja el monopatín.

2.1.1 Estilos de manejo de un monopatín

A medida que se utilizaban los monopatines para realizar una serie de actividades en repetidas ocasiones, estas se iban popularizando, creándose este grupo de estilos (*skateboarding styles*) donde el uso del monopatín se emplea de una forma concreta. Estos estilos van evolucionando con el paso del tiempo ya que vienen influenciados por las tendencias socioculturales de la época. No obstante, se detallan a continuación los más conocidos.

Se pueden separar principalmente en dos grupos: estilos donde el monopatín se emplea para hacer trucos y estilos donde el monopatín se emplea como vehículo de transporte.

2.1.1.1 Estilos en los que se realizan trucos

- *Street skateboarding*. Es un estilo donde se emplean escaleras, barandillas, macetas, zanjas, bancos y todo tipo de mobiliario urbano. Los skaters realizan trucos utilizando los elementos que se encuentran en las calles.
- *Vert skateboarding*. Este estilo tiene su origen en el “pool riding” que antiguamente consistía en utilizar el monopatín en las piscinas vacías del patio trasero de las casas. Este estilo se define por utilizar el monopatín para pasar de una superficie horizontal a una vertical (de ahí la abreviación “vert”) mediante el uso de rampas e inclinaciones y realizar trucos mientras se está en el aire, entre otros.

- *Park skateboarding*. Este estilo de carácter más actual une una variedad de subestilos ya que se emplean parques de patinaje diseñados específicamente para el uso del monopatín. Estos parques contienen bancos, barandillas y escaleras además de rampas y paredes inclinadas que permiten ejecutar trucos de los estilos previamente mencionados.

2.1.1.2 Estilos con el monopatín como medio de transporte

En este grupo se prioriza la realización de largos trayectos minimizando la energía necesaria para impulsarse, para lo cual se puede llegar a realizar modificaciones en los componentes del monopatín para reducir la fricción tanto de las propias piezas como de las ruedas con el suelo.

- *Freestyle skateboarding*. Probablemente el estilo más antiguo de todos. Proviene del empleo del monopatín como medio de transporte desde la década de los 60. Las competiciones profesionales de Freestyle generalmente incluyen música y coreografías, enfocándose en la fluidez y la habilidad del skater. Este estilo ha ido variando significativamente a partir de 1980 debido a la inclusión de algunos trucos y el empleo de obstáculos.
- *Cruising skateboarding*. En esta modalidad se puede emplear cualquier tipo de monopatín. En ella se pretende circular a la mayor velocidad posible a través de rampas, parques de patinaje o cualquier área urbana sin el empleo de trucos, tan lejos como sea posible sin parar o tocar ninguna superficie. El estilo Cruising, al igual que el *Downhill*, se utilizan generalmente para el transporte.
- *Downhill skateboarding*. Otro de los estilos más antiguos que existen, se hizo popular en la década de los 70. Consiste en el descenso de colinas, empleando las carreteras como circuito. En esta modalidad se suelen emplear un tipo de tabla llamada longboard, la cual se detallará más adelante. Actualmente hay skaters que también emplean monopatines normales para realizar downhill. Las velocidades que se alcanzan en esta modalidad son de vértigo, llegando fácilmente a los 50 km/h.

El objetivo de este proyecto es utilizar el monopatín como elemento de transporte, generalmente urbano. Por tanto, las modalidades que más se aproximan a su uso son principalmente Cruising, con la realización esporádica de

Downhill, pero controlando la velocidad. Al fin y al cabo, el terreno no es siempre plano y el prototipo tendrá que ser capaz de subir y bajar alguna que otra cuesta moderada.

2.1.2 Tamaños de monopatín

A medida que los estilos se iban haciendo populares, los skaters adaptaban sus monopatines para mejorar sus habilidades y realizar tanto trucos como desplazamientos con mayor facilidad y efectividad. Así pues, la forma del monopatín fue derivando en diferentes tipos, que ayudaban al skater a dominar diferentes estilos.

Clasificados por tamaño, los más conocidos son:

- *Penny board*. Es un monopatín pequeño cuya tabla está fabricada enteramente de plástico. En la industria se le conoce como Cruiser corto. El término "Penny" proviene de la marca "Penny Skateboards", una empresa fundada en 2010 en Australia por *Ben Mackay*. Aunque es una marca registrada, actualmente se utiliza para nombrar de forma genérica todo tipo de pequeños monopatines de plástico debido a la popularidad de la marca (Figura 1). La tabla de plástico se combina con ejes y ruedas especializados para la modalidad Cruiser. Su tamaño varía según qué fabricante lo produzca, siendo el más popular el de 22 pulgadas (aproximadamente 56 centímetros).
- *Skateboard*. Es el monopatín común. El tamaño de la tabla varía entre 28 y 33 pulgadas (entre 71 y 84 centímetros) y su forma no suele variar mucho: una tabla recta con las puntas redondeadas e inclinadas hacia arriba (Figura 2). Este tamaño es el que se suele utilizar para realizar trucos, pero dado su tamaño intermedio se puede emplear en todas las modalidades. De cara a las competiciones, las empresas profesionales se enfocan en las curvaturas de la tabla, su dureza y otras características de sus componentes, todo ello para facilitar al skater la realización de los trucos.
- *Longboard*. Como su nombre indica, es un monopatín con una tabla más larga, con una variedad de diseños más amplia que el monopatín común. Su característica principal es la mayor estabilidad que posee ya que, al ser la tabla más larga, los ejes se instalan más separados. Se emplean ruedas más

grandes, que le otorgan mayor velocidad (Figura 3). Se utiliza generalmente en las modalidades Cruiser y Downhill.



Figura 1. Penny board.



Figura 2. Skateboard.



Figura 3. Longboard.

Dada la extensa variedad de tablas que hay en el mercado, existen tablas con medidas intermedias que se encuentran entre estos tres grandes grupos. Algunas tienen nombre y otras generalmente las acaban asociando al grupo vecino más cercano por temas de popularidad. Para el trabajo que nos ocupa estos tres grupos son definitivamente los más significativos.

Por tanto, queda justificado qué tipo de monopatín vamos a emplear, siendo el Longboard el más adecuado para largos trayectos, con suficiente espacio en la tabla para poder instalar los componentes electrónicos.

2.1.3 Partes de un longboard estándar

En esta sección se van a exponer las partes que componen un longboard estándar, utilizando de ejemplo el longboard que se emplea a lo largo de todo el proyecto para la realización de los prototipos.

2.1.3.1 Tabla

Fabricada en madera laminada de arce. La cantidad de láminas que se emplean en una tabla puede variar entre 7 y 9 capas. Su orientación se configura para obtener un equilibrio entre resistencia y flexibilidad. Las tablas de longboard generalmente son más rígidas que las de otros modelos de monopatín. Esto le permite soportar un peso máximo de 80 kilos, aproximadamente. La tabla que vamos a emplear es una tabla característica de la modalidad Downhill y se la conoce como *Twin Tip* (puntas gemelas) por la forma de los extremos de la tabla, que son iguales en ambos lados.



Figura 4. Tabla Twin Tip de longboard.

2.1.3.2 Ejes

Los ejes o *trucks* son las piezas que reúnen todo el trabajo mecánico del longboard. En un truck podemos encontrar a primera vista dos piezas principales: la base y la percha. Estas dos piezas se relacionan entre ellas a través de una articulación.

La base, además de ser el punto de apoyo de la percha, es la encargada de anclar el conjunto a la tabla mediante el uso de cuatro tornillos y cuatro tuercas. La base, sin embargo, posee 6 agujeros a diferentes medidas con el fin de conseguir una mayor compatibilidad con diferentes modelos de tabla. Se pueden apreciar los diferentes agujeros en la imagen (Figura 5).

La percha es la pieza que pivota sobre la base. Contiene los ejes donde van acopladas dos ruedas, una a cada lado. El diámetro de los ejes es de 8mm y están roscados en sus extremos.

La unión articulada entre la base y la percha se compone de una serie de amortiguadores de goma, llamados *bushings*, que permiten cierta flexibilidad entre la base y la percha. Estos bushings quedan sujetos a la percha a través de un tornillo de cabeza hexagonal (*kingpin*). Dicha cabeza se aloja en la base y usa las paredes de esta para evitar su rotación. Se sujeta todo el conjunto a través de una tuerca autoblocante que se enrosca desde el exterior (Figura 6).

El motivo por el que se monta así es para poder ajustar la dureza de la articulación. Con una articulación más suelta se consigue un truck más ágil, facilitando los giros al inclinar la tabla. Esta configuración es adecuada para espacios con muchas curvas pronunciadas y velocidades bajas, como son comúnmente las ciudades. Cuando se aprieta la tuerca del kingpin, la percha y los bushings quedan más sujetos contra la base, volviendo la articulación más rígida y

haciendo que el truck sea más estable en rectas a mayores velocidades. Esta configuración es ideal para largos trayectos por carriles o carreteras con curvas suaves.



Figura 5. Trucks de un longboard.

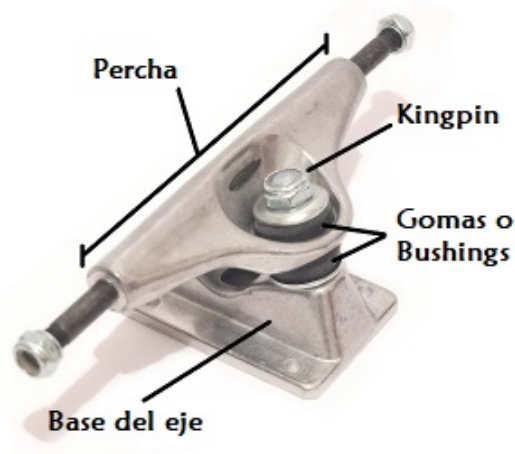


Figura 6. Truck montado.

2.1.3.2.1 Los bushings, diferentes opciones de configuración.

Para aumentar el rango de ajuste del kingpin, existe una gran variedad de bushings tanto de forma como de dureza que producen distintos efectos en el truck a la hora de usar el monopatín. Actualmente los hay de muchas formas, algunas de ellas se siguen desarrollando para definir sus efectos, pero los más conocidos son los bushings Cónicos y con forma de Barril. Estos dos a su vez los encuentras con variaciones de sus dimensiones: cónicos normales, anchos o altos y lo mismo ocurre con los barriles (Figura 7).

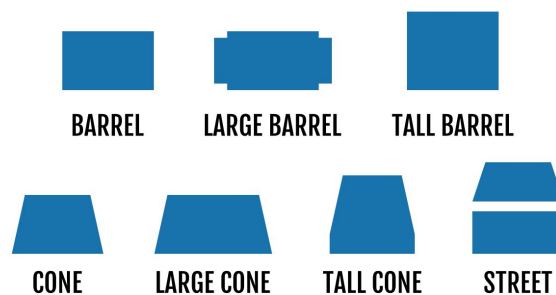


Figura 7. Diferentes tipos de Bushings.

Cada truck necesita dos bushings, y lo más común es realizar combinaciones de estos dos tipos. Estas combinaciones producen diferentes efectos cuando se circula con el longboard. Por ejemplo, si se emplean cónicos a ambos lados de la percha se consigue más agilidad en los giros. O si, por el contrario, se utilizan barriles a ambos lados se obtiene mayor estabilidad durante el trayecto a cambio de sacrificar maniobrabilidad. La configuración más común y que posee equilibrio entre maniobrabilidad y estabilidad es combinar un cónico con un barril. El cónico se coloca en el lado exterior de la percha encarado al suelo y el barril entre esta y la base. Esta configuración es la que se aplica en nuestro caso (Figura 8). El hecho de que se disponga de varias durezas en el mismo tipo de bushing es para facilitar la inclinación de la tabla a skaters de diferente peso. Con una configuración de dureza correcta se consigue que un skater de sesenta kilos incline la tabla con la misma facilidad que uno de ochenta, por ejemplo (Figura 9).

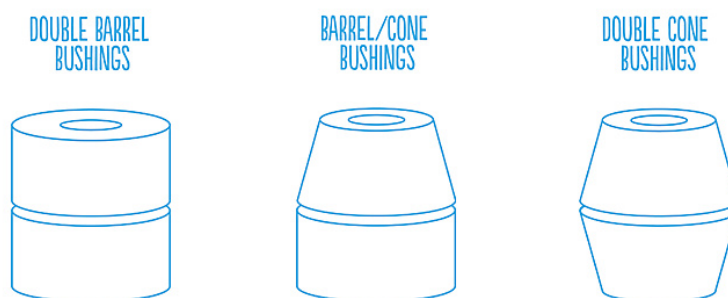


Figura 8. Diferentes combinaciones de Bushings.



Figura 9. Dureza del bushing acorde al peso del skater.

2.1.3.2.2 Efectos de una mala configuración en los ejes

Si se utiliza un truck con una configuración blanda en condiciones donde la velocidad es alta, aparece un efecto conocido como *speed wobble*.

El *speed wobble* se produce conforme aumenta la velocidad al descender una cuesta, en el que los trucks blandos dejan demasiada libertad a la percha, la cual pivota sin control, transmitiendo a la tabla un movimiento en zig-zag. A medida que aumenta la velocidad, este movimiento en zig-zag se vuelve cada vez más brusco, aumentando su amplitud y acabando por tirar al suelo al skater, incapaz de controlar el monopatín.

No existe una configuración única que sirva para todo, ni para todos los skaters. Dependiendo de la actividad que se vaya a realizar se deben ajustar los ejes. En el caso del Downhill, lo ideal es encontrar un punto de compromiso entre estabilidad y agilidad para poder realizar los descensos con seguridad, aunque en estos casos también entra en juego gran parte de la pericia del skater.

2.1.3.2.3 Funcionamiento del truck

El truck funciona de la siguiente manera: Partiendo del eje longitudinal del monopatín, al ejercer presión con nuestro peso sobre uno de los lados de la tabla, lo que hacemos es inclinar la base que, junto con el apoyo de las ruedas contra el suelo, permite que la percha pellizque los bushings y pivote sobre su punto de apoyo. Pongamos, por ejemplo, que queremos girar a la derecha. Colocamos nuestro peso en el lado derecho de la tabla, haciendo que esta se incline hacia la derecha. El resultado en el truck delantero es un desplazamiento hacia atrás de la rueda derecha, mientras que la izquierda se desplaza hacia delante. En el caso del truck trasero ocurre de forma inversa. La rueda derecha avanza hacia delante mientras que la izquierda se retrasa hacia atrás. Así pues, la distancia entre las ruedas del lado derecho del monopatín se acorta y la del lado izquierdo se alarga, creando una trayectoria curva hacia la derecha cuando el monopatín se mueve

hacia delante. La misma situación ocurre de forma simétrica cuando nos inclinamos hacia la izquierda. Por lo tanto, el monopatín girará hacia el lado que el skater se incline. Por eso es esencial que los trucks se instalen enfrentados respecto del eje transversal de la tabla, con la percha inclinada, apuntando con las ruedas hacia el interior de la tabla (Figura 10). De lo contrario, al inclinarnos hacia la derecha, las ruedas girarían a la izquierda y viceversa, tirándonos del monopatín cada vez que realizásemos un giro.



Figura 10. Posición correcta de los trucks.

2.1.3.3 Ruedas

Las ruedas son prácticamente el elemento más importante del longboard, y como en otros vehículos, las hay de distinta forma, tamaño, dureza y material, todo para ajustarse al uso que se le vaya a dar al longboard, o al estilo personal y gustos del usuario. Una rueda estándar de longboard tiene un tamaño que ronda entre los 60 y 90 mm de diámetro y entre 50 y 60 mm de ancho. Está fabricada íntegramente de poliuretano y se puede encontrar en una variada gama de durezas (Figura 11). En las ruedas de mayor diámetro se utiliza un núcleo más rígido a modo de llanta y se le inserta el poliuretano alrededor (Figura 12). La dureza de las ruedas se mide en la escala Shore⁵ y oscila entre 70A y 90A. Las ruedas más blandas permiten un mayor agarre mientras que las rígidas facilitan los derrapes. Cambiando el tipo de rueda se pueden alterar las características finales del monopatín como adherencia, velocidad punta e incluso el esfuerzo en el impulso necesario por parte del skater para mantenerlo en movimiento.

⁵La dureza Shore es una escala de medida de la dureza elástica de los materiales, determinada a partir de la reacción elástica del material cuando se deja caer sobre él un objeto. (https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Shore)



Figura 11. Ruedas, varios tamaños.



Figura 12. Ruedas Orangatang Kegel de 80mm.

Las ruedas emplean una serie de elementos que permiten su montaje en los ejes del truck. Estos componentes son los rodamientos.

2.1.3.3.1 Rodamientos

Los rodamientos sirven para reducir al mínimo la fricción entre las ruedas y el eje que las soporta. Los empleados en los monopatines son rodamientos modelo 608. Son unos rodamientos de bolas que pueden ser de acero o cerámicas, de un solo carril y con sellado doble fijo o removible (Figura 13).

Mientras que las bolas de acero son más comunes y económicas, las de cerámica están compuestas de nitruro de silicio y tienen la ventaja de ser menos vulnerables a la oxidación, siendo más duraderas.

Dependiendo de la cantidad de inercia que se quiera tener en las ruedas se emplean rodamientos de diferentes tolerancias, que se clasifican según el sistema ABEC⁶. De mayor a menor tolerancia podemos encontrar rodamientos de clase ABEC 1, 3, 5, 7, 9 u 11. Aunque el sistema ABEC es el más popular, hay que aclarar que no es el único sistema que se emplea para catalogar los rodamientos, existen otras entidades como la ISO⁷ o la DIN⁸ que utilizan sus propias escalas.

Por cada rueda se necesitan dos rodamientos, uno a cada lado de la rueda, separados en el centro por un casquillo conocido como *Spacer* (Figura 14). Y todo ello sujeto al eje por una tuerca autoblocante de métrica imperial de 5/16 de pulgada, que entra en el extremo roscado del eje. La función del spacer es evitar que se deformen las pistas de los rodamientos al apretarlos con la tuerca.

⁶ ABEC (del inglés *Annular Bearing Engineers Committee*) es el Comité de ingeniería anular para rodamientos.

⁷ ISO (International Organization for Standardization) es la mundialmente conocida Organización Internacional de la Estandarización.

⁸ DIN (German National Standards Organization) es la Organización Alemana de Estándares.

Dependiendo del truck, en ocasiones se emplean arandelas para evitar que el tope de la percha donde termina cada eje roce simultáneamente los dos anillos del rodamiento interior. La arandela separa el anillo del rodamiento, solidario con el eje, del tope de la percha, permitiendo que el anillo exterior que está unido a las ruedas pueda girar libremente, evitando fricciones no deseadas que terminan por desgastar prematuramente los rodamientos.



Figura 13. Rodamientos 608ZZ.



Figura 14. Spacers.

2.1.3.4 Lija

Un papel de lija adhesivo en el dorso que se adhiere a la parte superior de la tabla. Las hay de grano fino y grano grueso, negros o transparentes. Hoy en día aparecen incluso de otros materiales, como caucho, con el objetivo de prevenir las inevitables rozaduras en los zapatos cuando se realizan trucos. Parece un elemento insignificante, pero en realidad realiza una labor muy importante, que es la de evitar que el skater se resbale de la tabla durante su uso. Las de grano fino están indicadas para uso genérico mientras que las de grano grueso se emplean para modalidades como el downhill por su alto agarre.



Figura 15. Lija estándar.

2.2 Investigación y modelos existentes

Para poder realizar una investigación eficiente es necesario tener clara una idea general de lo que queremos construir.

Así pues, para este proyecto, se plantea obtener un longboard completo ya ensamblado, para facilitar el trabajo, y después electrificarlo. Así podremos descartar cualquier complicación sobre los componentes mecánicos del mismo y centrarnos en la investigación del sistema eléctrico y su motorización.

Lo primero que debemos conocer son las características técnicas que poseen esta clase de vehículos eléctricos y acotar sus valores de forma que podamos usarlos de referencia. Para ello estudiamos los productos que tiene en el mercado tanto la marca líder *boosted boards*⁹ como otras marcas menos conocidas, como *Evolve*¹⁰, que también producen productos de calidad considerable.

Al inicio de este proyecto, Boosted Boards ofrecía dos versiones diferentes: Un modelo de longboard con un único motor transmitiendo su potencia a una de las dos ruedas traseras (*Single Drive*) y otro modelo con dos motores, uno en cada rueda trasera (*Dual Drive*). Actualmente sólo ofrecen versiones con Dual Drive, con variaciones en cuanto a la duración de la batería, o la potencia de los motores. Incluso hay un modelo de dimensiones más reducidas. Dado que partimos de una longboard, nos centraremos en las características de este tipo de tabla.

Comenzamos con el modelo más antiguo disponible, la 2nd Gen Boosted Dual. Este modelo fue el resultado de aplicar las mejoras que consideraron oportunas a la primera generación de monopatines eléctricos Dual Drive que la marca fabricó.

Este modelo en concreto tiene tres variaciones: Dual SR, Dual+ SR y Dual+ XR. Las siglas SR y XR significan respectivamente alcance estándar (*Standard Range*) y extendido (*Extended Range*). Las versiones Dual+ alcanzan una mayor velocidad punta.

Ya con esta primera aproximación a este tipo de producto podemos observar que al inicio de su presentación en la página web detallan características como su velocidad punta, la autonomía medida en distancia y una expresión sobre el porcentaje de inclinación de una cuesta que es capaz de subir cada modelo. Este último dato podría ser una indicación indirecta de la potencia del motor (Figura 16).

⁹ <https://boostedboards.com/boards>

¹⁰ <https://www.evolvekateboards.com>



2nd Gen Boosted Board

Powerful and Portable Transportation

Choose your setup




	Dual+ XR 22 mph Top Speed Climbs 25% Grade Hills Extended Range (14 Miles)	\$1,499 Temporarily Out of Stock
	Dual+ SR 22 mph Top Speed Standard Range (7 Miles) Climbs 25% Grade Hills	\$1,299
	Dual SR 20 mph Top Speed Climbs 20% Grade Hills Standard Range (7 Miles)	\$1,139

Figura 16. Modelo 2nd Gen Dual.

Continuamos ahora observando la tabla de especificaciones que nos proporciona la propia web para los modelos 2nd gen dual (Figura 17).

2ND GEN BOOSTED BOARD	
SPECS	
Range	Up to 7 Miles (SR), up to 14 Miles (XR)
Hill Climbing	Up to 25% Grade
Weight	15.6 lbs
Deck	Flexible Bamboo
Wheels	Orangatang 80mm
Ride Modes	4 Ride Modes
Included in the Box	Board, Charger, Remote, and User Manual
Top Speed	Up to 22 mph
Ride Modes	Dual +: 4 Ride Modes for Beginners to Experts, Dual: 3 Ride Modes
Dimensions	11.0 in (W), 38.0 in (L), 5.2 in (H)
Power	2,000 watts
Trucks	Composite Steel
Top Speed	Up to 22 mph


Figura 17. Especificaciones modelo 2nd Gen Dual.

