



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# Adaptación de un vehículo radiocontrol de combustión a propulsión eléctrica

Grado en Ingeniería Eléctrica

**Autor:** David Felguera Bascuñana

**Tutor:** Francisco Rodríguez Ballester

Septiembre de 2019



## Agradecimientos

Me gustaría agradecer en este pequeño apartado a mis padres, a mi hermano, a toda la familia y amigos, gracias a quienes soy quien soy y hacia quienes solo puedo expresar mi más sincero agradecimiento por su incondicional apoyo durante la etapa académica que hoy culmina.

También me gustaría hacer una mención especial a mi tutor Francisco Rodríguez Ballester por la confianza y dedicación depositada en mi durante la realización de este proyecto.



## Resumen

El presente proyecto detalla la adaptación de un vehículo teledirigido radiocontrol a gasolina a propulsión eléctrica. El estudio se estructura en tres partes bien diferenciadas.

En primer lugar, se trata el proceso de adaptación que ha sufrido el vehículo térmico para llegar a su completa adaptación eléctrica. Además, se explica el funcionamiento de ambos prototipos haciendo hincapié en los cambios sufridos en el proceso de adaptación.

En segundo lugar, tratamos la selección de los materiales a utilizar para cumplir de la manera más satisfactoria posible los objetivos propuestos en este proyecto. Estos objetivos serían la mejora de prestaciones y eficiencia, respetando las características iniciales del prototipo.

Para finalizar, abordamos el desarrollo del software que rige el comportamiento del vehículo. En él observamos dos partes bien diferenciadas. Una se centra en el funcionamiento de las señales PWM que rigen el control del vehículo radiocontrol y su adaptación y control desde el microcontrolador, mientras que la otra se centra en la seguridad con respecto a la temperatura desarrollada en el microcontrolador y el motor eléctrico.

## Palabras clave

1. Propulsión eléctrica
2. Vehículo radiocontrol
3. Sistemas empotrados
4. Microcontrolador
5. Frenada regenerativa
6. Motor eléctrico
7. Baterías



## Índice

|       |  |    |
|-------|--|----|
| I.    | Agradecimientos .....                              | 2  |
| II.   | Resumen.....                                       | 4  |
| III.  | Palabras clave.....                                | 4  |
| IV.   | Objetivo y motivación del proyecto .....           | 8  |
| V.    | Introducción .....                                 | 9  |
| VI.   | Antecedentes .....                                 | 11 |
| VII.  | Clasificación.....                                 | 12 |
| VIII. | Desarrollo de hardware del vehículo .....          | 13 |
|       | Funcionamiento del prototipo térmico.....          | 13 |
|       | Esquema eléctrico del prototipo térmico .....      | 18 |
|       | PIEZAS UTILIZADAS PARA ADAPTAR EL VEHÍCULO:.....   | 18 |
|       | PROCESO DE ADAPTACIÓN DEL VEHÍCULO:.....           | 21 |
|       | FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO ELÉCTRICO.....        | 24 |
|       | ESQUEMA ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO ELÉCTRICO .....    | 27 |
| IX.   | Desarrollo mecánico .....                          | 28 |
|       | Soportes realizados .....                          | 28 |
|       | Selección de piezas para el prototipo .....        | 32 |
| X.    | Desarrollo de software.....                        | 37 |
|       | Funcionamiento de los periféricos utilizados ..... | 37 |
|       | Algoritmo principal.....                           | 40 |
| XI.   | Proyectos futuros .....                            | 47 |
| XII.  | Conclusiones .....                                 | 48 |
| XIII. | Bibliografía y referencias.....                    | 49 |
| XIV.  | Presupuesto .....                                  | 52 |