Esta tabla ya proporciona una información más extendida sobre las características técnicas, como son el peso del vehículo, o la potencia del motor, además de las ya mencionadas autonomía y velocidad punta.

Resumiendo, quedan expuestas las características técnicas de este modelo, siendo las que nos interesan:

- Autonomía: 7 millas (11.26 kilómetros) en la versión estándar o 14 millas (22.5 kilómetros) en la versión de rango extendido.
- Peso: 15.6 libras (7 kilogramos)
- Velocidad punta: hasta 22 mph (35 km/h)
- Potencia: 2000 W

Ahora vamos a observar el modelo tope de gama, para analizar si posee o no características diferentes, y con ello obtener más valores sobre las especificaciones de interés.



NEW
Boosted Stealth
The pinnacle of performance

- 🕒 24 mph Top Speed
- 📏 Extended Range (14 Miles)
- 📦 Super Flex Composite Deck

\$1,699
Price displayed includes shipping and duty.

Buy Now

Figura 18. Modelo Stealth.

Si comparamos ambos modelos, se aprecian claras diferencias en algunas características: la autonomía se ha establecido en la de mayor duración, 14 millas (22.5 kilómetros) y la potencia de los motores se ha aumentado a 2100 vatios. Esto propicia un aumento en la velocidad punta, que aumenta hasta 24 mph (38.6 km/h). También hay que mencionar que hay un aumento en el peso, que pasa de 15.6 a 17 libras (7.7 kilogramos). Esto se puede deber a factores como el aumento del tamaño en batería y ruedas, que pasan a tener un diámetro de 85 mm frente a los 80 mm del modelo anterior (Figura 17).

BOOSTED STEALTH			
SPECS			
Range	Up to 14 Miles	Top Speed	Up to 24 mph
Hill Climbing	Up to 25% Grade	Ride Modes	5 Ride Modes
Weight	17 lbs	Dimensions	11.3 in (W), 38.0 in (L), 5.7 in (H)
Power	2,100 Watts	Braking	Regenerative Brakes
Deck	Super Flex Composite Deck	Wheels	Boosted Stratus 85mm
Trucks	190mm CNC Precision Machined	App	iOS and Android™
Remote	Ergonomic Bluetooth® Remote	Charging Time	1 hr 45 min

Figura 19. Especificaciones modelo Stealth.

Vamos a analizar ahora una tabla comparativa de los diferentes modelos de la marca *Evolve*, mencionada anteriormente (Figura 20).

Como podemos observar, los modelos de la marca *Evolve* nos arrojan diferentes datos a los ya conocidos en los productos de *Boosted Boards*. Para empezar, la marca tiene disponible un modelo *Single Drive*, el cual posee un único motor de 2000 W de potencia, dato relevante que contemplar para los modelos *Single Drive*. Las versiones *Dual Drive* montan un conjunto de motores cuya potencia alcanza los 3000 W, asumiendo que se tiene en cuenta las potencias combinadas de ambos motores.

La autonomía de los distintos longboards también presenta dos configuraciones, una de mayor alcance que otra. En esta tabla nos muestran que sus baterías son de 36 voltios, y su capacidad es de 6.5, 7 ó 10 Ah dependiendo del modelo. Además, especifican que la distancia a recorrer disponible puede ser de hasta 35 km para las versiones con baterías de menor duración y hasta 50 km para la de mayor alcance. A primera vista, y teniendo en consideración las potencias que dicen tener los motores que montan, estos valores parecen un poco optimistas. Pero aun así se tendrán en cuenta para futuras referencias.

Otro dato importante es que el peso de estas tablas varía entre los 7.4 kg y los 8.8 kg. Será interesante observar el peso del prototipo una vez construido y comprobar si está dentro de estos rangos o no.





				
	GT STREET	GTX STREET	ONE BOARD	GT STREET
DECK MATERIAL	7-Ply Canadian Maple 2-Ply Bamboo Laminated	7-Ply Canadian Maple 2-Ply Bamboo	7-Ply Canadian Maple 2-Ply Bamboo Laminated	High-grade Custom Moulded Carbon Fiber & Kevlar
DECK LENGTH	38 Inches / 96 cm	38 Inches / 96 cm	37 Inches / 95cm	40 Inches / 102 cm
WHEEL BASE	29 Inches / 73 cm	29 Inches / 73 cm	26 Inches / 66 cm	33.5 Inches / 85 cm
TRUCKS	Black GT Super carve 306mm/12inch width	Black GT Super carve 306mm/12inch width	Black GT Super carve 306mm/12inch width	Black GT Super carve 306mm/12inch width
WHEELS	Black Evolve GT 83mm 76A for the GT street board. Also compatible with Loaded Longboard 80mm Kegels and Abec 11 flywheels (83mm, 90mm and 97mm) and Evolve 7" All terrain wheels for the All Terrain GT board.	Evolve 7" All terrain wheels for the All Terrain GTX board. Also compatible with the GTX board with the Street setup (available separately) is the black Evolve GT 97mm 76A, Loaded Longboard 80mm Kegels and Abec 11 flywheels (83mm, 90mm and 97mm).	Black Evolve GT 83mm 76A. Also compatible with Loaded Longboard 80mm Kegels and Abec 11 flywheels (83mm, 90mm and 97mm).	Black Evolve GT 83mm 76A for the GT street board. Also compatible with Loaded Longboard 80mm Kegels and Abec 11 flywheels (83mm, 90mm and 97mm) and Evolve 7" All terrain wheels for the All Terrain GT board.
MOTOR	3000 watt high performance custom made sensored dual brush out-runner motors.	Gold plated 3000 watt high performance custom made sensored dual brush out-runner motors.	2000 watt high performance custom made sensored dual brush out-runner motor.	3000 watt high performance custom made sensored dual brush out-runner motors.
BEARINGS	Abec 9 Evolve Speedballs Precision Bearings	Abec 9 Evolve Speedballs Precision Bearings	Abec 9 Evolve Speedballs Precision Bearings.	Abec 9 Evolve Speedballs Precision Bearings
BATTERY	36 Volt 6.5Ah Lithium Ion with custom BMS	Custom designed 36 volt 10AH Lithium Ion.	Custom designed 36 volt 7AH Lithium Ion.	36 Volt Lithium Ion with custom BMS
RECHARGE	Approx. 3.5hrs (Optional fast charger 80mins)	Approx. 4-5hrs (Optional fast charger 2.5hrs)	Approx. 3.5 hrs with standard charger (Optional fast charger 80mins)	Approx. 4-5hrs (Optional fast charger 3hrs)
WEIGHT	7.9kg/17lbs	8.8 Street GTX and 9.8kg All Terrain GTX.	7.4kg/16.3lbs	7.9kg/17lbs
RANGE	Approx. 35km/21miles	Up to 50km/31miles on the Street GTX. Up to 30km/18.5miles on the All terrain GTX. Varies depending on rider weight, terrain and riding style	Up to 35km/21miles range per charge for 85kg rider (varies depending on rider weight and terrain/inclines)	Approx. 50 km, 31 miles
TOP SPEED	Approx. 36-42km/hr, 22-26mph	Approx. 42kph/26mph on the street GTX depending on wheel size Approx. 35-41kph/22-25mph on the All Terrain GTX . Speeds may vary depending on rider weight and terrain	Approx. 36kph/22mph. Can reach up to 42km/hr/26m/hr if using a larger size wheel. This may vary depending on rider weight, battery voltage and terrain	Approx. 36-42km/ph, 22-26mph
MAX LOAD	100 kg / 220 lbs	100 kg / 220 lbs	100 kg / 220 lbs	100 kg / 220 lbs

Figura 20. Tabla comparativa modelos Evolve.

Hay una característica que no se ha mencionado antes, y merece la pena comentarla. Todos los modelos que se han investigado en esta búsqueda transmiten la potencia del motor a las ruedas mediante unas poleas dentadas y una correa. Es un método

bastante sencillo y práctico que permite a las compañías realizar una rápida reparación sustituyendo la correa en caso de que fuese necesario.

Como conclusión de la investigación, quedan aquí resumidas las características técnicas que debemos tener en cuenta a la hora de construir el prototipo:

- Potencia del motor
- Autonomía. Capacidad de la batería
- Velocidad punta
- Peso
- Tipo de transmisión de potencia

A continuación, se procede a desarrollar el prototipo eligiendo sus componentes y ensamblándolos para conformar el longboard eléctrico.

Capítulo 3. Desarrollo del prototipo inicial

Ahora que ya se posee un conocimiento más extendido de este tipo de vehículos eléctricos, desde los componentes del longboard común hasta las características técnicas de las versiones electrificadas, podemos empezar a definir las características del prototipo que se presenta en este trabajo.

3.1 Modelo 1. Introducción

Con el objetivo de simplificar la construcción y evitar problemas técnicos innecesarios en esta primera etapa de diseño, se decide elegir las siguientes características técnicas para el prototipo:

- **Single Drive.** Se opta por la configuración con un solo motor de al menos 2000 W de potencia. Como los componentes electrónicos a utilizar son los de tipo radiocontrol por ser muy abundantes y fáciles de encontrar, esta configuración es la más popular en estos sistemas.
- **Autonomía.** Se ha decidido utilizar la versión extendida de 10 Ah que se instala en algunos modelos de la marca Evolve. Sin embargo, se adaptará el voltaje de la batería a las especificaciones del resto de los componentes electrónicos de forma que puedan funcionar correctamente.
- **Tipo de transmisión.** Se va a emplear una transmisión de poleas dentadas y correa, por ser económica y fácil de reparar en caso de fallo.

Teniendo estos datos en cuenta, procedemos a la selección de los componentes eléctricos y mecánicos que harán funcionar nuestro prototipo de longboard eléctrico.

3.2 Componentes eléctricos

Para obtener estos componentes se va a realizar las compras en la página de la empresa *HobbyKing*, que tiene más de 10 años de experiencia en el mercado del aeromodelismo, y posee uno de los mayores surtidos de productos especializados.



Figura 21. Logo de HobbyKing.

3.2.1 Motor

Comenzamos la selección buscando un motor adecuado para el propósito de este proyecto. El motor seleccionado es un motor sin escobillas (*brushless*) sin sensor de posición. Algunos motores más actuales incluyen este sensor para indicarle al controlador la posición en la que se encuentra el motor, permitiéndole al variador realizar un mejor control sobre la aceleración y la frenada.

Sus especificaciones son:

Marca: Turnigy

Modelo: SK3-6364-245KV.

Bobinado: 14T (*Turns*, espiras)

Voltaje máximo: 42V, 10S con baterías de tipo Li-XX

RPM/V: 245KV

Resistencia interna: 0.018 Ohm

Amperios máximos: 70A

Potencia máxima: 2700W

Diámetro del eje: 8.0mm

Cota entre agujeros roscados: 32mm

Paso de rosca: M4

Peso: 718g

Conector: 4mm conector tipo banana



Figura 22. Motor Turnigy SK3.

Puesto que no se ha tenido ninguna experiencia anterior con motores de este tipo, y teniendo como objetivo asegurar el funcionamiento del monopatín minimizando los costes del prototipo, se ha decidido seleccionar este motor, cuya potencia máxima supera los 2000 W. Se espera que así tenga fuerza suficiente para propulsar al Skater.

3.2.2 Variador de potencia

El variador o ESC (*Electronic Speed Controller*) es el cerebro electrónico del sistema. Controla la velocidad del motor, el consumo y nivel de batería. Posee protecciones contra sobrecalentamiento y cortocircuito, contra la descarga excesiva de la batería y alerta por pérdida de señal de radio. Dependiendo del modelo, pueden llevar un pequeño regulador de voltaje e intensidad, llamado BEC (*Battery eliminator circuit*) que se utiliza para alimentar la electrónica de comunicaciones (transmisor de radio) u otros elementos como luces o servomotores. Para seleccionar un variador de forma correcta hay que tener en cuenta un requisito esencial: que pueda soportar la cantidad de amperios máxima que es capaz de consumir el motor de forma continua (70 amperios en nuestro caso). Teniendo esto en consideración, el modelo seleccionado es un variador de coche a radio control, el HobbyKing X-Car Beast Series ESC 1:8 Scale 120 A.

Características técnicas:

Capacidad de carga nominal: 120A

Corriente máxima (durante 10 seg.):
760A

Resistencia: 0.0003 Ohms

Tipo de motor recomendado: Motor sin escobillas de 4 polos con o sin sensor

Salida BEC: 6.0V ó 8.4V ajustable.
Corriente máx.: 3A

Batería: 2 a 6S Li-Po 5 a 18S NiMH/NiCd

Dimensiones: 55x48x37 mm

Peso: 145g



Figura 23. Variador X-Car 120A.

Como se puede observar en las características técnicas, este variador está preparado para trabajar con hasta 120 amperios de forma continua y soporta picos de hasta 760 amperios con una duración máxima asegurada de hasta 10 segundos.

Cabe mencionar que el motor seleccionado es de 4 polos y sin escobillas, de forma que es totalmente compatible con este variador.

3.2.3 Batería

Para poder abordar el problema de la batería se necesita un ejemplo al cual nos podamos referir, por tanto, se muestra a continuación la batería que ha sido seleccionada (Figura 24). Esta batería de la marca Turnigy es una batería de Litio-Polímero y ha sido seleccionada por su bajo coste y capacidad de descarga.

Capacidad mínima: 5000mAh

Configuración: 3S1P / 11.1V /
3Celdas

Descarga constante: 20C

Pico de descarga (10s): 30C

Peso: 360g

Dimensiones: 143*51*23mm

Conector de carga: JST-XH

Conector de descarga: HXT de
4mm



Figura 24. Batería Turnigy de 3S y 5000 mAh.

Vamos a comentar algunas características. Para empezar, la capacidad de las baterías se mide en miliamperios/hora (mAh de forma abreviada). Este valor nos permite mediante un cálculo sencillo, sabiendo el consumo que se va a tener, averiguar la duración aproximada de esa batería. Un ejemplo: la capacidad de la batería mostrada es de 5000 mAh, o lo que es lo mismo, de 5 Ah. Si tenemos un consumo continuo de 1 A, esta batería en concreto tardaría en vaciarse por completo 5 horas.

La siguiente característica es muy útil para saber cómo está construida la batería. Y es que este producto no se puede nombrar “batería” como tal, sino que es un “Pack de baterías” y está compuesto por varias baterías unitarias, llamadas celdas. Cada celda fabricada de Litio-XX posee un voltaje nominal de 3.7 voltios, el cual

aumenta hasta 4.2 V cuando está completamente cargada. Otro sencillo ejemplo: la configuración de este pack es 3S1P. La S hace referencia al número de celdas conectadas en serie, mientras que la P hace referencia al número de celdas conectadas en paralelo. Por tanto, esta batería o pack de baterías está formado por 3 celdas conectadas en serie, sin conexiones en paralelo, ya que se necesitan mínimo dos packs para realizar ese tipo de conexión. 3 celdas conectadas en serie nos proporcionan un voltaje acumulado nominal de 11.1 V, como muestra la tabla de características.

La capacidad de descarga no es más que una forma de cuantificar cuanta corriente es capaz de soportar en descarga la batería de forma continua o en un caso de pico de corriente. La unidad de medida es la C y está relacionada directamente con la capacidad de la batería. Una unidad C son los amperios a los que se tiene que descargar la batería para que su duración se limite a una hora. En nuestro caso, batería de 5 Ah, si descargamos a 5 A la duración se limita a una hora. Por tanto, siendo el valor de descarga constante y de pico de 20 C's y 30 C's respectivamente, obtenemos unas corrientes de 100 A de forma continuada y de 150 A de pico.

Una vez aclaradas las propiedades de los packs de baterías, podemos proceder a la selección. Para seleccionar el voltaje de la batería que necesitamos tenemos que analizar dónde se encuentra el cuello de botella en esta instalación. Para ello observamos las características de los elementos que tenemos hasta ahora. En el caso del motor, este es capaz de trabajar con hasta un máximo de 10S, es decir, 37 V de nominal y un máximo de 42 V con las celdas cargadas. Sin embargo, el variador solo puede funcionar a un máximo de 6S (25.2 V máximo). Por tanto, es el variador el que limita el voltaje máximo que podemos emplear.

Utilizando packs de baterías como el de la imagen (Figura 24), vamos a realizar un pack superior con una configuración 6S2P. El proceso es el siguiente: Se unen dos baterías de 3S en serie formando un pack de 6S. Este proceso se realiza dos veces, de forma que obtenemos dos packs de 6S1P. Ahora sólo nos queda conectar estos dos packs en paralelo para formar el pack definitivo de 6S2P. De esta forma tenemos un pack de 22.2 V nominales y 25.2 V una vez cargado, con una capacidad de 10000 mAh. El motivo por el que se realiza una conexión en paralelo no es más que por aumentar la autonomía del prototipo, con el objetivo en mente de que al menos pueda alcanzar a los productos acabados analizados en el capítulo 2.2.

3.2.4 Emisora y receptor

La emisora utilizada es la Quantum 2.4 Ghz de 3 canales. Este dispositivo es el mando de control del usuario. Existen varios modelos. Principalmente permite controlar la velocidad, pero dispone de otras opciones, como visualizar el estado de la batería, o encender y apagar unas luces, por ejemplo. Todo esto depende del número de canales de los que disponga. En nuestro caso dispone de 3 canales y funciona a la frecuencia de 2.4 GHz (Figura 25).

Esta emisora incluye el receptor, un transmisor que se instala en el interior del monopatín y se encarga de comunicarle la señal de la velocidad procedente de la emisora al variador (Figura 26). También posee las salidas para los otros canales (luces para iluminación, o servomotores para mover partes articuladas en el caso de las maquetas de aeromodelismo o coches de radiocontrol). Se alimenta de la batería principal a través del BEC del variador. Si el variador no posee un BEC integrado es necesario adquirir este circuito aparte para poder alimentar el receptor adecuadamente.



Figura 25. Emisora de 3 canales a 2.4GHz.



Figura 26. Receptor incluido con la emisora.

3.2.5 Cables

Para esta instalación se van a utilizar dos tipos de cables:

- Cables para alta intensidad clase 12 AWG recubiertos de silicona. Se han utilizado para las conexiones de la batería (Figura 27 y Figura 28).
- Cables estándar clase 20 AWG para el cableado de las conexiones de balanceo de celdas de las baterías (Figura 29 y Figura 30).



Figura 27. Cable 12AWG rojo.



Figura 28. Cable 12AWG negro.



Figura 29. Cable 20AWG rojo.



Figura 30. Cable 20AWG gris.

3.2.6 Conectores

Los conectores que vamos a emplear son los siguientes:

- Conectores tipo XT90. Para la conexión y desconexión de la batería (Figura 31). Corriente máxima constante: 90 A
- Conectores banana bañados en oro de 4 mm. Para la conexión del motor con el variador (Figura 32).
- Conectores tipo JST-XH para los cables de balanceo de las celdas de las baterías (Figura 33).
- Conectores tipo HXT de 4 mm para poder conformar el pack de baterías final (conexiones en serie y en paralelo de la batería, Figura 34).



Figura 31. Conectores XT90.



Figura 32. Conectores banana de 4mm.

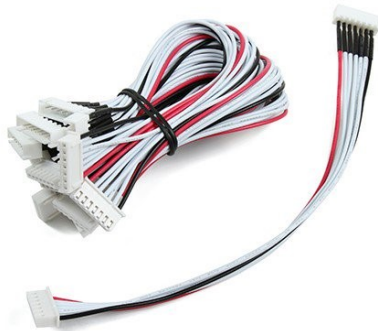


Figura 33. Conectores JST-XH.



Figura 34. Conectores HXT de 4mm.

3.3 Componentes mecánicos para la transmisión

Tal y como se ha mencionado al inicio de este capítulo, se ha decidido emplear el conjunto poleas-correa para realizar la transmisión de potencia desde el motor a la rueda.

Para la polea directora, la que se mueve de forma solidaria con el motor, se ha decidido emplear una polea de aluminio, de 15 dientes, por su reducido tamaño y por su resistencia a las fuerzas a las que estará sometida (Figura 35).

La transmisión se realizará mediante una correa tipo HTD-5M de 15 mm de anchura, de caucho reforzado con fibras, ideal para este tipo de aplicaciones (Figura 36).



Figura 35. Polea directora.



Figura 36. Correa tipo HTD-5M.

Relación de transmisión entre polea directora y polea dirigida

Con los datos técnicos que se poseen tanto del motor como de la batería a utilizar, se puede obtener mediante un sencillo cálculo la velocidad máxima en vacío que es capaz de alcanzar el motor con los componentes seleccionados:

$$\text{Datos} \begin{cases} \text{Motor: } 245 \text{ KV (rpm/V)} \\ \text{Batería: } 6S * 4.2 \frac{\text{V}}{\text{celda}} = 25.2 \text{ V} \end{cases}$$

Por tanto,

$$\text{Velocidad máx. en vacío: } 245 \text{ KV} * 25.2 \text{ V} = 6174 \text{ rpm}$$

Sabiendo el diámetro de la rueda y asumiendo una relación de transmisión de 1:1 para las poleas, podemos obtener la velocidad que alcanza la rueda del longboard cuando el motor no tiene carga (los rozamientos de correa y poleas se asumen despreciables):

Diámetro de la rueda de serie: 60 mm → *Perímetro: $2\pi * 0.06 m = 0.377 m$*

Así pues,

$$\begin{aligned} \text{Velocidad máx. en vacío del longboard: } & 0.377 m * \left(\frac{6174}{60}\right) rps = 38.8 \frac{m}{s} \\ & = 139.6 km/h \end{aligned}$$

Tras observar los resultados, resulta lógico pensar que estas velocidades jamás se van a alcanzar en la realidad ya que los esfuerzos a los que va a estar sometido este motor (principalmente el peso del skater, además del peso del propio monopatín) son muy superiores a los valores de carga prácticamente nulos que tiene el motor en vacío. Sin embargo, tras varios testimonios de usuarios que han utilizado este tipo de vehículos con una relación de transmisión 1:1, se asegura que las velocidades que se alcanzan son muy altas, y peligrosas para este tipo de vehículos, por lo que se realizará una reducción en la transmisión que permita disminuir estas velocidades, además de aumentar el par en la rueda, aliviando así el estrés al que posiblemente se someta el motor.

3.4 Diseño y construcción

En este apartado se comentan los pasos que se han seguido para construir el prototipo, solventando los problemas que iban apareciendo por el camino aplicando conocimientos de mecánica y diseño. Para este propósito se decidió emplear como herramienta una impresora 3D, por su versatilidad y las grandes posibilidades que ofrece en el campo del prototipado.

La impresora utilizada ha sido construida y modificada por el propio autor de este proyecto, con su correspondiente aprendizaje sobre impresión en 3D, necesario para sacarle el máximo partido a esta gran herramienta.

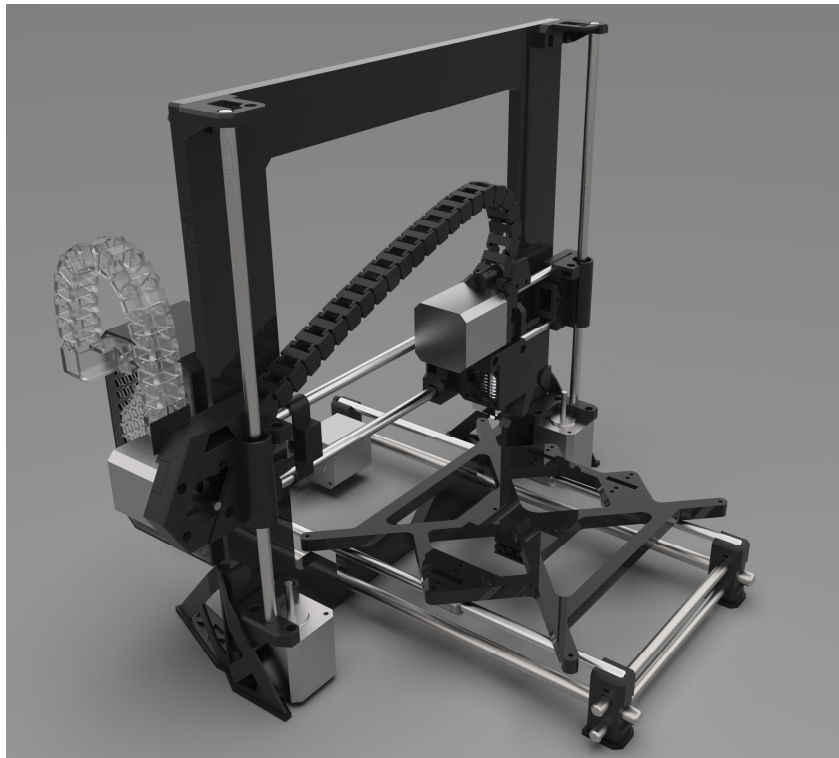


Figura 37. Modificaciones diseñadas para la impresora.

El material que se va a emplear para crear las piezas es PLA (Ácido Poliláctico) por su facilidad de impresión, ya que posee una gran dureza y su nivel de contracción al enfriarse es mínimo, permitiendo imprimir piezas grandes sin que se deformen durante el proceso.

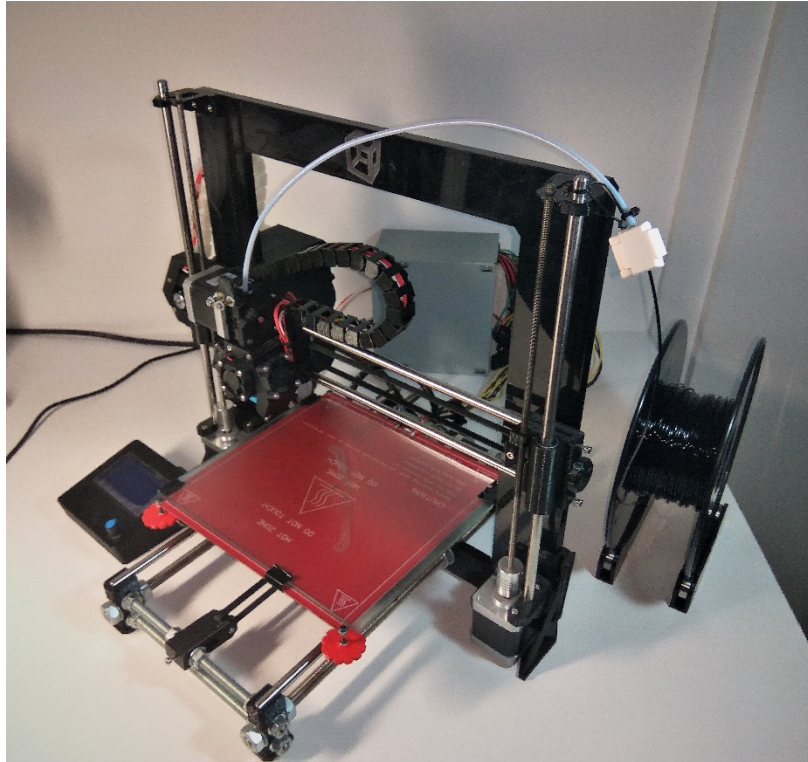


Figura 38. Impresora utilizada.

3.4.1 Diseño del soporte del motor y la transmisión

A la hora de diseñar el soporte del motor, la función del cual es sujetar este a la percha del truck trasero del longboard, se ha tenido la oportunidad de utilizar una fresadora CNC como herramienta para fresar una plancha de aluminio de 8 mm de espesor. Por tanto, se ha diseñado esta pieza teniendo en cuenta esa información (Figura 39). Dada la forma irregular y asimétrica de la percha en el punto de unión, resulta difícil instalar el soporte del motor sin más teniendo en cuenta la importancia que tienen los paralelismos de los planos entre el eje de la rueda y el del motor para una correcta transmisión. Para ello se ha diseñado una abrazadera en 3D, que se adaptaba a la forma irregular de la percha y permite instalar el soporte de aluminio perpendicular a ambos ejes (Figura 40). La forma parecida a un engranaje que hay entre el soporte de aluminio y la abrazadera es para permitir colocar el soporte en distintas posiciones y así ajustar su distancia mínima respecto de la tabla, con el objetivo de evitar rozaduras cuando esta se incline en los giros. Este conjunto utiliza tornillos y tuercas autoblocantes para su fijación, además de tres tornillos prisioneros que evitan que la abrazadera de plástico se desplace de su posición debido a la forma cónica que tiene el extremo de la percha donde va alojada.

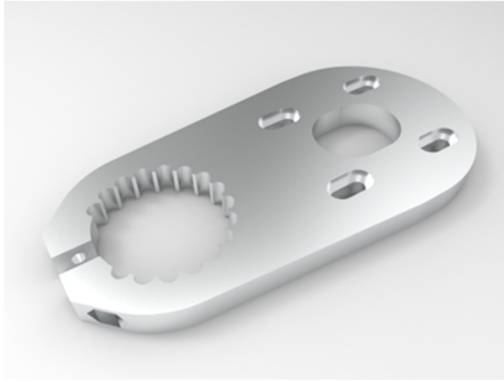


Figura 39. Soporte de motor fresado en aluminio.



Figura 40. Abrazadera de plástico.

Para la transmisión, se ha tenido en cuenta las dimensiones de la polea de aluminio acoplada en el motor, es decir, la polea directora, y las dimensiones de la rueda donde debe ir la polea dirigida. Tras obtener información sobre los métodos que emplean algunos usuarios de internet para unir la polea dirigida a la rueda como, por ejemplo, perforar la goma de poliuretano de la rueda para pasar varios tornillos y así asegurar la polea con tuercas y arandelas, se ha decidido que estos métodos son poco profesionales y no garantizan durabilidad, ya que la cubierta de poliuretano de la rueda se desgasta con el uso. Además, dado que se quiere aplicar una reducción en la transmisión, la polea dirigida tiene que poseer mayor número de dientes, y por tanto mayor diámetro. Esto complica su instalación en una rueda de 60 mm, sin agujeros ni huecos que aprovechar para su fijación, por no hablar del espacio inexistente entre el suelo y la correa una vez instalada en la polea.

Ante esta situación la única solución que contempla todos los requisitos es sustituir las ruedas de serie por otras de mayor tamaño, de forma que el eje se distancie del suelo, permitiendo tener una separación entre este último y la correa, evitando rozamientos innecesarios. Además, las ruedas de mayor tamaño poseen llanta y cubierta, con la posibilidad de que la llanta contenga agujeros o huecos aprovechables para fijar la polea con más facilidad.

Con esto en mente, se han obtenido estas ruedas (Figura 41), de 113 mm de diámetro y 64 mm de ancho, con núcleo de nylon y cubierta de caucho macizo. La llanta posee tres agujeros de métrica 5 los cuales se aprovecharán para instalar 3 tornillos que fijen la polea a la rueda. En la imagen (Figura 46) se puede observar el montaje.



Figura 41. Ruedas nuevas de caucho.

Con unas ruedas ya aptas para la instalación se diseña la polea dirigida, de 36 dientes lo que nos proporciona una relación de transmisión de 2:1 aproximadamente (Figura 42). Para facilitar su instalación se ha diseñado una pieza que encaja exactamente con la forma de la llanta de la rueda, permitiendo distanciar la polea unos milímetros del neumático y así evitar que la correa roce con él (Figura 43).

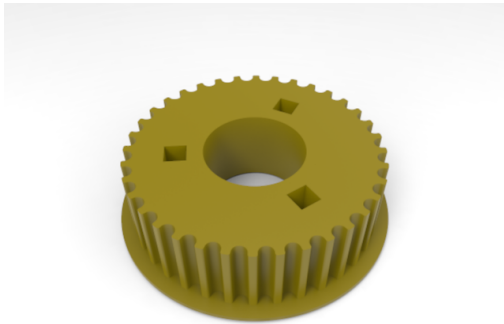


Figura 42. Polea dirigida.

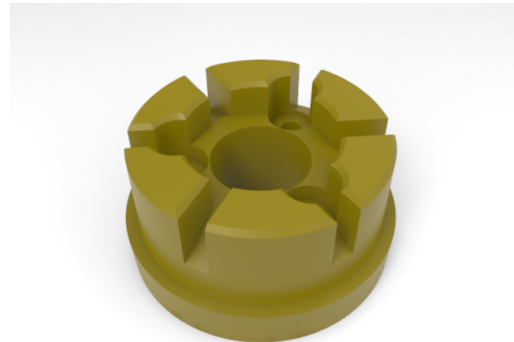


Figura 43. Soporte para polea dirigida.

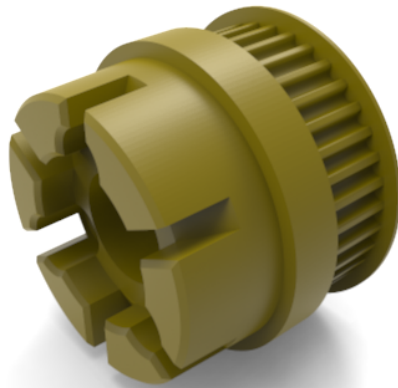


Figura 44. Conjunto soporte y polea.

Una vez diseñadas todas las piezas, el soporte de motor ensamblado queda de la siguiente manera:

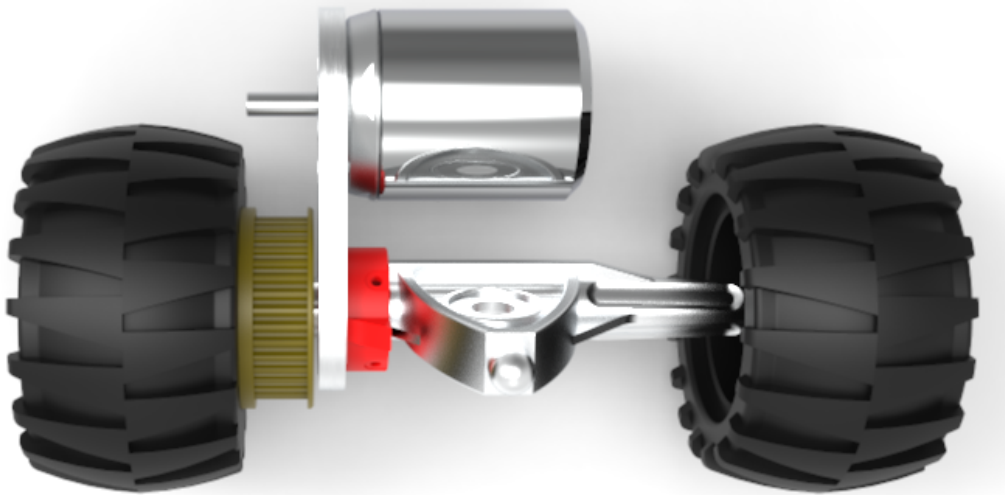


Figura 45. Ensamblaje del soporte del motor sobre la percha.

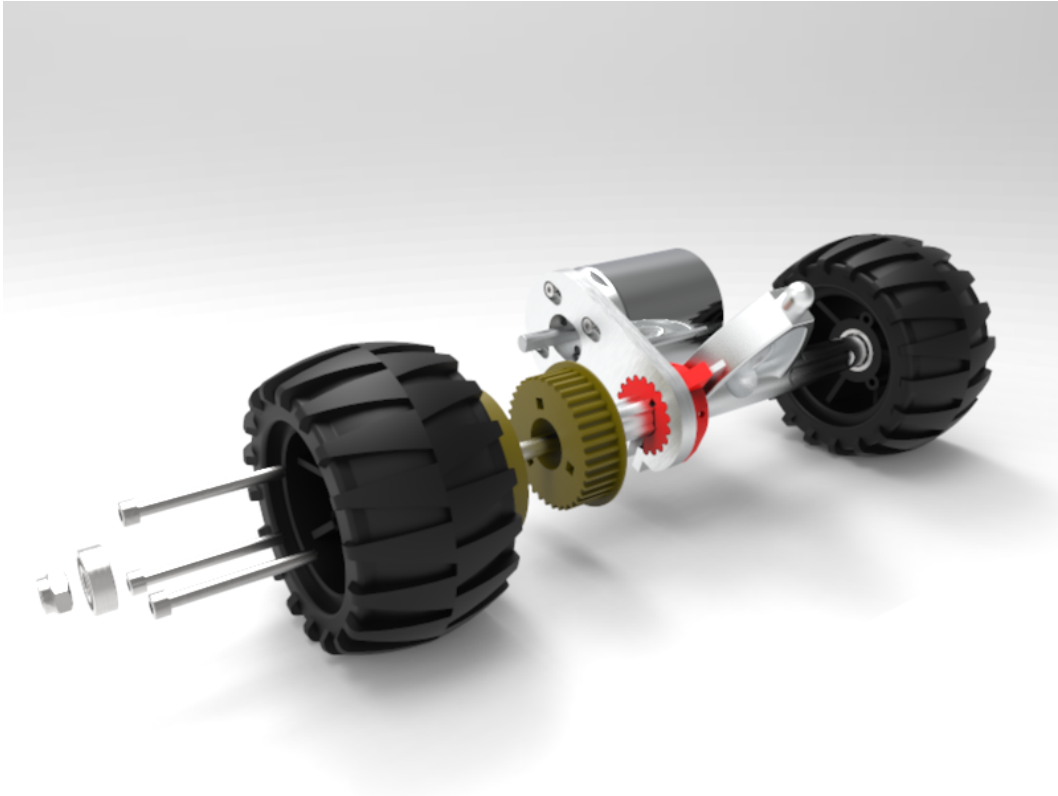


Figura 46. Soporte del motor - Despiece del montaje.



Figura 47. Soporte del motor - vista desde atrás.

3.4.2 Diseño de la carcasa para la electrónica

Dado que la parte de arriba de la tabla, donde se encuentra la lija, es la zona donde se coloca el skater, es mejor dejarla despejada para que el usuario pueda colocar sus pies por toda la superficie con comodidad a fin de controlar el longboard de la forma más efectiva posible. Se decide entonces instalar la electrónica en la parte inferior, ya que no interfiere con el manejo del vehículo durante su uso. Con el objetivo de cubrir la electrónica y protegerla frente a impactos, polvo, agua u otros elementos, se diseña una carcasa para cumplir esta función.

La carcasa empleada en este prototipo se ha diseñado de forma modular por dos motivos. El principal es que para piezas 3D de gran tamaño estamos limitados por el volumen de impresión de la impresora 3D utilizada, el cual no puede sobrepasar un cubo de 180 mm de ancho por 186 mm de alto por otros 180 mm de profundo. El otro motivo es la versatilidad de una pieza modular, pudiéndose instalar tantos módulos como sea necesario hasta cubrir toda la electrónica, o elegir su número dependiendo del espacio disponible en la tabla (Figura 48). El módulo diseñado posee un cierre articulado que permite abrir la cubierta mediante unas bisagras alojadas en uno de los laterales.

El motivo de diseñar una cubierta de fácil acceso es para permitir realizar posibles modificaciones durante su instalación, mediciones sobre los componentes o incluso reparaciones si fuese necesario. En nuestro primer prototipo es importante que sea fácil acceder a toda la instalación.

Como se dispone de espacio suficiente, se van a instalar cuatro módulos que nos permitirán variar y reorganizar la distribución de los componentes. Al añadir módulos, las tapas de los extremos se separan y se instalan todas las cubiertas negras juntas. De esta manera el espacio interior queda comunicado entre los módulos para mayor aprovechamiento.

A continuación, se pueden observar varias imágenes en detalle del diseño de la carcasa para el prototipo.

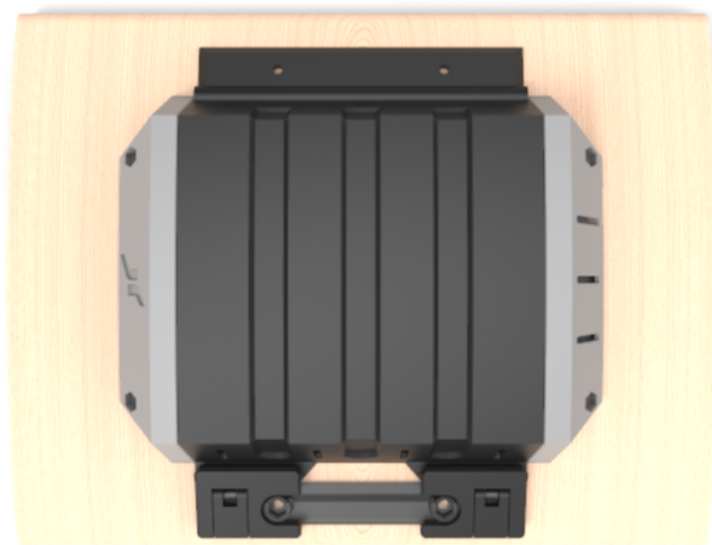


Figura 48. Carcasa modular.



Figura 49. Carcasa completa con los 4 módulos.

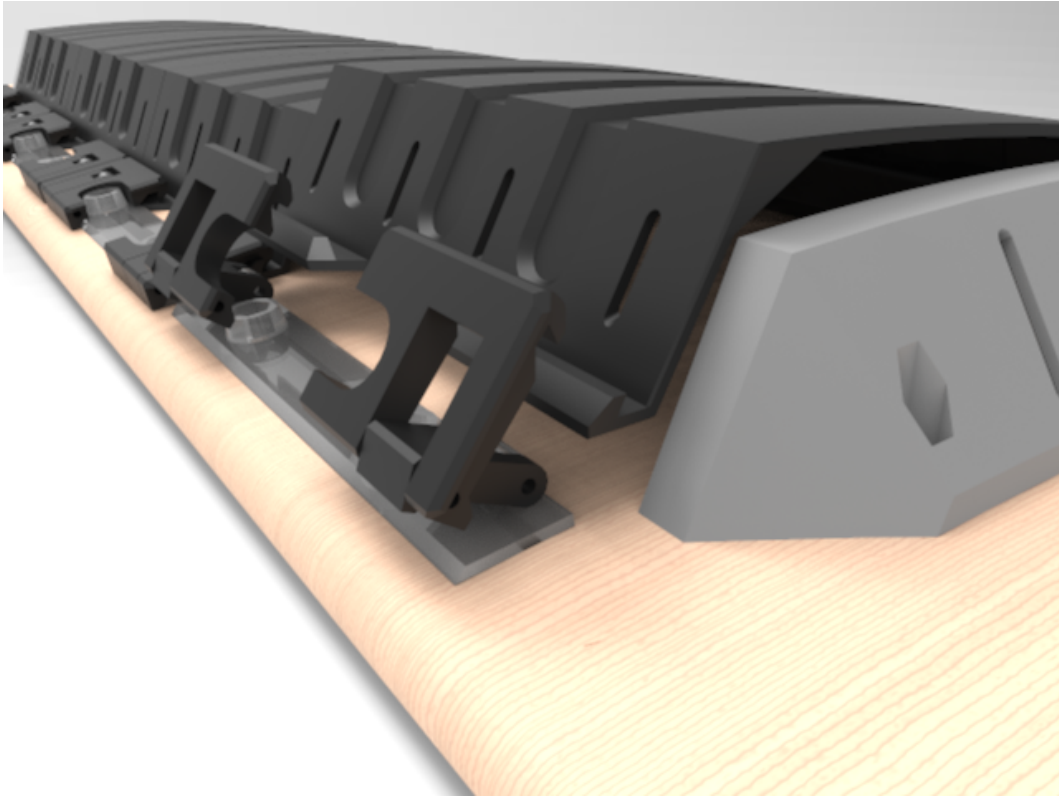


Figura 50. Detalle del cierre de la carcasa.

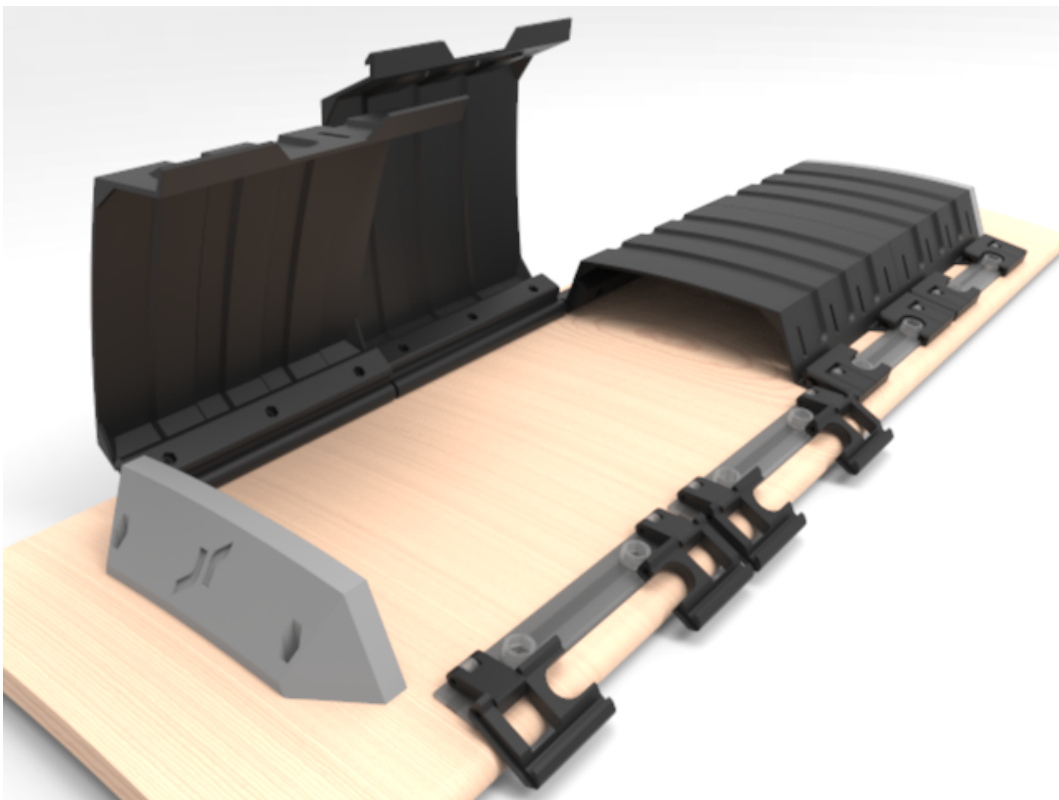


Figura 51. Carcasa abierta.