## Listado de figuras

|   |    |
|---|----|
| FIGURA1: EXPLICACIÓN FUNCIONAMIENTO E-PEDAL DE NISSAN .....                                 | 9  |
| FIGURA2: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.....                            | 10 |
| FIGURA3: VEHÍCULO INICIALMENTE, EN FUNCIONAMIENTO TÉRMICO .....                             | 13 |
| FIGURA4: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO TÉRMICO .....  | 13 |
| FIGURA5: RECEPTOR.....  | 14 |
| FIGURA6: SEÑAL PWM CUANDO EL MOTOR SE ENCUENTRA AL RALENTÍ.....                             | 14 |
| FIGURA7: SEÑAL PWM CUANDO SE ACELERA A FONDO .....  | 15 |
| FIGURA8: SEÑAL PWM CUANDO SE ACELERA A FONDO .....  | 15 |
| FIGURA9: SERVOMOTOR.....  | 16 |
| FIGURA10: SERVOMOTOR CONECTADO A LA VÁLVULA DE ADMISIÓN DEL MOTOR .....                     | 16 |
| FIGURA11: SISTEMA DE TRANSMISIÓN A LAS CUATRO RUEDAS DEL VEHÍCULO .....                     | 17 |
| FIGURA12: ESQUEMA ELÉCTRICO INICIAL .....   | 18 |
| FIGURA13: MOTOR DE COMBUSTIÓN Y CONJUNTO DE ESCAPE .....                                    | 19 |
| FIGURA14: DEPÓSITO DE GASOLINA.....   | 19 |
| FIGURA15: PILAS QUE ALIMENTAN EL ESQUEMA ELÉCTRICO .....                                    | 20 |
| FIGURA16: MOTOR BRUSHLESS SENSORLESS Y VARIADOR ESC DE 80 A DE INTENSIDAD MÁXIMA .....      | 20 |
| FIGURA17: BATERÍAS DE POLÍMERO DE IONES DE LITIO .....                                      | 21 |
| FIGURA18: MICROCONTROLADOR STM32F401RE .....  | 21 |
| FIGURA19: ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE PIEZAS DEL PROTOTIPO TÉRMICO .....                     | 22 |
| FIGURA20: ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE PIEZAS DEL PROTOTIPO ELÉCTRICO.....                    | 22 |
| FIGURA21: ADAPTACIÓN PARA COLOCAR VARIADOR.....   | 23 |
| FIGURA22: IMAGEN DEL CABLEADO .....   | 24 |
| FIGURA23: VEHÍCULO EN FUNCIONAMIENTO ELÉCTRICO .....  | 25 |
| FIGURA24: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO ELÉCTRICO.....  | 26 |
| FIGURA25: ESQUEMA ELÉCTRICO FINAL .....   | 27 |
| FIGURA26: SOPORTES PARA BATERÍAS .....  | 28 |
| FIGURA27: PRIMER BOCETO DEL SOPORTE MOTOR .....   | 29 |
| FIGURA28: BOCETO FINAL DEL SOPORTE MOTOR .....  | 30 |
| FIGURA29: BOCETO FINAL DEL SOPORTE DEL CONTROLADOR.....                                     | 31 |
| FIGURA30: CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR ESC Y MOTOR BRUSHLESS SENSORLESS .....               | 33 |
| FIGURA31: GRÁFICO COMPARATIVO DE LAS DENSIDADES ENERGÉTICAS DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS ..... | 35 |
| FIGURA32: CONFIGURACIÓN TIMER 2 .....   | 37 |
| FIGURA33: CONFIGURACIÓN CONVERTIDOR ADC.....  | 38 |
| FIGURA34: CONFIGURACIÓN TIMER 4 .....   | 39 |
| FIGURA35: VOLTAJES DE SALIDA EN COMPARACIÓN CON LA TEMPERATURA MEDIDA: .....                | 45 |

## Listado de tablas

|   |    |
|---|----|
| TABLA 1: TABLA DE TIEMPOS OBSERVADOS CON EL MOTOR AL RALENTÍ: .....             | 41 |
| TABLA 2: TABLA DE TIEMPOS OBSERVADOS DURANTE UNA ACELERACIÓN A FONDO.....       | 41 |
| TABLA 3: TABLA DE TIEMPOS OBSERVADOS DURANTE UNA FRENADA A FONDO.....           | 42 |
| TABLA 4: TABLA EXTRAÍDA DEL "DATA SHEET" DEL MICROCONTROLADOR (PÁGINA 112)..... | 44 |
| TABLA 5: TABLA EXTRAÍDA DEL "DATA SHEET" DEL MICROCONTROLADOR (PÁGINA 11).....  | 46 |
| TABLA 6: PRESUPUESTO .....  | 52 |



## Objetivo y motivación del proyecto

El desarrollo de este trabajo viene motivado por nuestro interés en el mundo del motor y la posibilidad de crear un prototipo real y de bajo coste al que aplicar los conceptos estudiados durante el grado. Nuestra pretensión ha sido la de orientar el proyecto hacia la resolución de problemas del mundo actual, tales como la limitación de consumo de combustibles fósiles o el exceso de contaminación en el ámbito del automóvil, mediante el desarrollo de vehículos respetuosos con el medioambiente.

El objetivo del presente proyecto es adaptar un vehículo radiocontrol de gasolina a propulsión eléctrica. El proyecto consta de los siguientes objetivos más específicos para poder completar nuestra adaptación:

1. Construir el prototipo de propulsión térmica a gasolina y comprobar las prestaciones que este presenta. Comprobando en la construcción su funcionamiento para mejorar el diseño durante la adaptación del vehículo.
2. Realizar la adaptación del modelo térmico a propulsión eléctrica. Para ello, se rediseña el circuito eléctrico del vehículo.
3. Desarrollar el programa de control del vehículo que maximice la vida útil de las baterías y reduzca el consumo del vehículo por medio del control de la frenada regenerativa.

## Introducción

Los vehículos híbridos y eléctricos dieron su auge con la finalidad de solventar uno de los principales problemas a los que se enfrenta la sociedad actual, la contaminación y el cambio climático. En el presente proyecto se aborda la adaptación de un vehículo radiocontrol con propulsión térmica a propulsión eléctrica. Todo ello como posible solución a los problemas anteriormente citados y partiendo del objetivo de mejorar las prestaciones que ofrece el prototipo de combustión existente.

Como podemos imaginar, el tema de los vehículos híbridos y eléctricos es un tema de actualidad en la mayoría de marcas automovilísticas, que llevan años intentando desarrollar prototipos que compitan en el mercado con los vehículos ya existentes, además, de incorporar una tecnología más limpia y eficiente. Por ello, el trabajo que se presenta a continuación parte de los estudios previos realizados en este campo en los últimos años, para adaptarlos al prototipo desarrollado.