Durante la fabricación de la carcasa, se ha observado que uno de los componentes presenta problemas a la hora de instalarlo.

El variador, mientras está activo, posee un pequeño ventilador que se mantiene en funcionamiento en todo momento y se encarga de refrigerar su electrónica. Este ventilador se encuentra instalado en la parte superior de la propia carcasa del variador, haciendo que la altura de este supere la de la carcasa diseñada para cubrir los componentes en la tabla. Puesto que además la entrada de aire del ventilador se encuentra situada también en la parte superior, se necesita cierto espacio libre para permitir el flujo de este. En primera instancia se propuso retirar el ventilador, dejando el ESC únicamente con el disipador de aluminio que viene integrado. Pero se ha considerado que la refrigeración del variador es una parte importante del funcionamiento para asegurar la duración de los componentes electrónicos del mismo, por tanto, se ha decidido modificar uno de los módulos de la carcasa, creando una protuberancia en la cubierta del módulo para permitir la instalación del variador con ventilador incluido (Figura 52, Figura 53 y Figura 54).

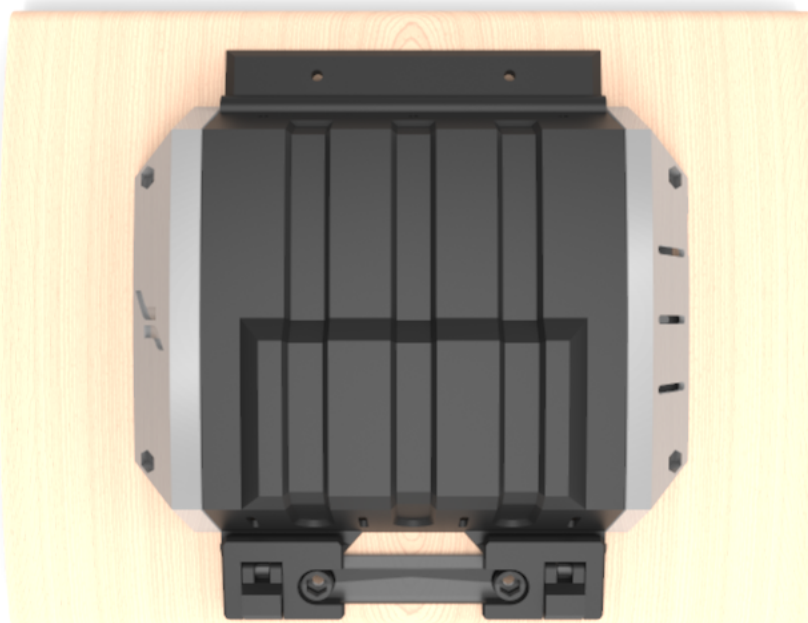


Figura 52. Módulo adaptado para el ESC.

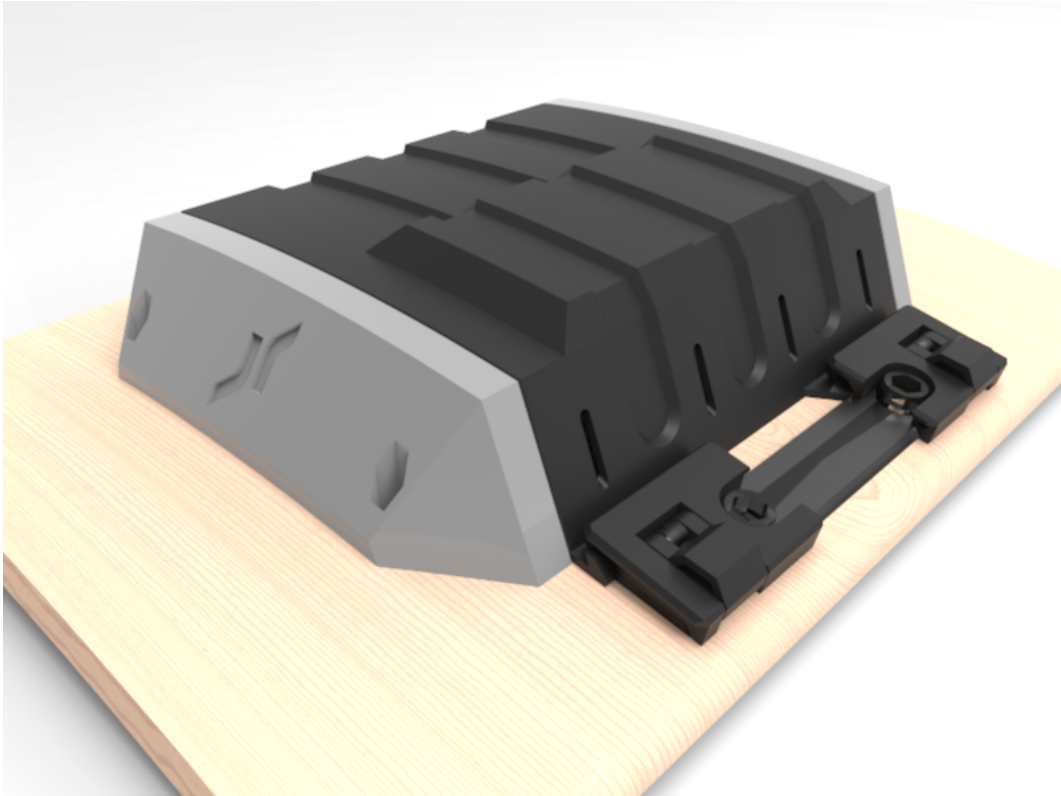


Figura 53. Detalle de la modificación.

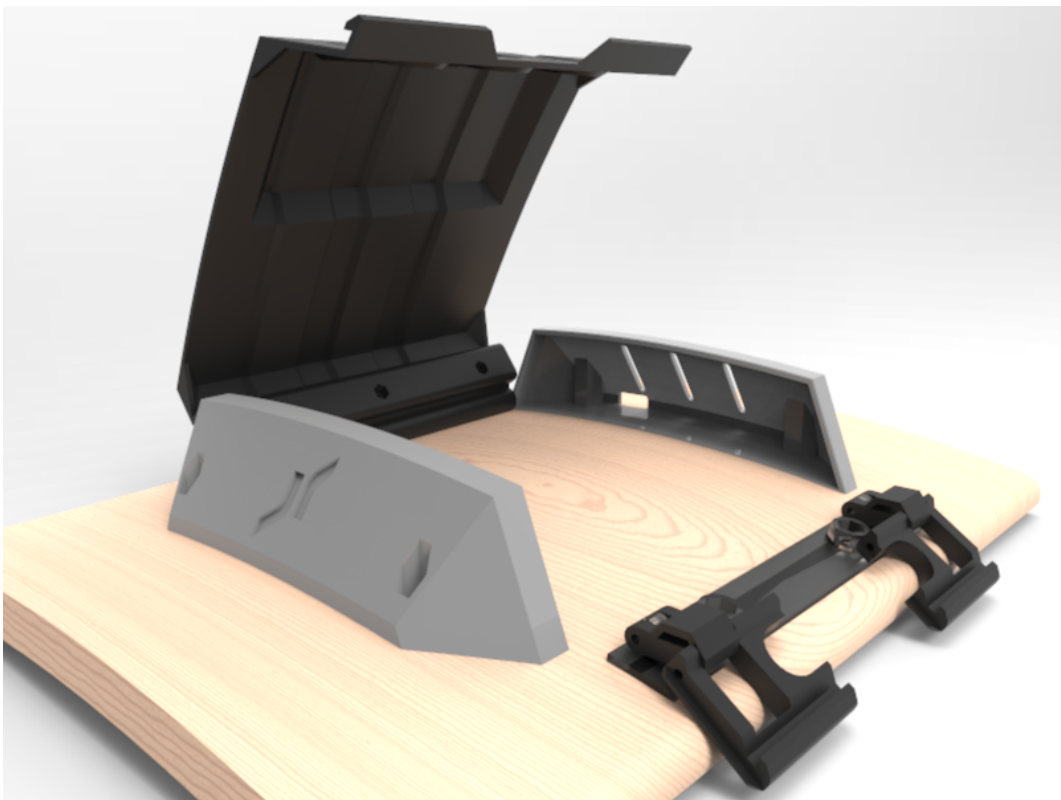


Figura 54. Módulo abierto.

3.4.3 Modificación de la emisora

La emisora utilizada en este proyecto está diseñada para facilitar su uso en actividades de coches a radio control. Tiene un gatillo para el acelerador, una rueda para controlar el giro y una serie de potenciómetros y botones que permiten calibrar su uso. Todo ello se comunica con el receptor a través de tres canales de distintas frecuencias. Además, el diseño de este tipo de emisora está optimizado para que se utilicen ambas manos (lo cual es normal en emisoras de radio control).

Ahora bien, para nuestro proyecto únicamente necesitamos un canal, el del acelerador. Y para dirigir cómodamente el longboard nos interesa que el mando se pueda utilizar con una sola mano. La emisora se puede utilizar tal y como es, pero puede resultar interesante simplificar su diseño y reducir su tamaño.

Para este propósito se ha desmontado la emisora y se ha analizado su circuitería. En el canal que nos interesa se encuentran el potenciómetro bidireccional que hace de acelerador y freno, un botón que permite invertir el giro del motor (marcha atrás) y un potenciómetro que sirve para calibrar el punto muerto del acelerador. El resto de botones y potenciómetros no son necesarios, por tanto, podemos retirar de la placa aquellos que nos permitan simplificar el diseño, como por ejemplo los potenciómetros que se utilizan para la dirección del vehículo de radio control. De esta forma eliminamos la rueda de giro y su dial de calibración. Para reducir el tamaño del mando, se cambia la orientación de la electrónica y las baterías, consiguiendo así la reducción de tamaño.

Como resultado se obtiene el mando que se ha utilizado con el prototipo para la realización de las pruebas. A continuación quedan las imágenes de su diseño.

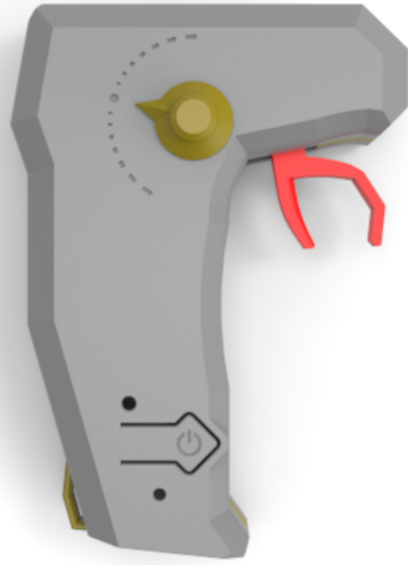


Figura 55. Mando nuevo.

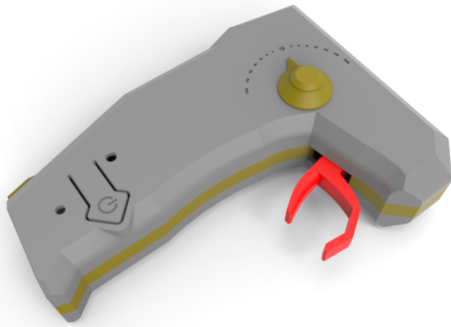


Figura 56. Mando nuevo – Cara frontal.

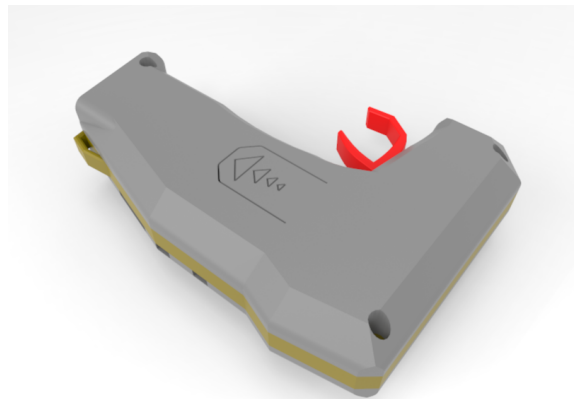


Figura 57. Mando nuevo - Dorso.

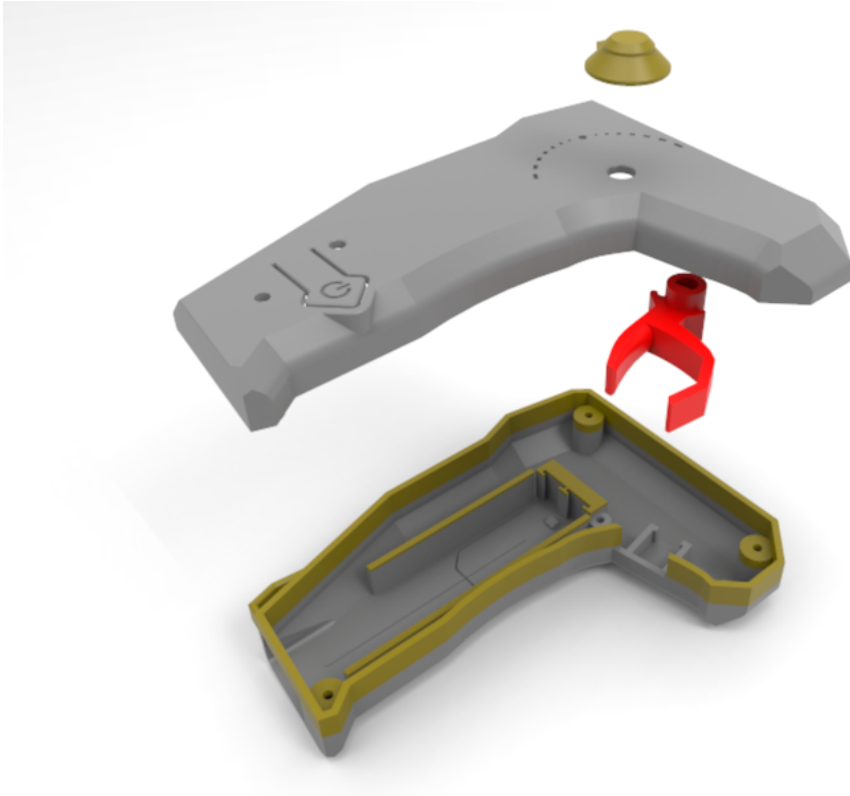


Figura 58. Despiece del mando.

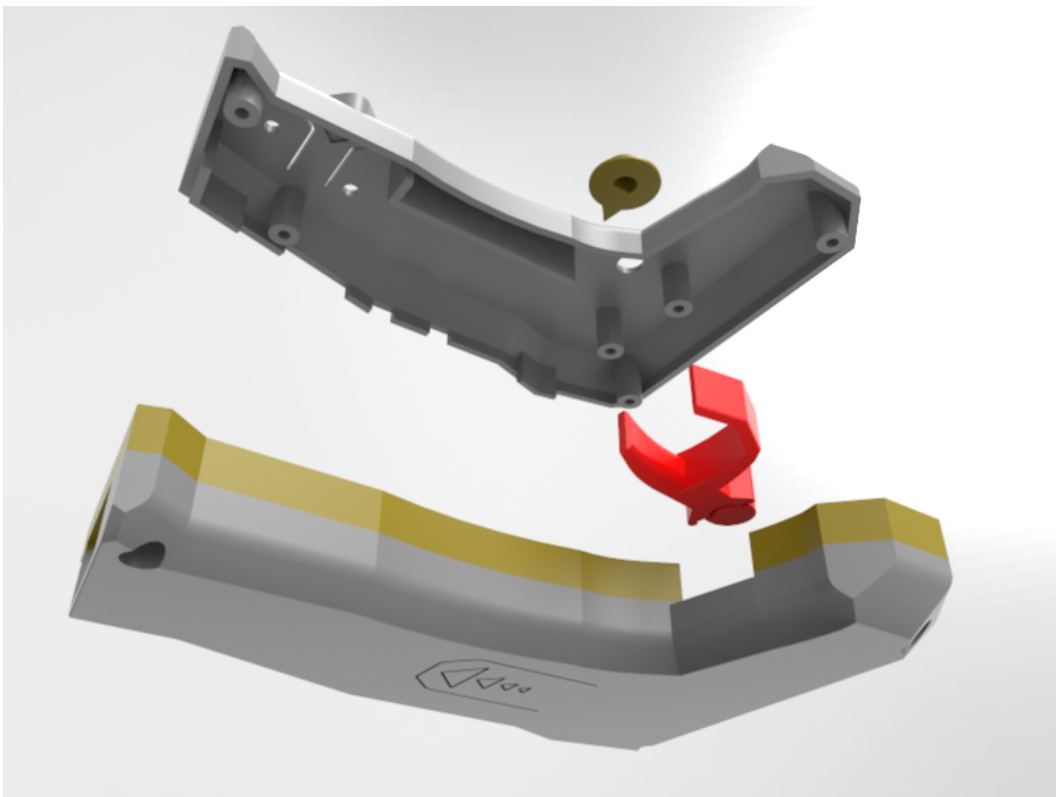


Figura 59. Despiece del mando – vista desde abajo.

3.4.4 Instalación de la electrónica

A la hora de fijar la electrónica al longboard, la instalación presentaba una serie de problemas. La tabla, en el momento el skater se posa sobre ella, flexa debido al peso y se somete a distintas fuerzas, que son de tracción en la parte inferior y de compresión en la superior (Problema simple de estructuras: viga con apoyos equidistantes en los extremos y carga en el centro). Las baterías son elementos delicados, que bajo ningún concepto deben deformarse ya que esto podría deteriorar los componentes químicos, estropeándolas o incluso haciéndolas estallar. Por este motivo fijaciones rígidas como abrazaderas ancladas a la tabla o similares quedan descartadas. Se necesita una sujeción flexible, que permita colocar y retirar las baterías para poder sustituirlas, dado que se deterioran con el uso. En aeromodelismo, las baterías se fijan a la maqueta mediante un velcro adhesivo de alta calidad (Figura 60). Esta solución es muy práctica y válida en nuestro caso, ya que el adhesivo se puede adherir a la tabla, adaptándose bien a su curvatura gracias a que el propio velcro es flexible. Además, asegura una unión duradera que siempre se puede separar en caso de necesidad.



Figura 60. Tiras adhesivas de Velcro.

Por tanto, se instala en toda la superficie de la tabla que está en el interior de la carcasa una capa de velcro (Figura 61), y se colocan en todos los componentes recortes del mismo adaptados a los diferentes tamaños de las piezas.

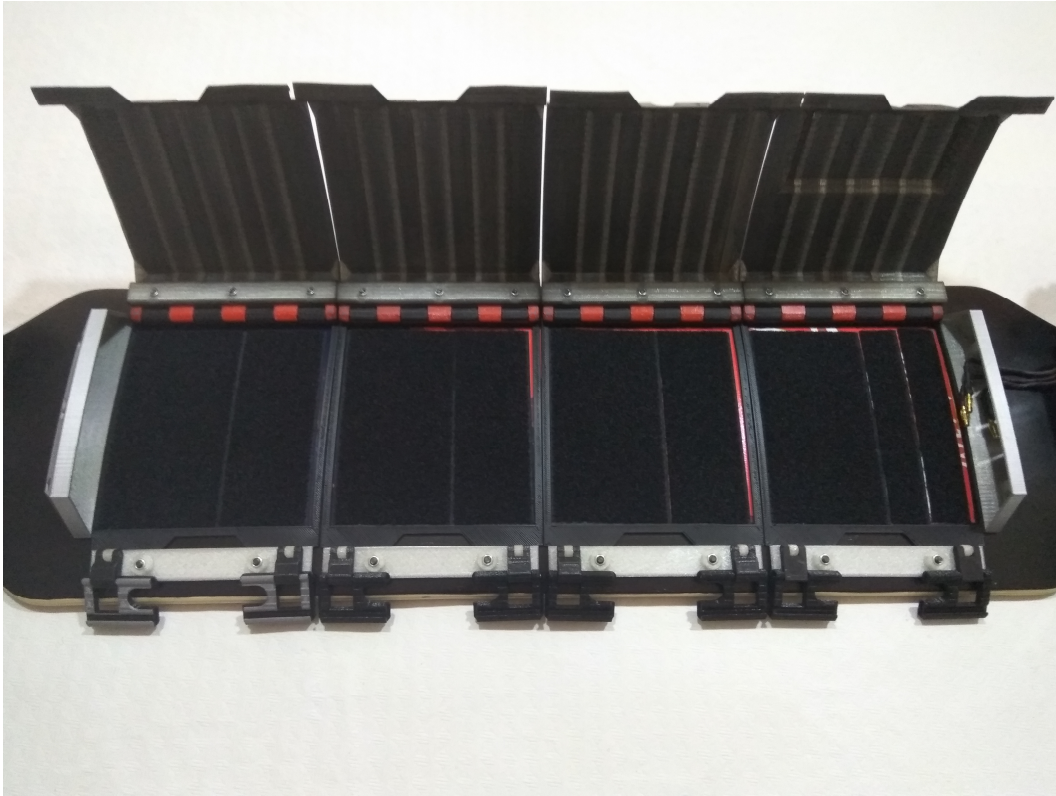


Figura 61. El velcro dispuesto sobre la tabla.

3.4.5 Realización de las conexiones

Para las conexiones hay varios puntos a tener en cuenta:

- **Conexión principal de descarga.** Por esta conexión van a fluir todos los amperios que el motor necesite para proporcionar la potencia que le demandemos a través de la emisora. Se van a emplear los conectores XT90, que soportan alto amperaje, y conectores tipo banana entre el variador y el motor. El motor viene de fábrica con los conectores soldados.
- **Conexión de balanceo.** Para la carga de las baterías se necesita un conector desde el cual se puedan medir todas y cada una de las celdas individuales que componen el pack de baterías y así poder igualar sus cargas. Para ello utilizaremos los conectores JST-XH de 4 y 7 pines, instalados comúnmente en estos tipos de baterías.

- **Interruptor de encendido y apagado.** El variador posee un interruptor para encender y apagar los sistemas, pero este queda dentro de la carcasa y para acceder a él se necesitaría abrirla y cerrarla cada vez. Se instala un interruptor paralelo a este en el exterior de la carcasa para mayor comodidad al encender y apagar el e-Longboard.