De estos estudios previos hemos aprendido el funcionamiento de los vehículos eléctricos actuales en los que nos vamos a basar, en especial, en el nuevo modelo de Nissan Leaf. Esto se debe a que utiliza un sistema de control de velocidad basado en un único pedal, denominado e-pedal. Este pedal funciona de manera que, si aumentamos la presión sobre él, el coche acelera. En caso contrario, disminuimos la presión, el coche realiza una frenada progresiva y regenerativa que recupera parte de la energía utilizada en la aceleración. Cuenta también con un freno mecánico que proporciona seguridad en caso de necesitar una frenada de emergencia.

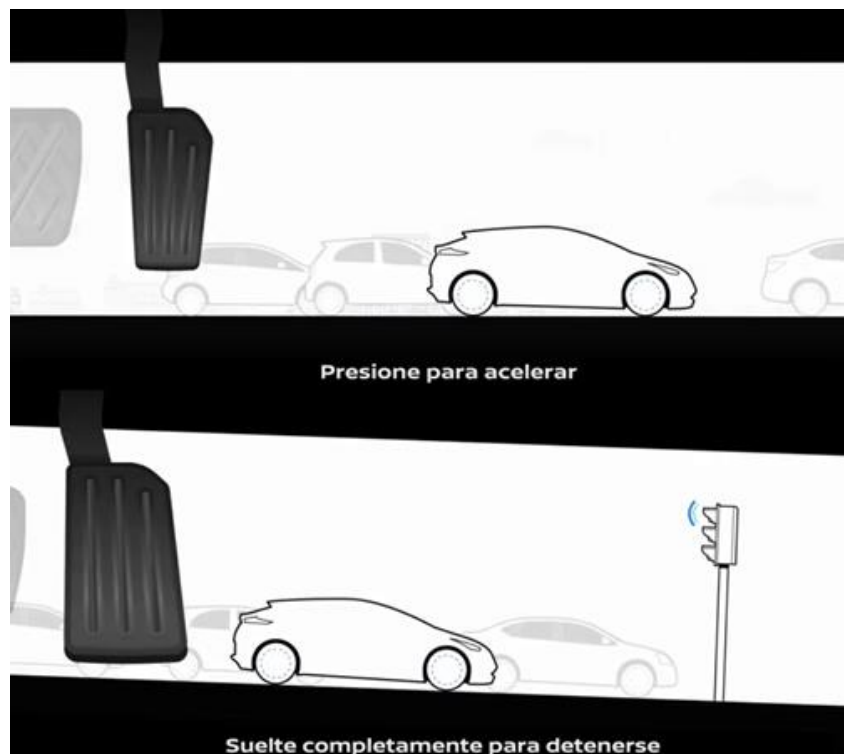


Figura1: Explicación funcionamiento E-pedal de Nissan

Una vez tenemos claro el control de velocidades en el que basamos el proyecto, podemos explicar el funcionamiento de los vehículos eléctricos actuales, en los que nos basamos para realizar nuestro proyecto.

### Funcionamiento de los vehículos eléctricos:

Cuando hablamos de vehículos eléctricos, por lo general, hacemos referencia a los coches eléctricos con baterías. El esquema de funcionamiento por lo general es el siguiente:

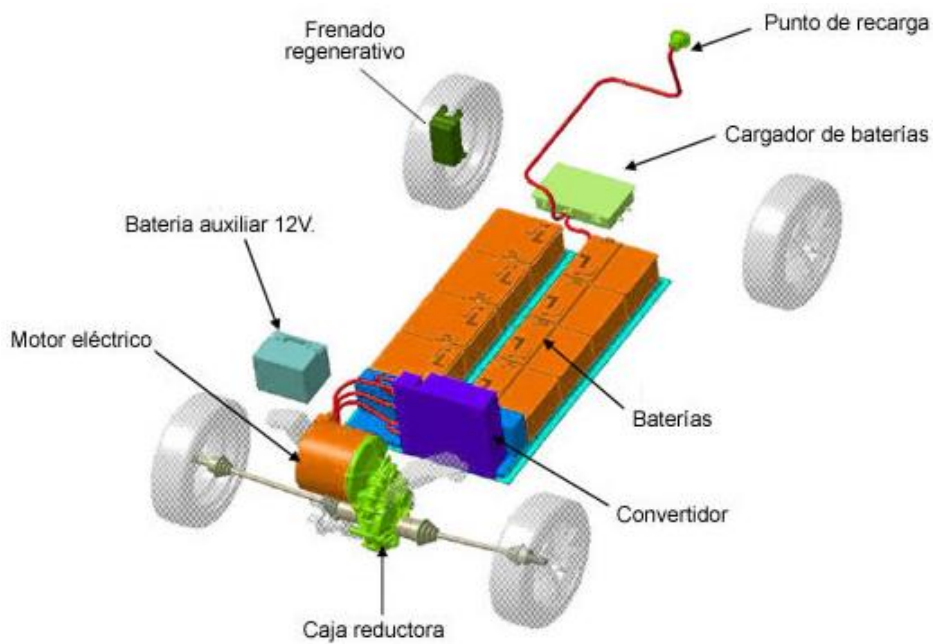


Figura2: Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico

Podemos observar que este vehículo se compone de un conjunto de baterías que almacenan la energía, un motor trifásico que puede funcionar como generador para cargar las baterías y un convertidor que pasa de corriente continua almacenada en las baterías a corriente alterna trifásica que utiliza el motor para proporcionar movimiento. La energía se entrega por las baterías y mediante el convertidor se transforma a corriente trifásica y a la tensión necesaria para que el motor eléctrico genere el movimiento. En caso contrario, cuando se realiza el frenado regenerativo, el movimiento del coche hace que el motor funcionando como generador entregue energía al convertidor donde se transforma en corriente continua que se almacena en las baterías.

Este es una explicación básica del funcionamiento de un coche eléctrico en el que nos basamos para realizar la adaptación, y en la cual profundizaremos en la explicación de nuestro modelo.

## Antecedentes

En la realización de este proyecto no he encontrado ningún trabajo de final de grado o master que hable de este tema, aunque si existen proyectos de electrificación de vehículos radiocontrol dentro del mundo de la competición con estos coches. La mayoría de estos proyectos consisten en intercambiar el motor a gasolina por un variador y un motor eléctrico. En este proyecto hemos añadido como elemento diferenciador un microcontrolador que nos permitirá implementar futuras mejoras: añadir controles de consumo, dispositivos de seguridad frente a temperaturas, diferentes modos de funcionamiento dependiendo de la carga de la batería (regular consumos del motor para alargar vida de la batería), etc.

## Clasificación

En el mundo del radiocontrol existen muchos tipos de vehículos posibles. En este proyecto nosotros partimos de un coche de gasolina (también denominados nitro) a escala 1/10. Existen modelos en tres escalas diferentes:

- Escalas pequeñas: engloban vehículos de escala 1/18 o inferior (1/24, ...).
- Escalas medianas: engloban vehículos de escala 1/8 a 1/16. Nuestro proyecto de coche radiocontrol se englobaría en este sector. Son los modelos más extendidos.
- Escalas grandes: engloban los vehículos de escalas inferiores a 1/8. Son los más caros y parecidos a automóviles reales.

También podemos distinguir entre vehículos eléctricos que se mueven por medio de un motor brushless o brushed), o vehículos a gasolina (nitro) que utilizan un pequeño motor de gasolina. En nuestro proyecto vamos a realizar una adaptación de un coche diseñado para funcionar como nitro, para que pase a funcionar como puramente eléctrico.

Finalmente, podemos clasificar un coche radiocontrol según si se diseña para ser utilizado en circuito o en terreno. Los coches de pista tienen el chasis más bajo, mientras que los todoterrenos son más altos y versátiles. Nuestro vehículo se englobaría dentro de una categoría intermedia denominada buggy, que mezcla las características de los coches de pista y los todoterrenos otorgando comportamientos correctos en todos los terrenos posibles. Es el tipo de vehículos utilizados por personas que se inician en este mundo por su facilidad de conducción.

## Desarrollo de hardware del vehículo

El hardware inicial que podíamos encontrar en el vehículo una vez finalizado el montaje del mismo, se puede observar en la figura 3:

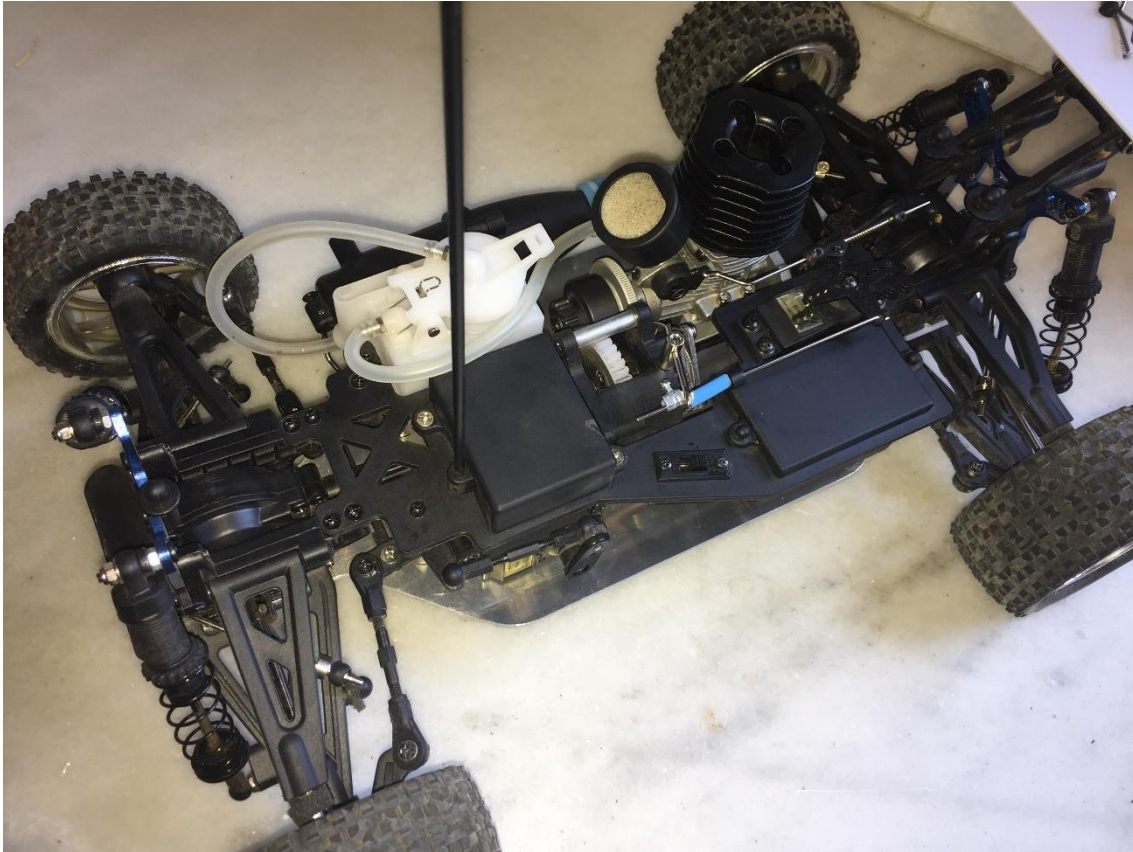


Figura3: Vehículo inicialmente, en funcionamiento térmico

## Funcionamiento del prototipo térmico

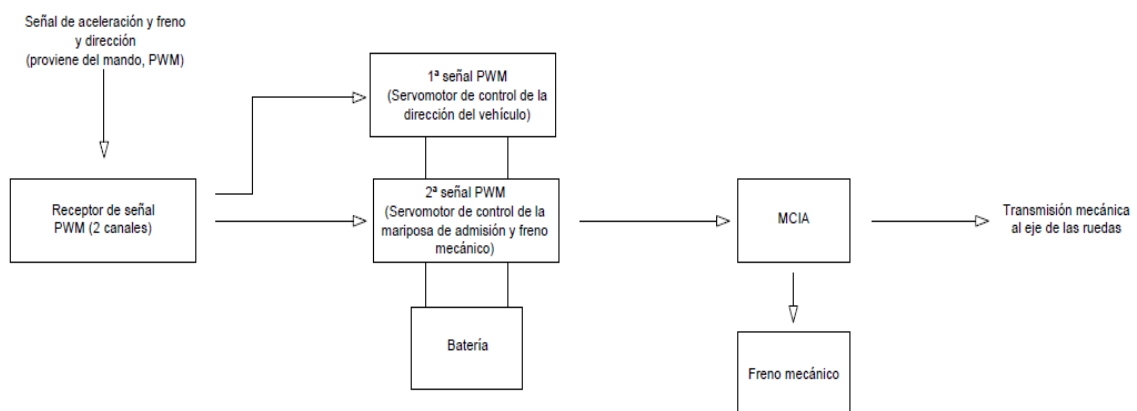


Figura4: Esquema de funcionamiento térmico



Comenzaremos comentando el funcionamiento en esta configuración. Como se puede observar en la Figura4, el vehículo se controla básicamente por dos señales PWM<sup>1</sup> que provienen del mando y que se reciben en el vehículo por medio del receptor (Figura5).



Figura5: Receptor

Las señales que se utilizan en el control de los servos son de onda cuadrada. Tienen un periodo de 18 milisegundos y su ciclo de trabajo varía entre 1 milisegundo y 2 milisegundos. Por ejemplo, en la señal de control<sup>2</sup> del servomotor que controla la aceleración del motor, inicialmente se tiene una onda similar a esta:

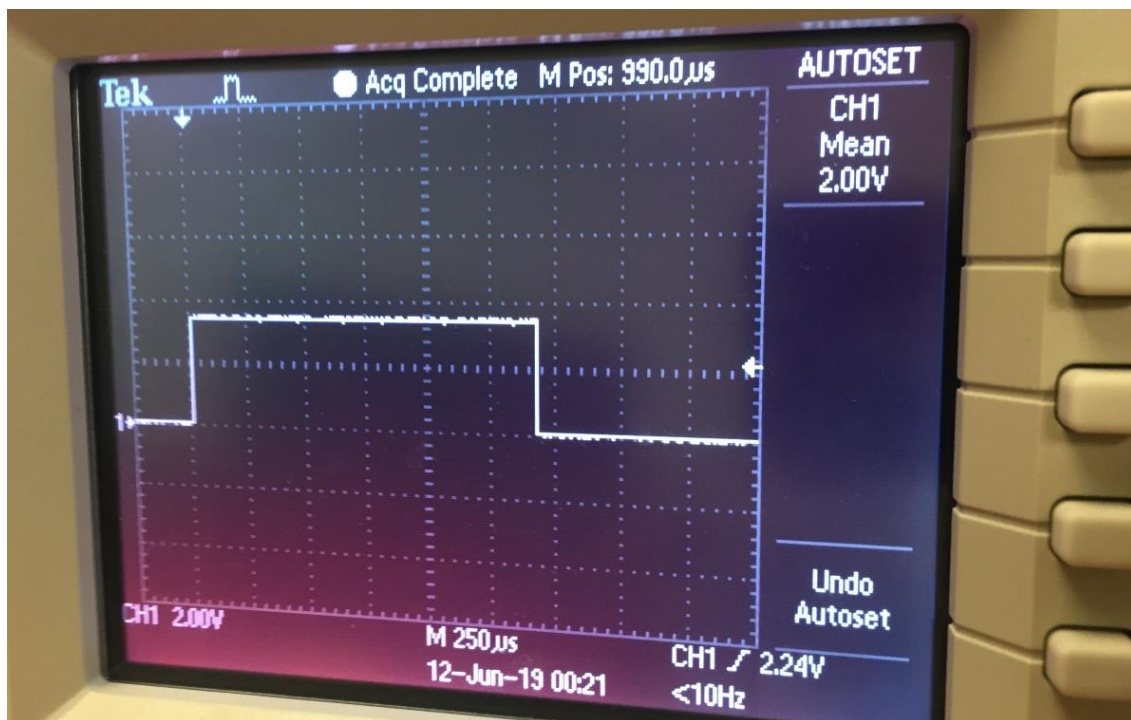


Figura6: Señal PWM cuando el motor se encuentra al ralenti

<sup>1</sup> **Pulse-width modulation** (modulación por ancho de pulso): Técnica utilizada para transmitir información por un canal de comunicaciones, por medio de la modulación del ciclo de trabajo de una onda periódica.