Como se mencionó en el apartado 3.2.6, para conformar el conexionado del pack de baterías se van a emplear los conectores HXT de 4 mm debido a que las baterías adquiridas traen de fábrica ese conector de descarga.

Teniendo estos puntos en mente, las conexiones entre la batería y el variador se resuelven con conectores XT90. Para la conexión en paralelo de las baterías se diseña un conjunto de enchufes y puerto de conexión (Figura 62). Cada enchufe proviene de un pack de baterías 6S y contiene un XT90 para la conexión principal y un JST-XH de 7 pines para el balanceo de ese pack (Figura 63). El puerto de conexión contiene 3 XT90 soldados en paralelo (Figura 64). Se ha diseñado con 3 puntos de conexión con vistas a una posible expansión de la batería.



Figura 62. Puerto de conexión Vista posterior.



Figura 63. Enchufe y puerto de conexión.



Figura 64. Puerto de conexión. Tres puertos.

Una vez lista la distribución de la alimentación de las baterías, se termina de realizar las conexiones tal y como muestra el siguiente esquema.

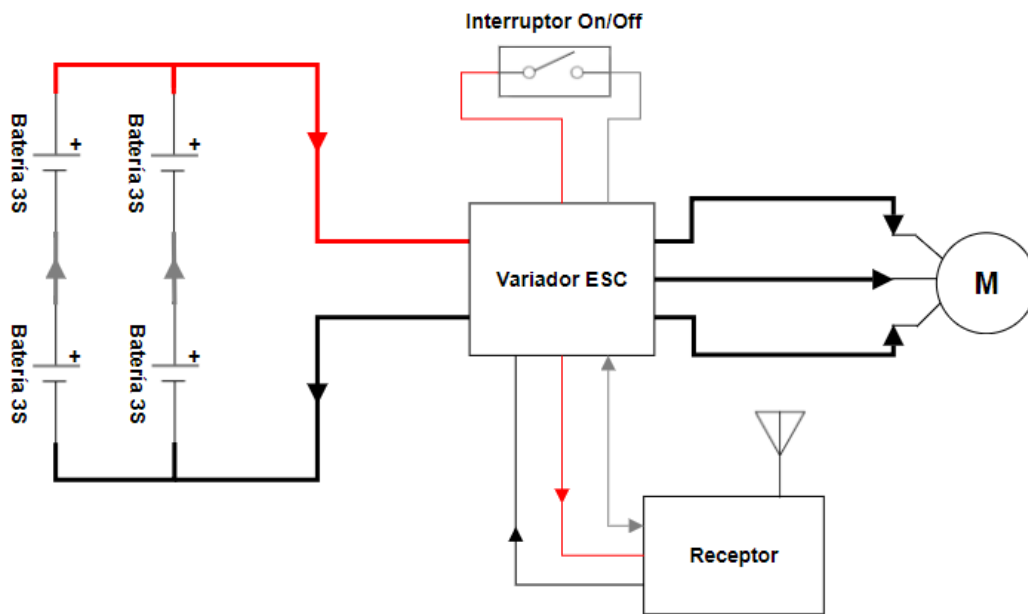


Figura 65. Esquema de conexiones.

El receptor recibe la señal de la emisora y la transfiere al variador a través de un cable que sale del propio variador y se conecta en el receptor. Este mismo cable sirve además para alimentar la electrónica del receptor. Es pues un cable de datos y de alimentación a la vez. Es importante conectar correctamente este cable, ya que si se invierte la posición del conector podría dañar el receptor de forma permanente.

Para la ordenación y sujeción de todos los cables se emplea una tira de velcro de doble cara. Se venden en rollos para luego poder cortar trozos a la longitud que sea necesaria.

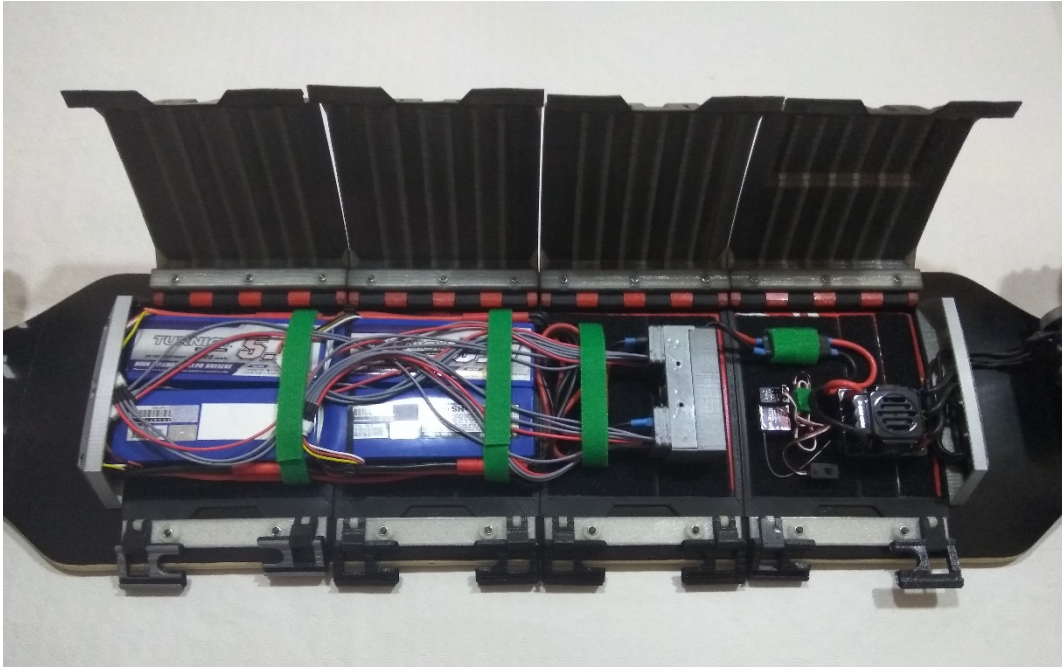


Figura 66. Montaje de todos los componentes dentro de la carcasa.

3.4.6 Configuración del Variador o ESC

El variador instalado permite acceder a la configuración de su *Firmware* para editar algunos valores que modifican su comportamiento en cuanto al control del motor se refiere. Para ello es necesario emplear una tarjeta de comunicación que se adquiere por separado (Figura 67). Esta tarjeta permite configurar el variador de forma directa a través de su pantalla o conectarlo al ordenador a través de un puerto USB y gestionar los valores mediante un sencillo programa.



Figura 67. Tarjeta de programación para variadores X-Car.

3.5 Análisis de los componentes electrónicos

Para comprender mejor el sistema eléctrico que impulsa el longboard, se va a analizar uno de sus componentes, el variador, observando los valores de entrada que obtiene de la alimentación de las baterías, y la señal que se produce a la salida de este, que es la que se transmite al motor. Para ello se realizará un primer ensayo en el laboratorio, utilizando el variador con el motor en vacío, es decir, sin la carga principal, el skater. Posteriormente se realizará un segundo ensayo, donde se pondrá en funcionamiento el prototipo 1 sobre el terreno y se medirá el consumo de la batería y su duración, a fin de obtener las características de interés en este tipo de vehículos, como son la autonomía y el consumo en condiciones normales de funcionamiento.

3.5.1 Ensayo 1: Análisis del Variador ESC

En este primer ensayo se pretende observar los siguientes valores:

- Voltaje de la batería.
- Corriente que fluye de la batería hacia el variador.
- Corrientes que se producen en los tres cables que salen del variador y se conectan con el motor.

Para ello se realizarán mediciones y se observarán los resultados en distintas condiciones de funcionamiento:

- Arranque en vacío.
- Velocidad constante máxima en vacío.
- Aceleración y desaceleración.
- Frenado desde velocidad constante máxima en vacío.

3.5.1.1 Herramientas utilizadas

- Dos osciloscopios digitales marca YOKOGAWA. Uno modelo DL1520 de dos canales y otro modelo DL1540 de tres.
- Una sonda de medida con conector BNC para el osciloscopio.
- 3 pinzas amperimétricas Hantek AC/DC capaces de medir hasta 65 amperios.
- Pinzas de cocodrilo para facilitar la conexión con los componentes.
- Un amperímetro de la marca AMPROBE modelo AM-510-EUR.



Figura 68. Osciloscopio DL1520.



Figura 69. Osciloscopio DL1540.



Figura 70. Sonda con conector BNC.



Figura 71. Pinzas amperimétricas.



Figura 72. Pinzas tipo cocodrilo.



Figura 73. Amperímetro.

La pinza amperimétrica

El osciloscopio obtiene la información a través de sus puertos de entrada. No obstante, estos puertos tienen una limitación: La información entrante únicamente pueden ser variaciones de voltaje comprendidas entre 0 y 2 voltios. Por tanto, cuando se quieren medir corrientes, estas no se pueden introducir de forma directa en las entradas del osciloscopio, necesitan transformarse en señales donde varíe el voltaje, no la intensidad.

Esta es la función de las pinzas amperimétricas. Miden el campo magnético que se forma alrededor de un cable cuando circula corriente por él, y transforman la información que capturan en una señal apta para el osciloscopio. A su vez las pinzas poseen un selector que permite reducir el valor de las mediciones para aquellos casos en los que los valores a medir son superiores a los admitidos por el propio osciloscopio.

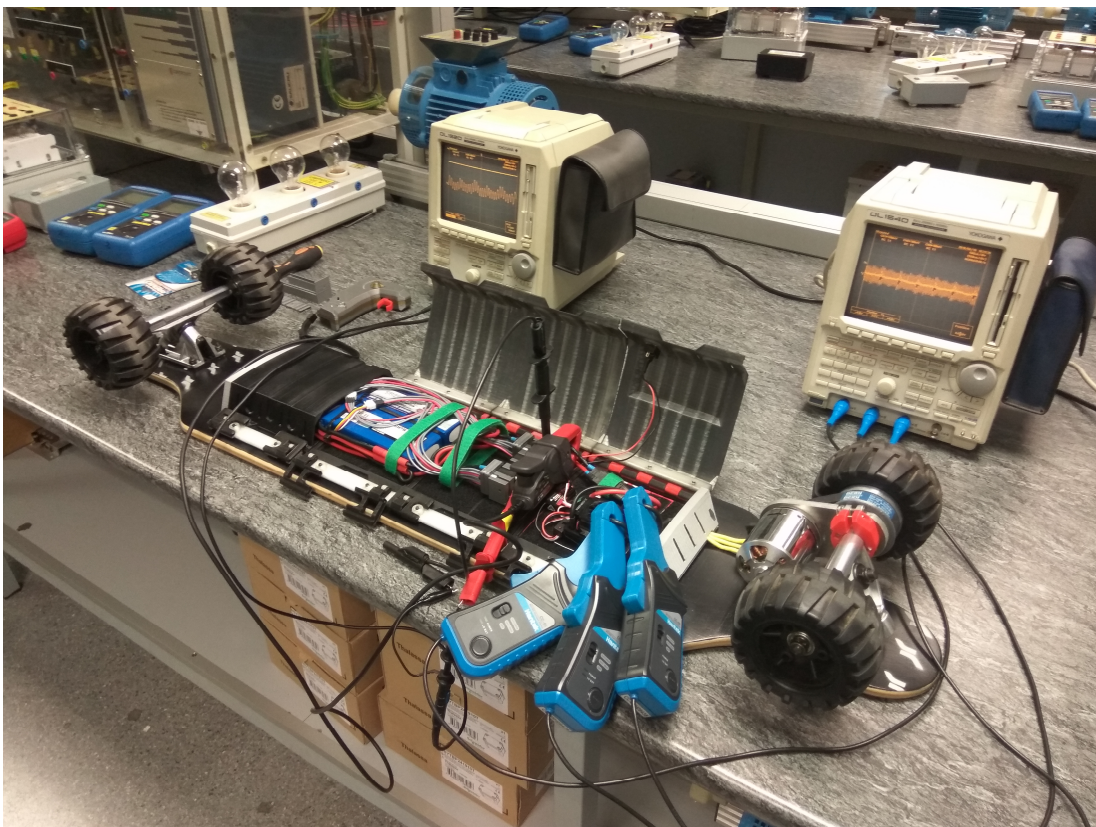


Figura 74. Cableado del prototipo 1.

Una vez ya todo preparado procedemos a realizar las mediciones en las condiciones mencionadas anteriormente. Dividiremos el ensayo en dos partes: Mediciones en el lado de la batería y mediciones en el lado del motor.

3.5.1.2 Mediciones en el lado de la batería

Dado que la alimentación hacia el variador procede de una batería de Litio-Polímero, sabemos que lo que nos vamos a encontrar en este lado va a ser corriente continua.

Voltaje de la batería

La batería, como ya hemos mencionado antes, está configurada en la disposición 6S2P. Así pues, sabiendo que una celda de Litio-Polímero posee un voltaje nominal de 3.7 voltios y un voltaje de 4.2 voltios cuando está completamente cargada, podemos estimar que la medición debería encontrarse entre 22.2 y 25.2 voltios.

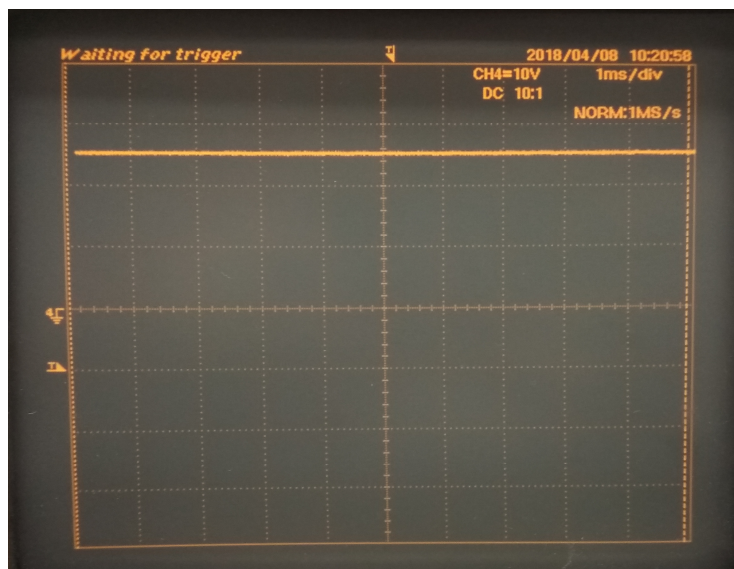


Figura 75. Medición del voltaje de la batería.

Como se puede observar en la imagen, con la sonda del osciloscopio configurada a 10 voltios por división, obtenemos un voltaje en la batería de 25 voltios. La batería se encuentra cargada casi por completo.

Arranque en vacío

En este caso se pretende analizar el pico de corriente que se produce en el punto de inercia máxima, es decir, cuando el motor está parado y pasa a máxima velocidad de forma súbita. Esta situación se produce en el arranque. Para ello se parte del estado de reposo y se aprieta el acelerador del mando hasta su tope, produciendo una aceleración brusca.

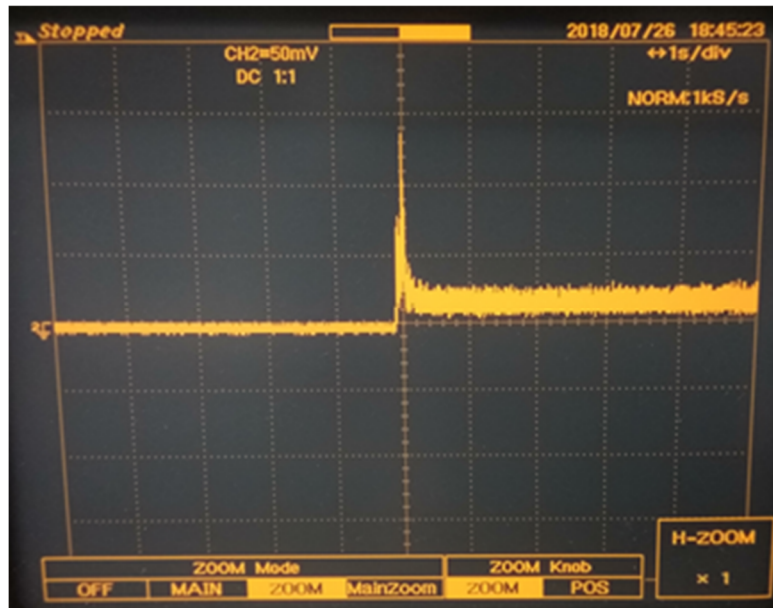


Figura 76. Pico de corriente en continua.

El canal donde se mide la corriente está configurado a 50 milivoltios por división y la pinza amperimétrica reduce la señal medida con la relación 1mV/100mA, por tanto, realizando un simple cambio de unidades podemos obtener la relación directa de amperios/división:

$$\frac{1 \text{ mV}}{100 \text{ mA}} = \frac{10 \text{ mV}}{1 \text{ A}}$$

Si cada 10 mV es 1 amperio, 50 mV serán 5 amperios. Por lo tanto, con 5 amperios por división, obtenemos un pico de corriente de 14 amperios.

Velocidad máxima constante en vacío

Ahora vamos a medir el valor de la corriente continua que el variador extrae de la batería cuando el motor está girando a velocidad máxima de forma sostenida, pero sin carga, únicamente con el rozamiento de la transmisión de potencia a la rueda.

En este caso, además del osciloscopio, hacemos uso del amperímetro conectado en serie entre la batería y el variador.

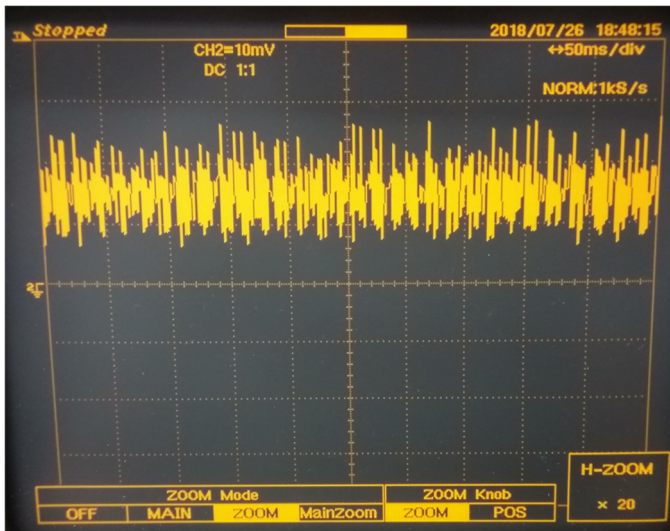


Figura 77. Corriente continua constante en vacío.
Osciloscopio.



Figura 78. Corriente continua constante en vacío. Multímetro.

Con el osciloscopio ajustado ahora a 10 mV/div. y sabiendo que 10 mV son 1 A en la pinza amperimétrica podemos observar que el valor medio de corriente en el osciloscopio ronda los 1.8 amperios, dato que nos confirma el amperímetro con una intensidad de 1.782 A.

3.5.1.3 Mediciones en el lado del motor

En esta parte del ensayo vamos a conectar las tres pinzas amperimétricas al osciloscopio de tres canales y a los tres cables que conectan el variador con el motor, de forma que cada cable pueda ser monitorizado por el osciloscopio de forma simultánea.

Máxima velocidad en vacío

Aplicamos máxima velocidad desde la emisora y observamos las señales que se obtienen en el osciloscopio:

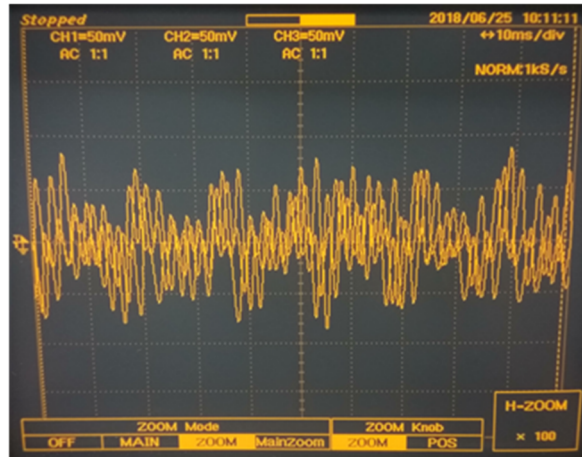


Figura 79. Señal de los tres canales combinada.

Si las observamos por separado, se aprecia que hay cierto desfase entre las tres señales.

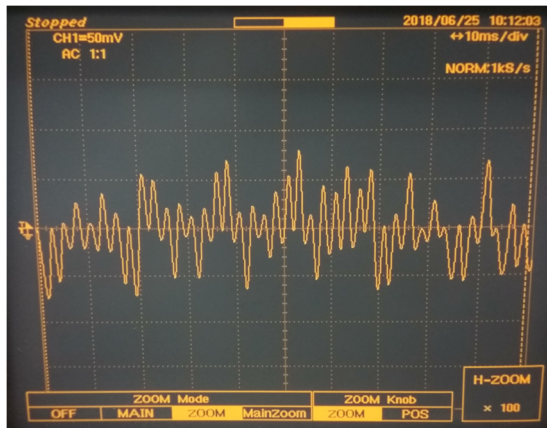


Figura 80. Señal del canal 1.

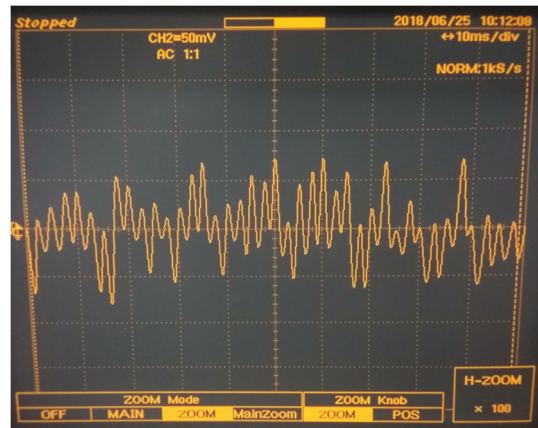


Figura 81. Señal del canal 2.

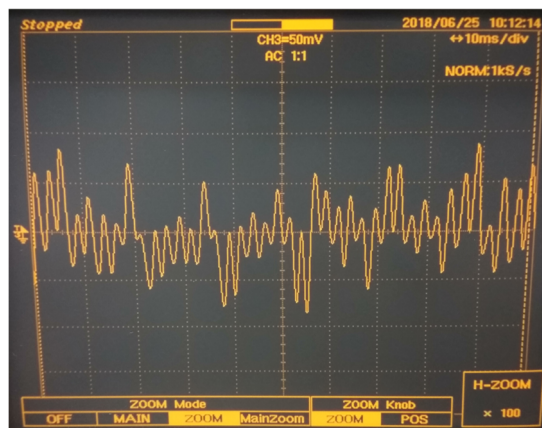


Figura 82. Señal del canal 3.