<sup>2</sup> Las señales de la imagen se observan tras analizarlas en un osciloscopio.

Cuando el servomotor se encuentra en posición neutra (motor al ralentí), el tiempo que está activa la señal de control es de 1,5 milisegundos.

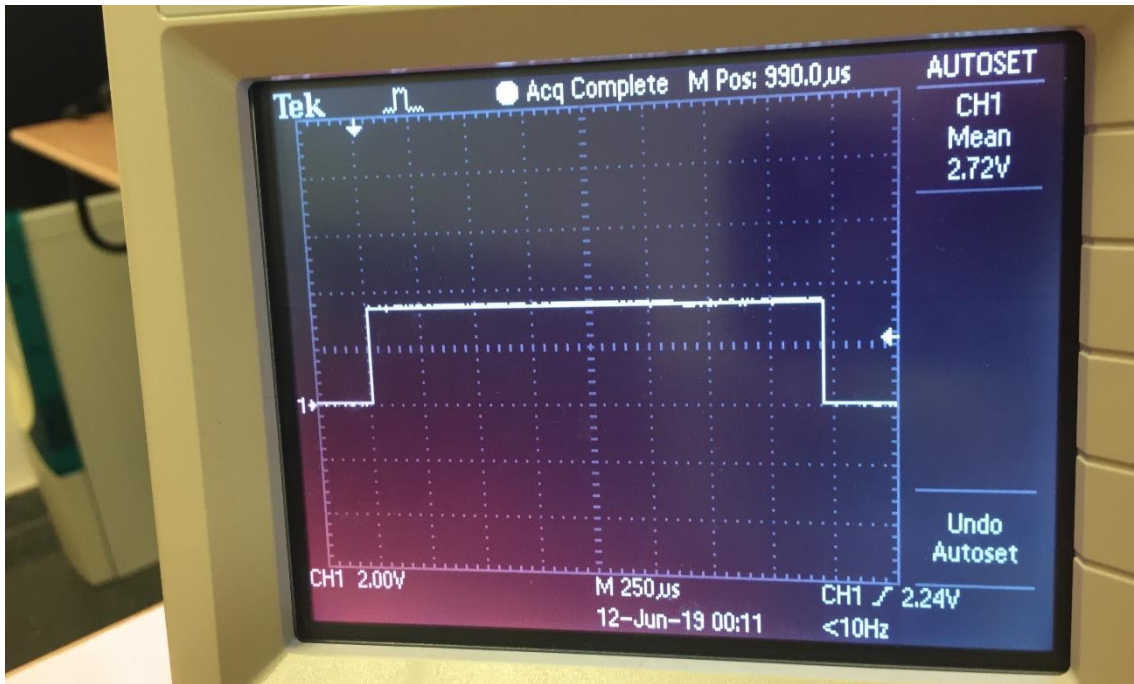


Figura7: Señal PWM cuando se acelera a fondo

Cuando el servomotor se encuentra en la posición de máxima aceleración, el tiempo que está activa la señal de control es de 2 milisegundos.