Ya que en el eje X del osciloscopio tenemos la barra de tiempo configurada a 10 milisegundos por división, podemos averiguar la frecuencia de la onda fundamental que compone a estas señales. Para ello contamos el número de picos en media pantalla, de forma que obtenemos el número de ciclos que se crean en una cantidad de tiempo fijada.

Para nuestro caso, observando la señal del canal 3 (Figura 82), en la mitad izquierda del gráfico tenemos 5 divisiones que, a 10 ms por división, nos dan un total de 50 ms. En este espacio de tiempo hay 20 picos o, en otras palabras, se crean 20 ciclos. Por tanto, tenemos que en un periodo de 50ms se forman 20 ciclos, donde cada ciclo dura 2.5 milisegundos. Con este resultado podemos decir, sabiendo que la frecuencia es la inversa del periodo, que la onda fundamental que compone esta señal tiene una frecuencia de 400 Hz. Lo mismo ocurre con las señales de los canales 1 y 2.

Con los resultados que nos arrojan estos ensayos, podemos decir claramente que el variador recibe corriente continua por parte de la batería y, a través de los componentes electrónicos que lo componen convierte ésta en tres señales de corriente alterna, desfasadas entre sí, como una especie de trifásica simulada que se transfiere al motor para hacerlo funcionar.

3.5.2 Ensayo 2: Análisis de las características técnicas del prototipo 1

Como hemos visto en el apartado 2.2 *Investigación y modelos existentes*, hay unas características técnicas que las empresas proporcionan a sus clientes y que dan una idea del funcionamiento de sus productos. En este apartado trataremos de averiguar algunas de esas características del prototipo construido en este proyecto. Para ello se realizarán mediciones tanto en laboratorio como en campo abierto a fin de conseguir valores lo más realistas posibles.

3.5.2.1 *Peso*

Vamos a analizar el peso total del prototipo para compararlo con los monopatines eléctricos estudiados. Para ello se ha dispuesto de una báscula con un anclaje que nos permite sujetar el longboard para luego realizar la medición (Figura 83).



Figura 83. Medición de peso del prototipo 1.

Como podemos observar en la imagen, nuestro prototipo pesa 10.36 kg, bastante por encima de los productos que se han analizado anteriormente. Es importante mencionar que las ruedas que utiliza este modelo son macizas y bastante grandes, suponiendo gran parte del peso extra del vehículo.

3.5.2.2 Velocidad punta y autonomía

Para analizar estos valores se propone poner en funcionamiento el prototipo y permitir a un skater utilizarlo en un entorno controlado mientras los aparatos de medida obtienen valores a tiempo real.

Tras realizar varios intentos, a pesar de las modificaciones aplicadas al firmware del variador, la conducción del prototipo era demasiado inestable, y amenazaba la seguridad del skater. Por este motivo no se pudieron obtener resultados concluyentes durante la realización de estas pruebas. No obstante, se pudo examinar de cerca el comportamiento del prototipo y las sensaciones que transmitía al ser utilizado, datos que se comentarán en el apartado de conclusiones.

3.6 Conclusiones sobre el modelo 1

Tras los análisis y las pruebas realizadas, se ha podido estudiar en cierta manera el funcionamiento y las características del prototipo construido, permitiendo generar las conclusiones y opiniones que se van a comentar a continuación.

3.6.1 Construcción

Tanto el soporte del motor como la carcasa protectora para la electrónica han resultado ser muy efectivos, desempeñando su función acorde a lo esperado.

En lo que respecta al soporte del motor se precisa comentar que, a la abrazadera de plástico, con el uso, le han aparecido una serie de pequeñas grietas. Esto fácilmente es debido a los grandes esfuerzos a los que está sometida ya que soporta las distintas torsiones que le transmite el motor en cada arranque, aceleración y frenada. El plástico que se ha utilizado para imprimirla es PLA, que se caracteriza por tener una gran dureza, pero eso le confiere cierta fragilidad. Esto le impide ser resistente tanto a impactos como a esfuerzos de tracción o torsión. No resulta un problema grave, ya que existen muchos otros materiales para impresión en 3D que pueden suplir las desventajas de este material, como por ejemplo el ABS, pero son más complicados de imprimir.

3.6.2 Funcionamiento

Cuando se utiliza el prototipo por primera vez resalta por encima de todo la potencia del motor. Tiene mucha fuerza y se nota en la facilidad con la que acelera y propulsa al skater sin aspavientos. En una ocasión se ha realizado la prueba de subir una cuesta pronunciada y la ha superado con creces, porque era capaz de acelerar mientras subía. Pero no todo es positivo. De hecho, la conclusión es que es una potencia excesiva para un uso seguro del vehículo. A pesar de haber limitado la potencia en el firmware del variador las velocidades que se alcanzan son bastante peligrosas para un principiante. Tener potencia de más permite que el motor vaya más relajado que uno menos potente bajo las mismas condiciones de funcionamiento, pero no poder controlar de forma efectiva esa potencia pone en riesgo la seguridad del usuario.

El mando de control funciona correctamente, pero es fácil ver que proviene del hobby de coches a radiocontrol, ya que el gatillo del acelerador es muy sensible,

característica muy positiva en el caso del mundo RC, pero negativa cuando se trata de manejar el prototipo. Ha habido más de una ocasión en la que se ha apretado de más el gatillo sin querer y el motor ha pegado un tirón sustancial, lo que repercute en cierta inseguridad sobre la tabla.

Por último, en lo que a estabilidad se refiere, que sólo una de las dos ruedas traseras sea propulsada hace que cada vez que se arranca desde parado o con aceleraciones un poco bruscas se produzca cierto aleteo desde la parte trasera del longboard. Esto es debido a que el truck trasero es igual al delantero, y ambos están articulados. Cuando el motor empuja, ejerce una fuerza hacia delante que hace pivotar la percha sobre la base del truck, produciendo ese pequeño zigzag que va disminuyendo hasta que todo el conjunto iguala su velocidad. Se considera un mal menor pero no deja de restarle comodidad al uso del vehículo.

No obstante, este efecto es más importante en la frenada, donde también se produce. La frenada es poco útil en este sistema y es debido a las mismas razones: puesto que la frenada se aplica sobre el motor, este es capaz de frenar una de cuatro ruedas, lo cual hace que sea poco efectiva. Además, el motor emite un pitido desagradable cuando frena debido a resonancias en las bobinas que lo conforman. Esto depende bastante de qué método utilice el variador para generar un par opuesto a la dirección de giro que permita bajar las revoluciones.

3.6.3 Características técnicas

En cuanto a las características que se proporcionan en productos acabados, podemos decir que hemos salido perdiendo en lo que a peso se refiere, ya que nuestro prototipo es considerablemente más pesado. Debido a los resultados infructuosos en las pruebas de consumos, no tenemos datos concluyentes sobre la autonomía ni la velocidad punta. Sin embargo, dado que sólo hay instalado un motor y que su potencia es superior a los del mercado, soportando mejor la carga, no se debería descartar una autonomía interesante con el pack de baterías instalado.

Como conclusión general, podemos decir que la elección de los componentes ha sido acertada en cuanto a éxito en el funcionamiento, pero estos dejan mucho que desear en cuestiones de seguridad durante su uso.

3.7 Propuestas de mejora

En este apartado se van a presentar una serie de mejoras aplicables al prototipo actual con el objetivo de corregir sus fallos, proponiendo la construcción de un segundo prototipo, el modelo 2.

3.7.1 Potencia del motor y cambios en el sistema de propulsión

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, el motor que se ha instalado en el primer prototipo se eligió con una potencia superior a los productos del mercado con el objetivo de asegurar la funcionalidad del longboard eléctrico, y así ha sido. Ahora que tenemos una idea real del efecto que producen 2700 W de potencia, podemos tratar de sustituir este motor por otro de menor potencia y reemplazar esa falta de fuerza con la instalación de un segundo motor en la otra rueda trasera. Es decir, vamos a cambiar el sistema de propulsión de Single Drive a Dual Drive, porque un sistema dual presenta bastantes mejoras respecto de un Single:

- La principal de ellas es la estabilidad a la hora de manejar el monopatín. Tanto al arrancar y acelerar como al frenar, propulsar ambas ruedas aplicando la misma fuerza permitirá evitar que el truck trasero pivote, ya que las fuerzas se igualan, evitando así ese desagradable coleteo que producía el motor anterior.
- Se notarán mejoras en la frenada, ya que estaremos aplicando fuerza en dos ruedas en vez de una.
- Mejorará la tracción. Repartiendo el esfuerzo entre dos ruedas evitaremos el desgaste excesivo del neumático cuando sólo trabaja una.

3.7.2 Sustitución del variador

El primer variador instalado realizaba un buen trabajo manejando las altas corrientes que pasaban por él, pero su aplicación para este tipo de vehículos queda lejos de ser perfecta. En el tiempo transcurrido mientras se trabajaba en el primer prototipo han aparecido nuevos variadores enfocados a monopatines eléctricos, con protecciones para la batería y un control sobre los motores más adecuado para esta actividad.

Por este motivo y porque el variador actual no es capaz de controlar dos motores a la vez, se precisa necesario cambiar de ESC.

3.7.3 Reducción del peso

Por último, el peso del primer prototipo era excesivo, sobrepasando 1.56 kg al más pesado de los productos analizados previamente. Por ello, para el prototipo 2 se va a incluir el objetivo de reducir el peso de nuestro e-longboard.

Aplicando estas mejoras al prototipo 1 se espera poder construir un segundo modelo cuyas características se acerquen un poco más a los productos que existen en el mercado. Por ello, una vez construido el modelo 2, se procederá a estudiar sus componentes y su funcionamiento con tal de comparar datos y poder realizar conclusiones sobre estas mejoras.

Capítulo 4. Desarrollo del prototipo 2

Procedemos pues en este apartado a describir los cambios realizados en el prototipo 1.

4.1 Modelo 2. Introducción

Teniendo en cuenta las mejoras propuestas para este modelo 2, el nuevo prototipo debe contemplar las siguientes características técnicas:

- **Dual Drive.** Cambiamos ahora a una instalación de dos motores, uno en cada rueda, en el truck trasero. En este caso se ha decidido que los motores a utilizar no superen los 1500 W de potencia. Dado que la carga se va a repartir entre dos, teóricamente poseen potencia suficiente para desenvolverse sin problemas.
- **Autonomía.** En principio se va a emplear el mismo pack de baterías que el prototipo 1.
- **Tipo de transmisión.** Se va a mantener la transmisión de poleas dentadas y correa, ya que ha producido buenos resultados en el modelo 1.

4.2 Componentes electrónicos

Se muestran a continuación los componentes elegidos para construir el prototipo 2.

4.2.1 Motores

El motor seleccionado para la configuración Dual drive es el siguiente:

Marca: PropDrive

Modelo: NTM-4248-650KV.

Voltaje máximo: 25.2V, 6S con
baterías de tipo Li-XX

RPM/V: 650KV

Amperios máximos: 70^a

Potencia máxima: 1295W

Diámetro del eje: 5.0mm

Paso de rosca: M3

Peso: 395g

Conector: 4mm conector tipo banana



Figura 84. Motor NTM Propdrive v2.

4.2.2 Variador o ESC

El variador seleccionado está diseñado para sistemas Dual drive, lo que nos permite usar un solo variador para controlar dos motores. En realidad, son dos variadores dentro de la misma placa PCB. Este variador incluye interruptor de encendido, receptor y mando. Las protecciones que ofrece este variador son similares a las del primero, con la diferencia de que este está enfocado a este tipo de instalaciones en vehículos portátiles eléctricos.

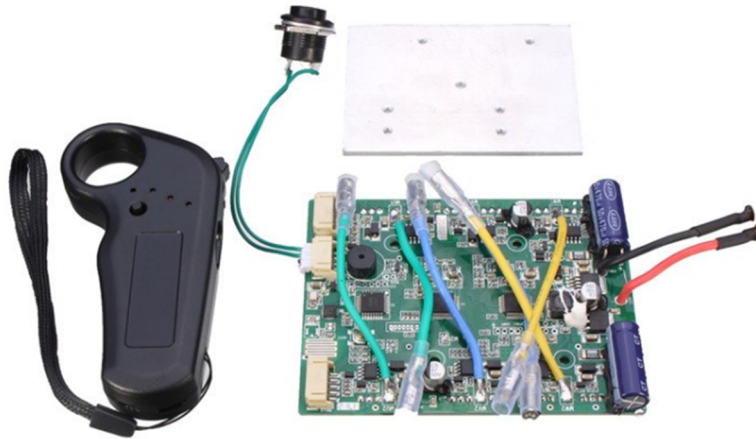


Figura 85. Conjunto variador y mando del modelo 2.

Este nuevo mando tiene tres modos de funcionamiento, que regulan la potencia final que se les transmite a los motores. Esta característica es interesante ya que ofrece una escala de potencias que los principiantes pueden ir aumentando conforme adquieran confianza sobre el longboard.



Figura 86. Detalle del mando del modelo 2.

Además, a diferencia de la emisora del prototipo 1, que iba alimentada a pilas, este mando contiene en su interior una batería de Litio, la cual nos permitirá recargar de energía el mando cuando se agote.

4.2.3 Cables y conectores

Los cables que se van a emplear son los mismos que en el modelo 1, con la diferencia de que se van a reducir el número de conexiones, ya que estas suponen pequeñas pérdidas eléctricas al sistema. El uso de los conectores XT90 y JST-XH se limitará a un puerto de carga para poder conectar el cargador inteligente y recargar los packs de baterías.

4.3 Componentes mecánicos para la transmisión

Además de los nuevos variadores, ha surgido también un nuevo sistema de propulsión con algunas características interesantes que rivaliza con la transmisión por correa.

Actualmente hay dos tipos: Motores con transmisión por correa y motores *In-Hub* (de núcleo). Los motores *In-Hub* se han diseñado específicamente para sustituir directamente a las ruedas. Es decir, el estator de estos motores, donde se alojan las bobinas, se une solidariamente al eje de la percha del truck, mientras que el rotor, que es exterior (estos motores siguen siendo Brushless y *Outrunners*, es decir, de rotor externo), lleva incrustado el neumático, y hace de rueda (Figura 87). En estos motores puede haber o no reducción. En los más sencillos el rotor está unido al neumático, girando ambos a la vez. Pero en los más complejos podemos encontrar una reducción con engranajes planetarios, como el que aparece en la imagen.



Figura 87. Despiece de una rueda de motor In-Hub.



Figura 88. Truck con las ruedas de motor integrado instaladas.

Las versiones más populares (las más económicas) suelen ser sin reductora y los motores incluyen sensor de posición, lo que permite realizar aceleraciones más controladas que con motores brushless comunes.

El porqué de la transmisión por correa

A pesar de que los motores in-hub son muy atractivos a la vista (estéticamente son fabulosos, dan la impresión de ser ruedas normales, volviendo el diseño del monopatín eléctrico muy minimalista) no todo son ventajas.

Dado que todavía son un producto relativamente nuevo, encontrar repuestos no es tarea fácil. Los neumáticos han sido diseñados específicamente para estos motores, y como no hay ninguna normalización entre los fabricantes, cada uno fabrica un tamaño distinto de rueda, y eso complica las cosas. La transmisión por correa arrastra muchos años de producción, con lo que encontrar recambios y realizar reparaciones es bastante sencillo. En estos momentos en los que está siendo redactado este documento, intentar reparar un motor in-hub puede convertirse en una tarea titánica, llevándonos a un callejón sin salida, teniendo que sustituir el motor por completo o en el peor de los casos, todo el sistema de propulsión.

En lo que respecta al funcionamiento, los motores son algo delicado, y recibir golpes no es uno de sus fuertes. Estos motores, al ser ruedas a la vez, reciben todos los impactos que producen las irregularidades del terreno, por no hablar de las continuas vibraciones. Con la transmisión por correa, las vibraciones y los impactos quedan reducidos en gran medida, ya que alejamos el motor de la zona de contacto con el suelo.

Un último detalle que comentar es que, gracias a que la transmisión por correa se adapta a la rueda utilizada, no cerramos las puertas al mundo de posibilidades que ofrecen los distintos tipos de ruedas que existen, y la facilidad de su sustitución en caso de fallo.

Por los motivos presentados se ha decidido mantener la transmisión por correa y dejar que la tecnología de los recién llegados motores In-Hub evolucione un poco más, porque no cabe duda de que es una propuesta harto interesante.

4.4 Diseño y construcción

Continuamos pues con la fabricación del segundo prototipo. Para este apartado se va a seguir utilizando la impresora 3D, dados los buenos resultados que hemos obtenido con las piezas diseñadas para el modelo 1.

En esta ocasión se ha dedicado tiempo a estudiar otros materiales aparte del PLA y así poder suplir sus defectos. Como resultado se ha encontrado un material que posee características combinadas entre el ABS y el PLA, llamado PETG. La siguiente información proviene de la página web *bitfab.io*¹¹, donde explican con gran detalle este material:

“El PET (Tereftalato de polietileno) es el plástico más usado en el mundo: puedes encontrarlo en botellas, envases para alimentación, fibras textiles... Es un material transparente, con muy buena resistencia química y apto para uso alimentario.

La variante del PET que usamos en impresión 3D es el PETG. La G del final significa Glycol-modificado, y se refiere a un cambio en la estructura química del polímero que lo hace más transparente, menos frágil y más fácil de procesar que el PET común. Con estas mejoras y su facilidad de impresión el PETG se ha convertido en uno de los materiales más usados en impresión 3D.”

En un breve resumen, este material se caracteriza por tener propiedades similares al PLA y el ABS. Es resistente a impactos, tiende a deformarse frente a esfuerzos como el ABS en vez de fracturar y es parecido en cuanto a facilidad de impresión al PLA.

4.4.1 Nuevo soporte Dual Drive

Ahora que tenemos dos motores, el espacio para realizar su instalación se ha visto considerablemente reducido, teniendo que ajustar el diseño del soporte con precisión.

¹¹ Para más información visitar el enlace número [9] de la bibliografía.

La desventaja principal durante la fabricación de estas piezas es que ya no estaba disponible la fresadora CNC que se utilizó en el modelo 1, teniendo que sustituir las partes de aluminio por piezas impresas en 3D. Aun así, se espera que el nuevo material de impresión sea capaz de resistir bajo las condiciones normales de uso del prototipo.

Teniendo esto en cuenta se ha prestado especial atención al diseño de la estructura, realizando soportes que fortalezcan la unión del soporte dual (Figura 89, Figura 90 y Figura 91).



Figura 89. Soporte Dual Drive.

En este diseño se ha añadido un protector para la polea del motor, ya que en el modelo 1 estaba al descubierto y corría riesgo de recibir impactos de las partículas sueltas del calzado. Con esta sencilla solución podemos minimizar ese riesgo además de hacer más segura la instalación evitando que nadie pueda sufrir lesiones por meter los dedos dentro de la transmisión.



Figura 90. Soporte Dual Drive - detalle.



Figura 91. Soporte Dual Drive – Vista frontal.

4.4.2 Sustitución de las ruedas. Ruedas impresas en 3D

Con el objetivo de reducir el peso del longboard, se analizaron todas sus piezas y se descubrió que las ruedas instaladas pesaban cerca de los 500 gramos la unidad, añadiendo prácticamente 2 kilos de peso extra.

Estas ruedas, a diferencia de las comunes de poliuretano, al ser el neumático de caucho absorbían parte de las vibraciones que se transmiten a los pies del skater cuando se utiliza el longboard, haciendo más cómoda su conducción. Pero se sacrifica mucho peso a cambio de una pequeña absorción de vibraciones. Su tamaño es también un poco excesivo.

Las ruedas más grandes de poliuretano (PU) disponibles en el mercado tienen un diámetro de 90 mm, pero su forma de la llanta no permite una instalación fácil de la polea dirigida, además de que el precio de mercado es bastante alto.

Por las propiedades anteriormente comentadas del PETG, parece ser un material idóneo para utilizarlo en la llanta de una rueda, ya que en caso de fallo tiende a deformarse al inicio y no a partirse, como lo haría el PLA.

Esto, unido al uso de otro material especial, un filamento flexible diseñado para ser impreso en 3D, nos da la posibilidad de diseñar nuestras propias ruedas, ajustando sus propiedades a nuestro gusto.

Así es como presentamos este diseño de rueda impresa en 3D, con un tamaño inferior a las ruedas del modelo 1, pero suficiente para dejar espacio entre la polea dirigida y el suelo. Su diámetro es de 100 mm. Está compuesta por una llanta de PETG y un neumático de filamento flexible, que le otorga un agarre mayor al de una rueda rígida de PU, además de la absorción parcial de vibraciones (Figura 94).



Figura 92. Rueda 3D modelo 2.



Figura 93. Rueda 3D modelo 2 – vista frontal.



Figura 94. Rueda 3D modelo 2 – Llanta y neumático.

El conjunto de soporte, poleas y ruedas queda así solventado, tal y como muestran las imágenes a continuación.



Figura 95. Ensamblaje del soporte Dual Drive – Despiece.



Figura 96. Ensamblaje del soporte Dual Drive.



Figura 97. Ensamblaje del soporte Dual Drive – Vista frontal.

4.4.3 Nueva carcasa

Para el modelo 2 se ha decidido cambiar el aspecto de la carcasa, dejándola sin aberturas, tratando de reducir su grosor al máximo, buscando un aspecto más estético para acercar el prototipo un poco más a los productos terminados que hay en el mercado.

Para ello se han retirado las bisagras y los cierres, además de hacer una carcasa de cuerpo completo, sin módulos. Los anclajes de la tabla se han distribuido en el interior de la carcasa, de forma que no se ven desde el exterior.



Figura 98. Carcasa modelo 2 – vista superior.

Se ha dispuesto, centrado en el borde de la carcasa, un espacio para colocar el botón de encendido en la parte superior (extremo derecho de la imagen, Figura 98). Así, este interruptor queda accesible cuando se apoya el monopatín de pie, posición en la que suelen dejarse cuando no se utilizan por el poco espacio que ocupan de esa forma. En la parte inferior (extremo izquierdo) quedan el espacio

designado para el nuevo variador y la salida de los cables de alimentación de los motores.

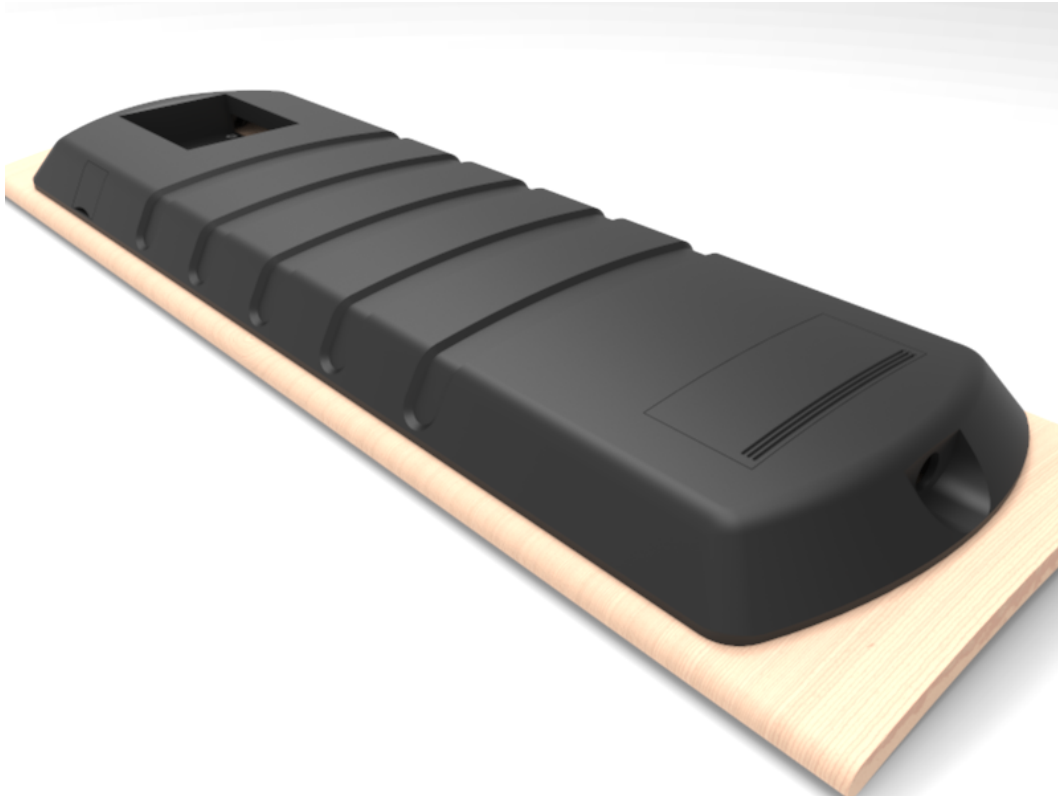


Figura 99. Carcasa modelo 2.

Dado que esta vez es una carcasa cerrada, se necesita un acceso para poder cargar las baterías. Por ello se ha diseñado un puerto de carga (Figura 100). En este puerto se incluyen un conector XT90 para la carga y un JST-XH de 7 pines para el balanceo o equilibrado de celdas.

Para información del usuario se ha incluido una bahía donde se instalará un medidor en porcentaje del nivel de batería el cual se puede consultar a través de un pulsador, así se puede conocer la capacidad restante de forma cómoda sin necesidad de aparatos de medida adicionales. En esta bahía también se ha incluido la conexión en paralelo de los cables de balanceo para permitir revisar el nivel de cada celda de forma individual en caso de fallo (Figura 101). Tiene una compuerta que se introduce hacia dentro y se desliza hacia abajo cuando se abre, y vuelve a su posición original cuando se cierra, dando un aspecto de continuidad a la superficie exterior de la carcasa.

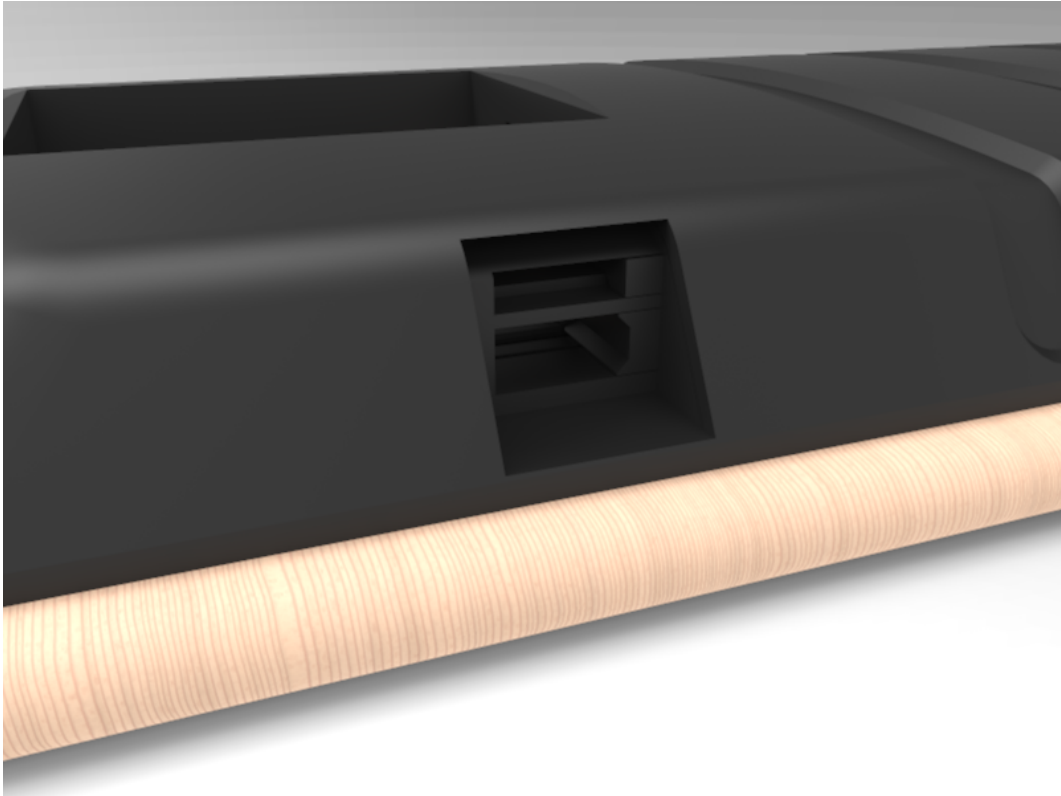


Figura 100. Carcasa modelo 2 – Puerto de carga.

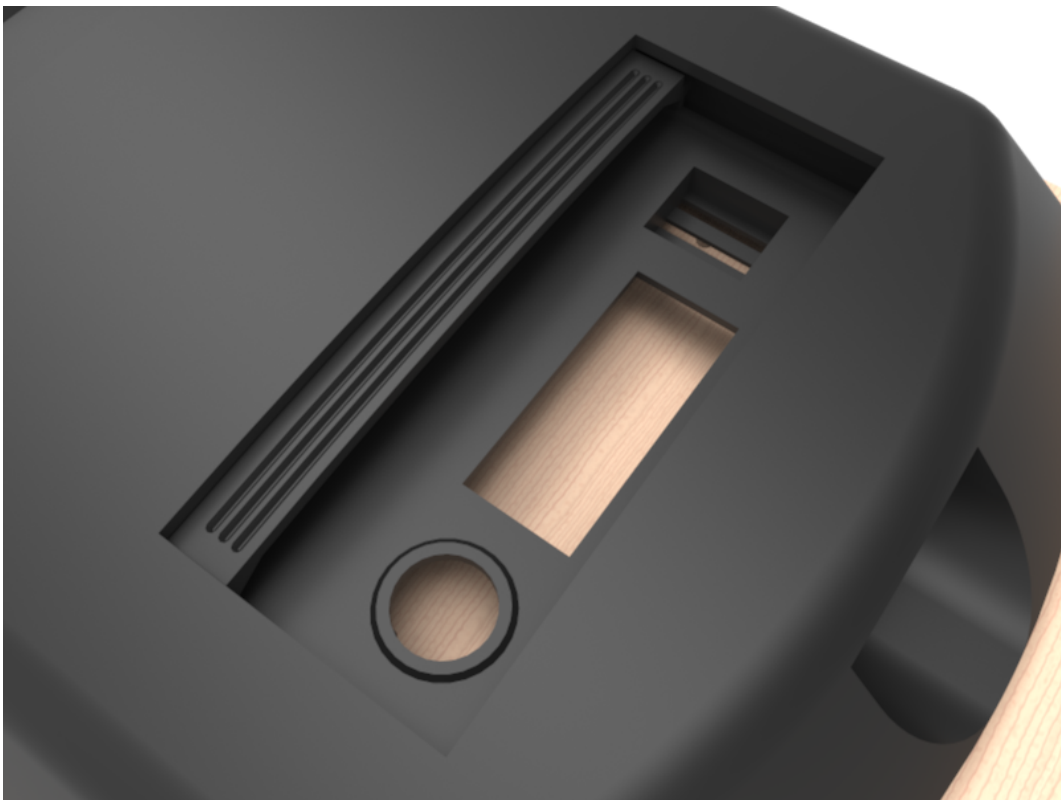


Figura 101. Carcasa modelo 2 – Bahía.

Para poder fabricarla se ha dividido en cuatro partes, facilitando así su impresión en 3D. El tamaño de esta carcasa es superior a la del modelo 1 en cuanto al área que cubre sobre la tabla, pero el aspecto es mucho más estético.



Figura 102. Carcasa modelo 2 – Despiece.

4.4.4 Instalación final

A continuación, se observan las imágenes de los resultados de la fabricación. Para mejorar la disipación de calor en el variador, se ha instalado un disipador de aletas de aluminio que mejora la transferencia por convección con el aire que pasa por debajo del prototipo mientras está en funcionamiento, desplazándose de un lugar a otro (Figura 104 y Figura 105).

En la siguiente imagen se muestra la distribución de los componentes dentro de la nueva carcasa. Para fijarlos a ella se ha empleado el mismo método de velcro adhesivo, pero en vez de fijarlo a la tabla, se ha instalado en la propia carcasa, ya que no tiene partes móviles en su interior (Figura 103).



Figura 103. Modelo 2 – Componentes en carcasa.



Figura 104. Modelo 2 – Vista superior.



Figura 105. Modelo 2.

Las siguientes imágenes muestran en detalle el interruptor de encendido y la bahía del panel de control, con el funcionamiento del indicador de nivel de batería.



Figura 106. Modelo 2 – Detalle botón On/Off.



Figura 107. Modelo 2 - Bahía.



Figura 108. Modelo 2 – Indicador de batería.

4.5 Análisis de los componentes electrónicos

Una vez más, pasamos al laboratorio a analizar ahora el variador del prototipo 2 para poder comparar resultados con el prototipo 1.

Las herramientas utilizadas con las mismas que se utilizaron en el apartado 3.5.

4.5.1 Ensayo 1: Análisis del nuevo Variador

Vamos a realizar las mediciones tal y como se realizaron en el modelo 1, analizando el lado de la batería y luego el lado de los motores.

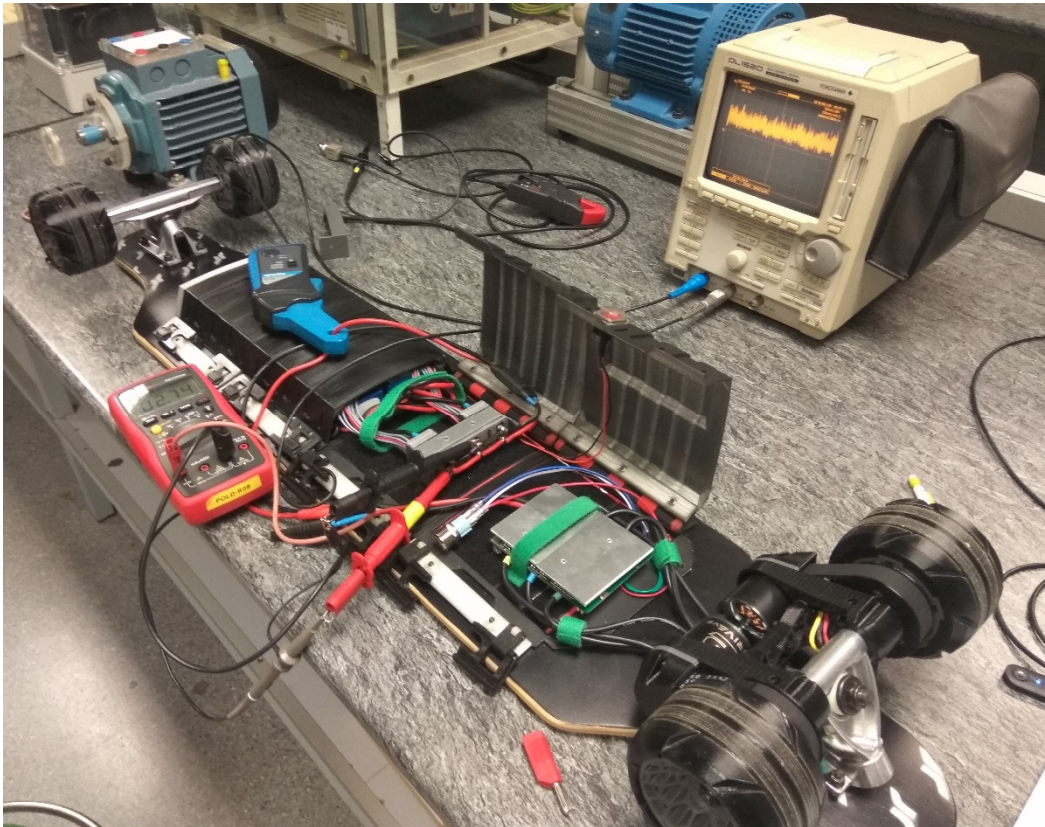


Figura 109. Cableado del sistema eléctrico del prototipo dos.

4.5.1.1 Mediciones en el lado de la batería

Voltaje de la batería

Dado que estamos utilizando el mismo pack de baterías que se instaló en el prototipo 1, el voltaje que muestra el osciloscopio es el mismo.

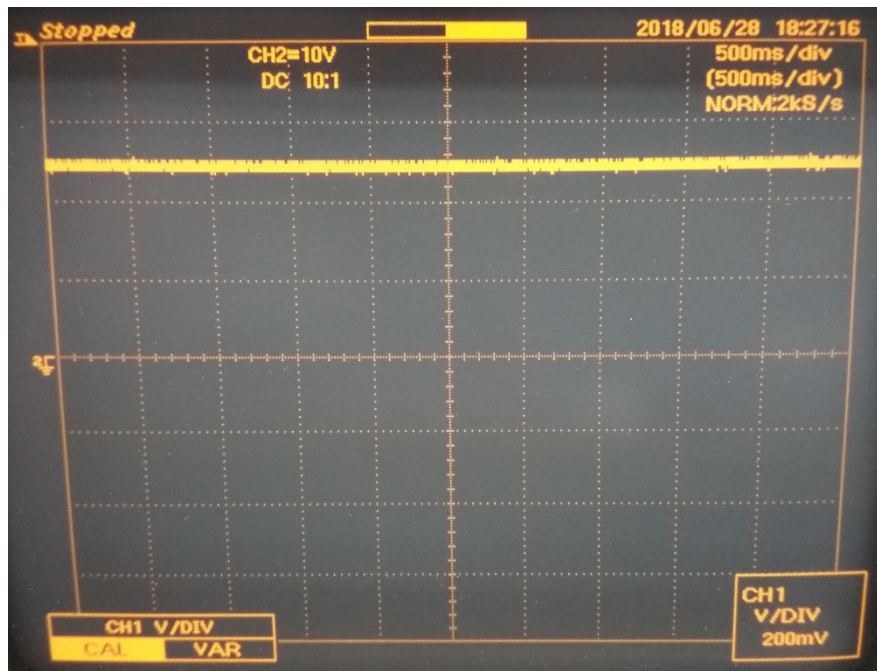


Figura 110. Medición del voltaje de la batería (prototipo 2).

Tal y como se observa en la imagen, el voltaje es de 25 voltios, aproximadamente.

Arranque en vacío

Dado que en este variador tenemos tres modos de uso, nos centraremos en el modo de mayor potencia a la hora de realizar la comparación con el prototipo, pero se han testeado los tres modos con el fin de determinar las diferencias entre sí.

Tal y como muestran las imágenes, no hay pico de corriente en ninguno de los tres modos. Esto se debe a que el control que este variador aplica sobre la aceleración es mayor, impidiendo que se generen aceleraciones abruptas y suavizando así el control sobre los motores. Entre los modos *low* y *medium* (Figura 111 y Figura 112) prácticamente no se muestra diferencia alguna entre sus tramos de

aceleración al inicio del arranque, no obstante, sí se percibe un aumento de la aceleración en el tercer modo (Figura 113). Esto puede ser debido a la eliminación del limitador de potencia que ocurre en el modo *high*, permitiendo que las aceleraciones sean mayores.

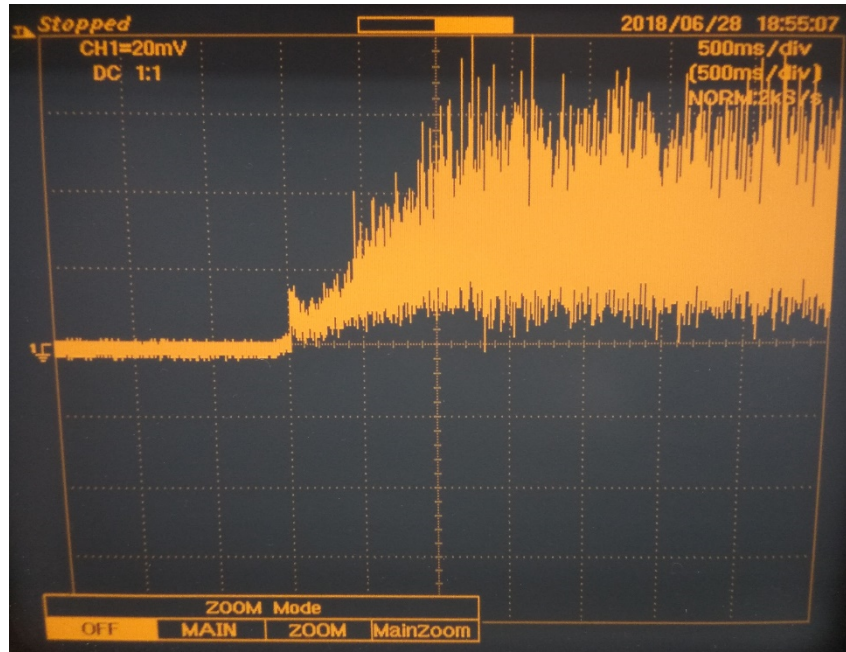


Figura 111. Pico de corriente modo low.

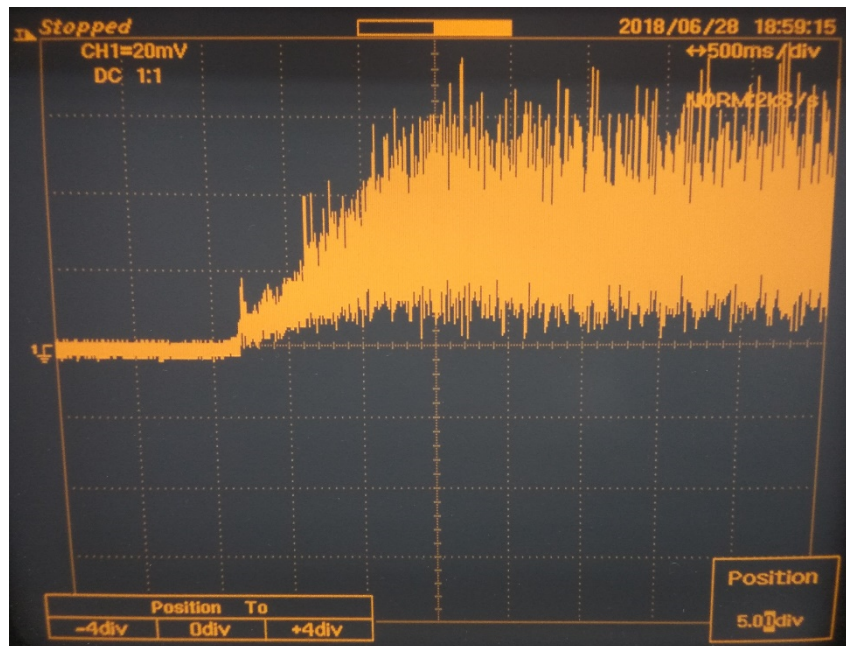


Figura 112. Pico de corriente modo medium.

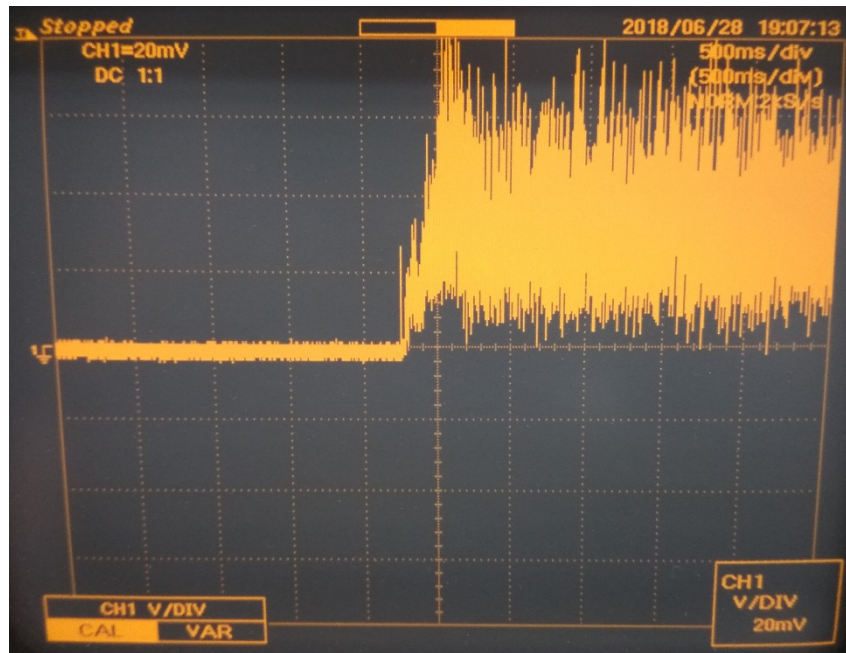


Figura 113. Pico de corriente modo high.

Conforme se avanza entre los modos se observa como la señal de la corriente pasa de un estado sobreamortiguado en el modo low, a un estado también con sobreamortiguación, pero en menor medida en el modo medium y cambiando finalmente a un estado ligeramente subamortiguado en el modo high, donde la señal tarda un poco más en estabilizarse.

Velocidad máxima constante en vacío

Observamos ahora el valor de la corriente continua que se le entrega al variador cuando los motores giran a su máxima velocidad en vacío.

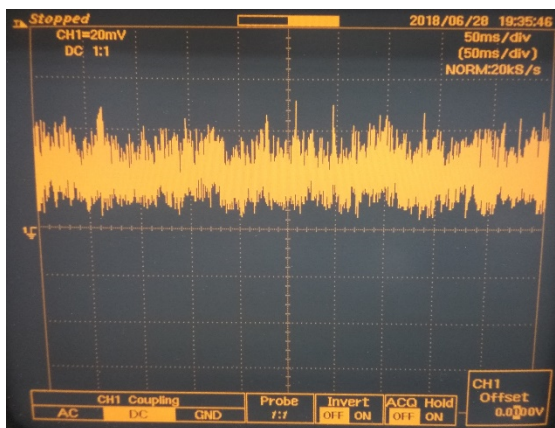


Figura 114. Corriente continua en vacío en el osciloscopio (modo low).