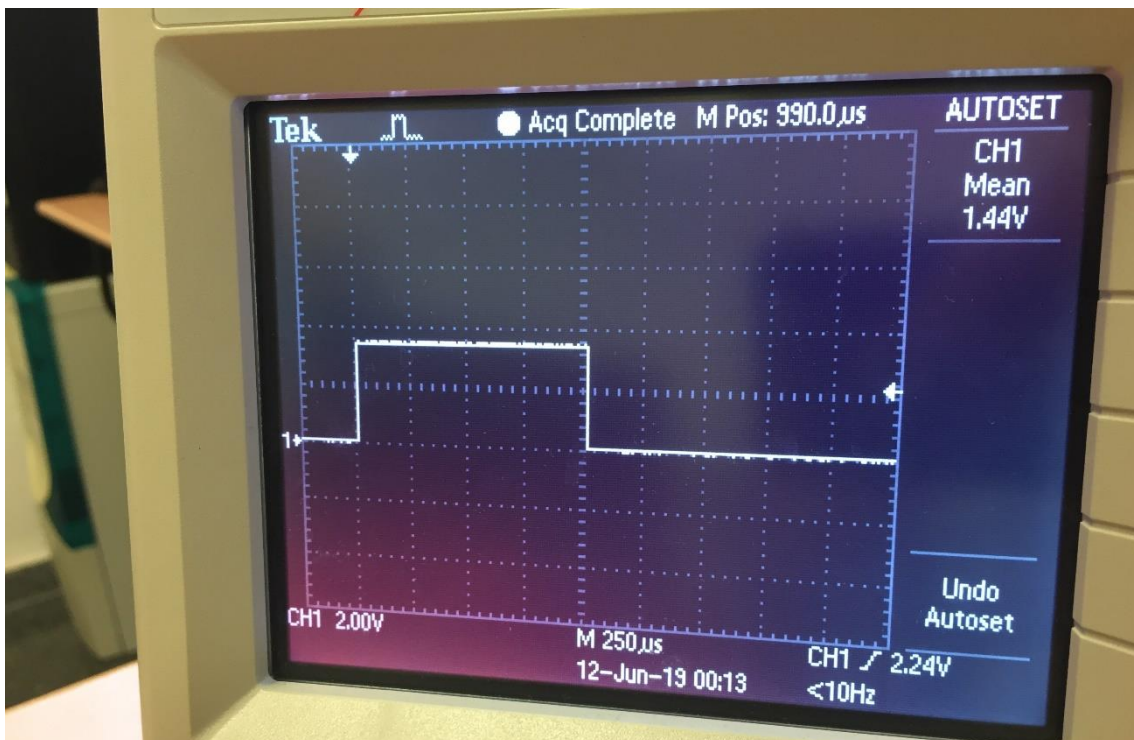
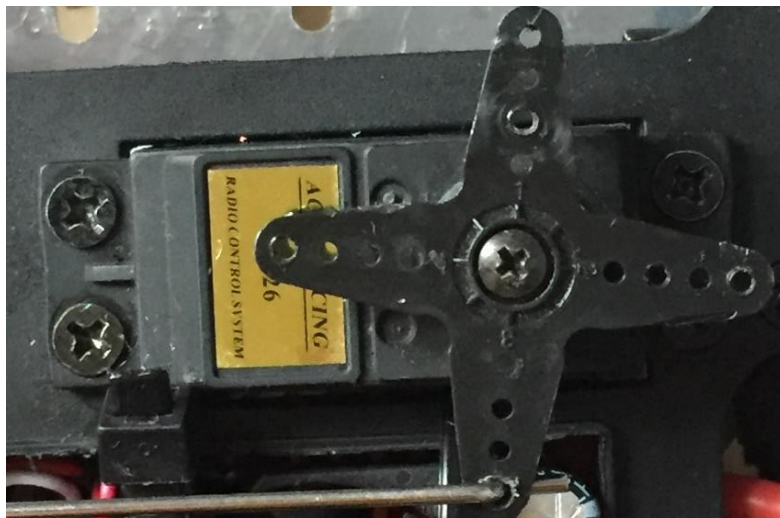


Figura8: Señal PWM cuando se acelera a fondo

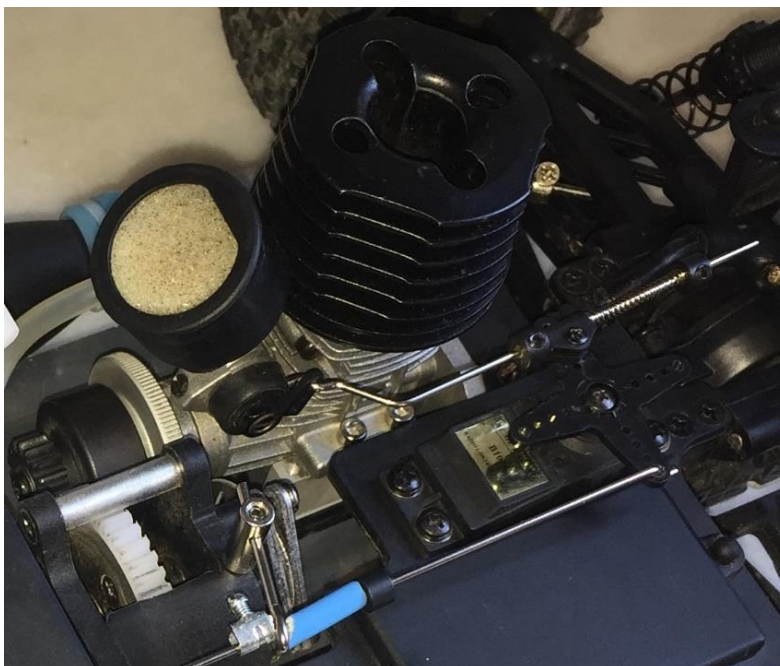


Cuando el servomotor se encuentra en la posición de máximo frenado, el tiempo que está activa la señal de control es de 1 milisegundos.

De las señales que llegan al receptor, la segunda se transmite al servomotor (Figura9) que controla la válvula de admisión del motor (Figura10). Por medio de movimientos hacia delante o hacia atrás de la mariposa conectada al servo, se abre o cierra la válvula, facilitando o estrangulando la entrada de gasolina al motor. Esto provoca que el motor aumente o disminuya su velocidad de giro, con lo que conseguimos controlar la velocidad del vehículo. Este servomotor va unido a un freno mecánico y en el momento de realizar una frenada, al mismo tiempo que estrangula la entrada de gasolina al motor, actúa sobre el freno, provocando que se detenga el vehículo.