Figura 115. Corriente de vacío medida en el amperímetro (modo low).

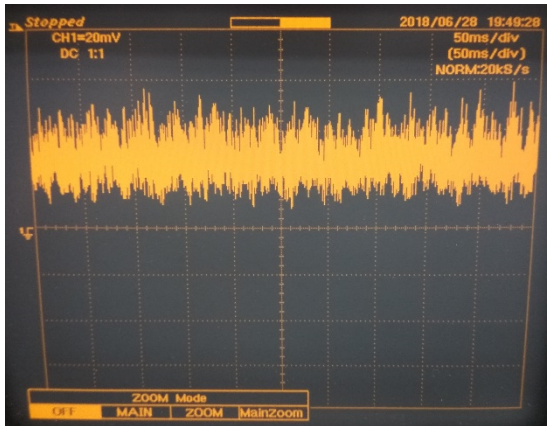


Figura 116. Corriente continua en vacío en el osciloscopio (modo medium).



Figura 117. Corriente de vacío medida en el amperímetro (modo medium).

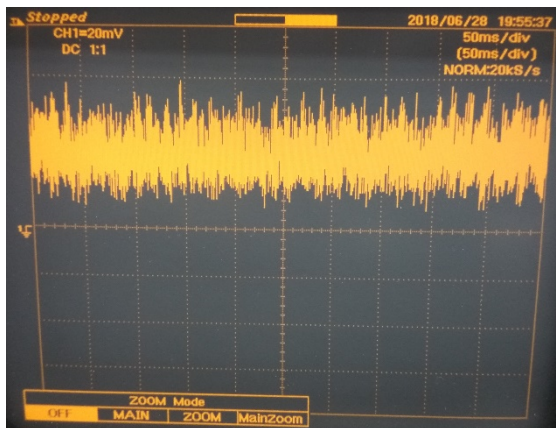


Figura 118. Corriente continua en vacío en el osciloscopio (modo high).



Figura 119. Corriente de vacío medida en el amperímetro (modo high).

La corriente que circula en cada caso respectivamente son 2.74, 2.57 y 3.03 amperios. Es curioso mencionar aquí que el modo medium consume menos amperios que el modo low. El modo high es el que más consume de los tres, lo cual es lógico por ser el modo que más potencia introduce en los motores.

4.5.1.2 Mediciones en el lado del motor

Conectamos las pinzas amperimétricas a uno de los dos motores y analizamos las señales que se muestran en el osciloscopio. En estas mediciones utilizaremos el modo high para que las condiciones de funcionamiento sean lo más parecidas a las del prototipo 1.

Máxima velocidad en vacío

El conjunto de las tres señales nos proporciona la siguiente imagen:

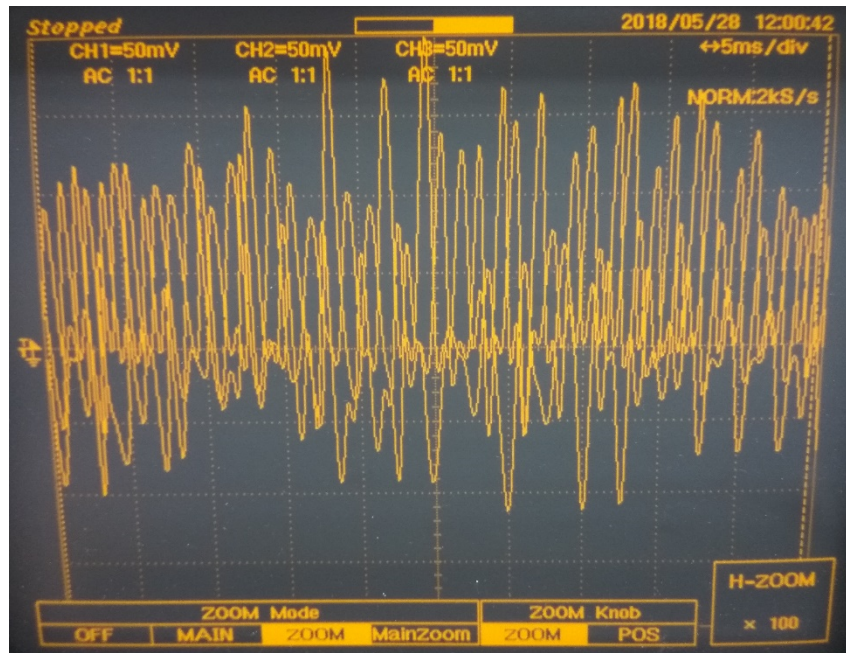


Figura 120. Conjunto de las tres señales.

Y si las observamos por separado:

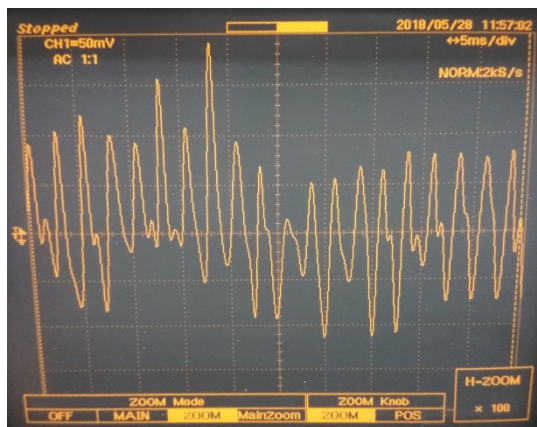


Figura 121. Señal del canal 1.

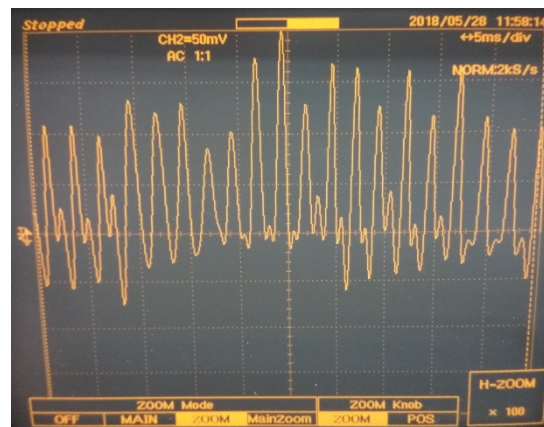


Figura 122. Señal del canal 2.

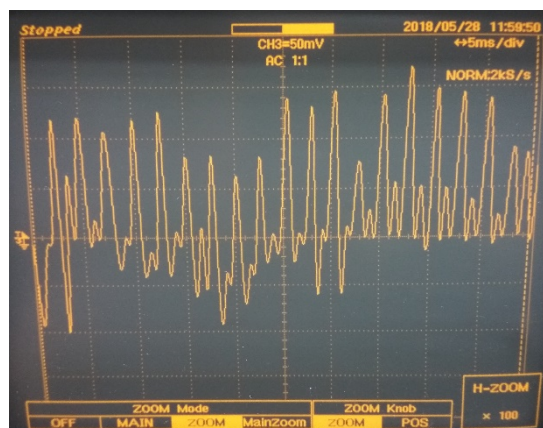


Figura 123. Señal del canal 3.

Podemos apreciar que también existe desfase entre ellas, tal y como se observó en el primer variador. Si calculamos la frecuencia de la onda fundamental para este ESC, obtenemos un resultado de 14 ciclos en 25 ms, con una duración de 1.786 ms por ciclo. Esto nos proporciona una frecuencia de 560 Hz.

4.5.2 Ensayo 2: Análisis de las características técnicas del prototipo 2

Tras estudiar el funcionamiento del variador en el laboratorio se ha continuado con las características técnicas del propio prototipo.

4.5.2.1 Peso

Después de las conclusiones que se obtuvieron en las mediciones del modelo 1, se ha tratado de reducir el peso en el prototipo 2. Para ello, se ha sustituido las ruedas macizas de caucho por ruedas impresas en 3D, disminuido el número de conexiones y reducido el número de piezas impresas en 3D a instalar en la carcasa, con el objetivo de aligerar el longboard.



Figura 124. Medición de peso del prototipo 2.

Gracias a todos estos cambios hemos podido cumplir este objetivo, obteniendo en el modelo 2 un peso de 7.2 kg, que se encuentra dentro del rango de peso de los productos del mercado (7-8.8 kg).

4.5.2.2 Velocidad punta y autonomía

Para determinar estas características se ha realizado un ensayo en el que se ha puesto en funcionamiento el modelo 2 ya en el terreno, pasando por los tres niveles de potencia de los que dispone, en un pequeño circuito. Para la obtención de datos se empleó un móvil con GPS y la aplicación *Sports Tracker*.



Figura 125. Aplicación Sports Tracker.

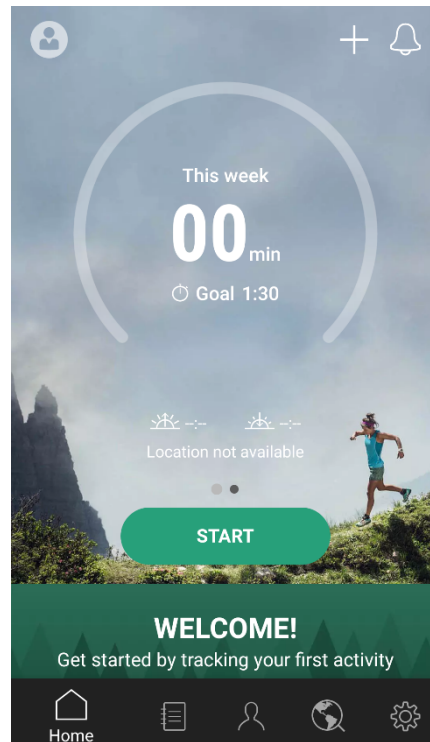


Figura 126. Pantalla de inicio de la app.

El trayecto recorrido y la información obtenida se muestra en las siguientes imágenes (Figura 127, Figura 128 y Figura 129). Esta aplicación muestra todo tipo de información respecto del trayecto que se realiza, pero los datos que nos interesan son:

- La velocidad media del longboard ha sido de 16 km/h, que coincide con la velocidad punta que alcanza el modo low, ya que fue el que más tiempo se utilizó.
- La velocidad máxima alcanzada es la de 28.2 km/h, al utilizar el modo high.
- El trayecto era prácticamente plano a excepción de una pequeña cuesta al final que ascendía a 3 metros de altura sobre el punto inicial.



Figura 127. Trayecto realizado.

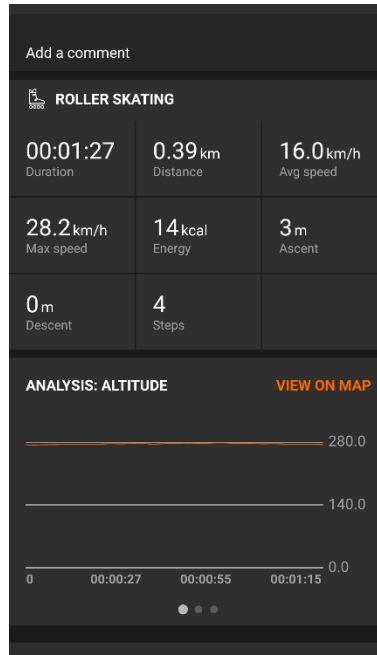


Figura 128. Información 1.

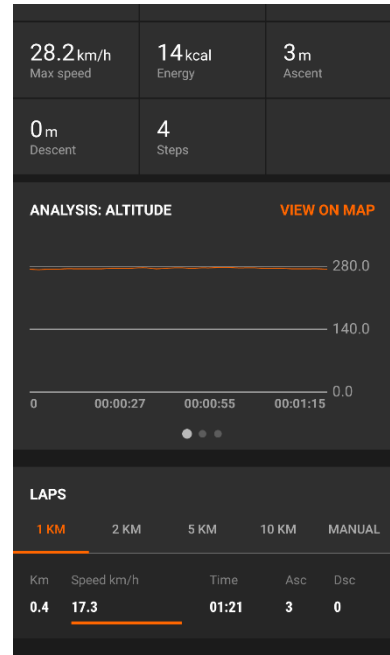


Figura 129. Información 2.

Para la medición del consumo se utilizó un pequeño vatímetro conectado entre la batería y el variador. Los resultados que se obtuvieron fueron una media de 6.5 A en llano y picos de 7.6 A en el punto de mayor exigencia, es decir, en el tramo de subida de la cuesta.

Si mantuviéramos un consumo de 6.5 A de forma sostenida, a una velocidad de 16 km/h, teniendo en cuenta la capacidad de 10 Ah de la batería, podemos calcular la distancia que puede recorrer el longboard en estas condiciones, obteniendo así su autonomía.

$$\frac{10 \text{ Ah}}{6.5 \text{ A}} = 1.54 \text{ h} = 1 \text{ h } 32 \text{ min de duración}$$

Por tanto,

$$\frac{16 \text{ km}}{\text{h}} * 1.54 \text{ h} = 24.64 \text{ km}$$

La autonomía estimada es de 24.64 kilómetros. Este resultado varía en la realidad ya que ningún terreno es eternamente plano y el consumo de los motores disminuye cuando se mantienen a velocidad constante. Pero nos da una idea bastante aproximada.

4.6 Conclusiones sobre el modelo 2

En este apartado vamos a razonar todos los resultados que hemos obtenido de los análisis y comentar varios aspectos referentes al prototipo 2.

4.6.1 Construcción

En esta ocasión se ha procurado realizar un producto con un aspecto más estético, parecido en la medida de lo posible a los productos comerciales que existen en el mercado, utilizando las herramientas disponibles. Como resultado se ha obtenido este longboard eléctrico, con un soporte dual para los motores con protectores para la transmisión, que la ocultan en gran medida a la vista, y una carcasa cerrada donde se ha instalado toda la electrónica. Todos estos detalles le dan al prototipo un acabado superior, más parecido a un producto acabado.

4.6.2 Funcionamiento

En cuanto al funcionamiento, la carcasa es robusta y mantiene la electrónica bien protegida frente a posibles golpes. Pero en el soporte del motor se ha echado en falta la aplicación de pletinas de aluminio para la sujeción de los motores, ya que el plástico es menos rígido y provoca pérdidas en la transmisión de potencia.

El cambio de variador ha sido una mejora considerable en cuanto a la comodidad de uso. Las suaves aceleraciones que produce facilitan la estabilidad del usuario sobre la tabla, y el manejo se vuelve más sencillo. Además, este variador posee una función de seguridad que apaga el sistema tras 10 minutos de inactividad. Esto hace al prototipo un producto más seguro ya que evita la descarga de las baterías mientras no se utiliza. Mencionar queda en este punto que la frenada ya no emite ningún sonido, y es estable, generando una frenada suave pero efectiva.

4.6.3 Características técnicas

Esta vez hemos conseguido mantener el prototipo dentro del rango de pesos de los productos del mercado. Aun así, este tipo de vehículos de 7 kg no son algo práctico que llevar cargando a pulso por ahí. En futuros modelos se debería de considerar reducir su peso para mayor comodidad del usuario final.

La velocidad máxima que se ha alcanzado ronda los 28 km/h, velocidad más que suficiente para este tipo de vehículos, y la autonomía estimada alcanza los 24.5 km aproximados. Estos resultados no alcanzan los valores de los productos tope de gama analizados previamente, pero se acercan considerablemente.

4.6.4 Comparativa entre los prototipos 1 y 2

En este apartado vamos a enfrentar los resultados del prototipo 1 con los del modo high del 2, ya que se encuentran en condiciones similares y por tanto comparables.

Mediciones	Prototipo 1	Prototipo 2
Voltaje de la batería (V)	25	25
Pico de corriente (A)	14	-
Corriente constante (A)	1.782	3.03
Frec. onda fund. (Hz)	400	560

Figura 130. Tabla comparativa entre los prototipos 1 y 2.

Hay varios puntos que se deben comentar de la tabla anterior. El primero es que la corriente constante, al pasar del prototipo 1 al 2 es prácticamente el doble. Esto es lógico ya que en el modelo 2 tenemos 2 motores instalados frente al motor único del modelo 1. El segundo dato interesante es la frecuencia de la onda fundamental. Según las características técnicas de los motores seleccionados, el motor del modelo 1 tiene un valor de 245 KV, mientras que el motor del modelo 2 tiene 650 KV. Como se calculó en el apartado 3.3, el valor KV es una referencia en cuanto a la velocidad en vacío que alcanza el motor dependiendo del voltaje que se le aplique. Por tanto, resulta fácil ver que el motor del modelo 2, como es de dimensiones más reducidas, tiene un valor de KV mayor, y por ello gira considerablemente más deprisa. Por este motivo, la onda que genera el variador para controlar este motor es de mayor frecuencia.

Como conclusión general para este prototipo, podemos decir que se han cumplido bastantes requisitos de las mejoras propuestas, como la reducción de peso del propio prototipo o la disminución de potencia de los motores. También ha habido aumentos considerables en la seguridad, estabilidad y comodidad durante su utilización.

Capítulo 5. Conclusiones

Finalizamos este trabajo con este capítulo de reflexiones, donde comentamos las distintas fases de este proyecto y resumimos los resultados obtenidos durante todo el proceso.

A modo de breve recapitulación, este proyecto comenzó con la propuesta de electrificar un vehículo compacto portátil como es el longboard, un tipo específico de monopatín que se caracteriza por tener una tabla más larga y ser indicado para realizar largos trayectos. Tras investigar los productos existentes y averiguar los componentes necesarios para su electrificación, se procedió a su construcción con un diseño creado por el propio autor de este documento. Una vez construido se realizaron varias pruebas sobre el prototipo a fin de determinar sus características básicas y aprender sobre el funcionamiento de uno de sus componentes, el variador.

Después de estos análisis se concluyó que el prototipo 1 era un producto funcional, pero que carecía de medidas de seguridad a la hora de utilizarlo. Esto nos llevó a una proposición de mejoras donde se presentan una serie de cambios que beneficiarían al funcionamiento, la seguridad y la comodidad de uso del vehículo. Se procedió pues al diseño y construcción de un segundo prototipo, también de la mano del propio autor.

Este segundo modelo se analizó en laboratorio tal y como se analizó el primero, a fin de poder compararlos y sacar conclusiones.

Pues bien, podemos decir que las mejoras introducidas al prototipo han sido beneficiosas en cuanto a materia de seguridad. También presenta un mejor comportamiento en su estabilidad y comodidad al uso, acercándonos así a las características que poseen los productos comerciales de este tipo.

Conclusión del autor

Este trabajo ha resultado ser muy interesante, y me ha permitido reforzar los conocimientos aprendidos en el transcurso del grado en ingeniería industrial, además de aprender muchos otros nuevos. Quiero agradecer al técnico de laboratorio ahora profesor de prácticas, Manuel Ángel García Peiro, y a mi tutor, Guillermo Escrivá Escrivá por su inestimable ayuda en este trabajo fin de grado.

Capítulo 6. Bibliografía

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Skateboarding_styles

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Penny_board

[3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Skateboard>

[4] <http://longboardmag.es/los-bushings/>

[5] https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Shore

[6] <http://longboardmag.es/las-ruedas-importantisimas/>

[7] <https://www.skatepro.es/a19.htm>

[8] <https://es.wikipedia.org/wiki/ABEC>

[9] <https://bitfab.io/es/blog/petg-impresion-3d/>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Diseño, construcción y estudio energético de un e-Longoboard (monopatín de travesía eléctrico)

Presupuesto

AUTOR: Juan Pablo Soler Sapena

TUTOR: Guillermo Escrivá Escrivá

Curso Académico: 2017-18

Introducción

En este documento se detallan los costes de fabricación de los prototipos que se han construido. Dado que son precisamente eso, prototipos, las horas que se han invertido en ellos han sido considerables y no reflejan verdaderamente las horas que se pueden emplear en ensamblarlos como si productos terminados se trataran. Por este motivo únicamente se incluyen los costes de los materiales, además del empleo de las máquinas utilizadas para su fabricación.

Capítulo 1. Costes de fabricación del prototipo 1

Descripción	Precio ud.	Cantidad	Importe
Tabla larga de Skate Longboard	34.95	1	34.95
Pack 4 Ruedas Longboard Caucho sobre Nylon 113*64mm	25.92	1	25.92
Motor Outrunner Turnigy Aerodrive SK3-6364- 245KV	69.94	1	69.64
ESC Beast Series X-Car 1:8 120A	53.66	1	53.66
Sistema de Tx y Rx Quanum 2.4Ghz 3 canales	22.05	1	22.05
Conectores de Nylon XT90 M/H (5 pares) Negro	5.83	1	5.83
Batería Turnigy 5000mAh 3S Lipo 20C	21.86	4	87.44
Cargador Inteligente ISDT SC-620 500W	60.00	1	60.00
Cable Turnigy 12AWG Rojo 1m	1.94	2	3.88
Cable Turnigy 12AWG Negro 1m	2.05	4	8.20
Cable 24AWG Rojo 3m	0.46	3	1.38
Cable 24AWG Gris 3m	0.46	3	1.38
Conectores JST-XH 4 pines M/H set de 50	2.99	1	2.99
Conectores JST-XH 7 pines M/H set de 50	3.94	1	3.94
Conectores HXT 4mm set de 10	2.93	1	2.93
Polea de aluminio POWGE 15 dientes 8mm	2.45	1	2.45
Correa HTD 5M 15mm*250mm	5.58	1	5.58
Bobina de filamento 3D PLA 1.0KG	19.90	2	39.80
Plancha de Aluminio 8mm 150*150mm	15.00	1	15.00
1h de Impresión 3D	0.50	50	25.00
1h de Fresado CNC	5.00	1	5.00

Coste material:477.02

Gastos de envío:57.62

Total Capítulo 1:534.64

Capítulo 2. Costes de fabricación del prototipo 2

Descripción	Precio ud.	Cantidad	Importe
Motor NTM Propdrive v2 42-58-650KV / 1295W	26.99	2	53.98
Variador ESC Dual Drive Controller	43.65	1	43.65
Correa HTD 5M 250mm	3.58	2	7.16
Polea Aluminio HTD 5M 12 dientes 5mm	3.19	2	6.38
Medidor de batería configurable hasta 15S	3.91	1	3.91
Disipador Aluminio 100*41*8mm	1.64	2	3.28
Pasta térmica adhesiva 5g	0.47	6	2.82
Bobina de filamento 3D Hobbyking PETG 1.0KG	18.58	2	37.16
Bobina de filamento 3D Hobbyking Flexible 0.8KG	26.36	1	26.36
1h de impresión 3D	0.50	154	77.00

Coste material:261.70

Gastos de envío:7.35

Total Capítulo 2:269.05

Resumen

Costes del capítulo 1:534.64

Costes del capítulo 2:267.05

Total Presupuesto:803.69

El presupuesto del presente proyecto asciende a la cantidad de:
OCHOCIENTOS TRES EUROS CON SESENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.