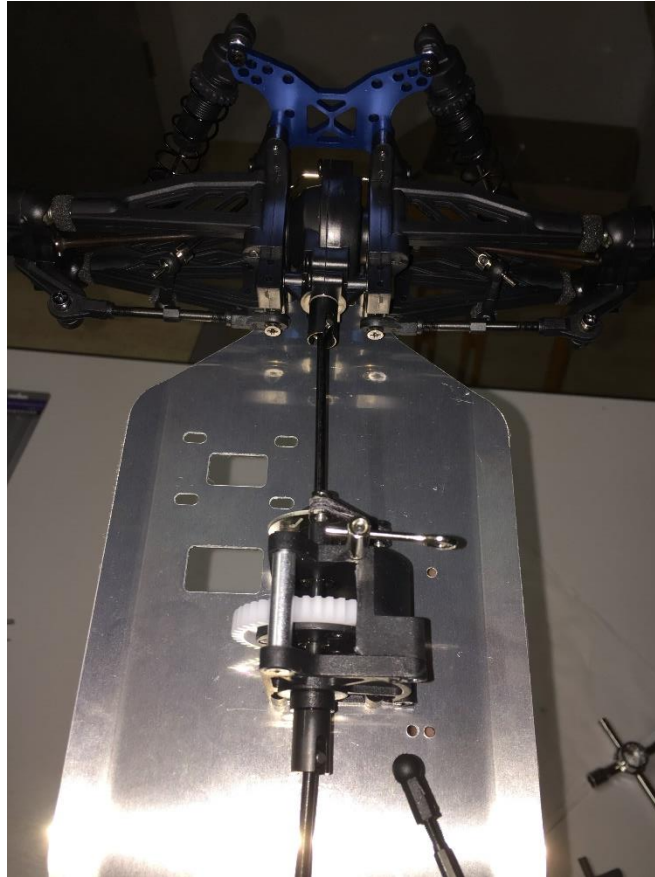


*Figura9: Servomotor*



*Figura10: Servomotor conectado a la válvula de admisión del motor*

Al mismo tiempo, mediante un tren de engranajes reductor (Figura10), el motor transmite la potencia al sistema de transmisión (Figura11), que se encarga de transmitir la potencia a las cuatro ruedas.

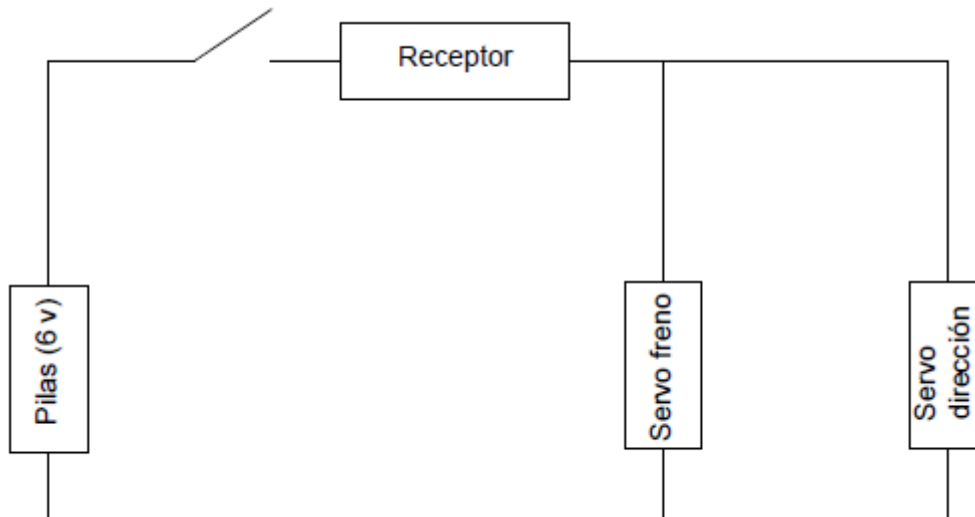


*Figura11: Sistema de transmisión a las cuatro ruedas del vehículo*

La primera de las señales se transmite al servomotor (Figura9) que controla el sistema de dirección del vehículo, provocando los giros del vehículo. Este sistema no lo hemos modificado en la adaptación. Nos centraremos en modificar el sistema de tracción.

## Esquema eléctrico del prototipo térmico

El esquema eléctrico que inicialmente presentaba era sencillo. En la siguiente imagen se observa:

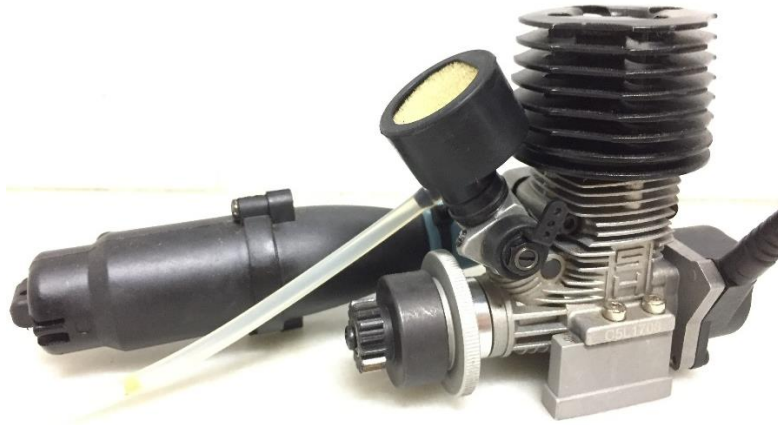


*Figura12: Esquema eléctrico inicial*

Constaba de cuatro pilas de 1,5 v en serie que proporcionaban una tensión de 6 v al sistema. Estas proporcionaban la energía al receptor y a su vez llevaban la energía a los dos servomotores que se encontraban colocados en paralelo.

### PIEZAS UTILIZADAS PARA ADAPTAR EL VEHÍCULO:

El presente proyecto consta de la adaptación del vehículo a propulsión eléctrica y para ello hemos tenido que realizar modificaciones en la configuración de la distribución de los elementos que componen el vehículo. Hemos eliminado de forma permanente los siguientes elementos:



*Figura13: Motor de combustión y conjunto de escape*

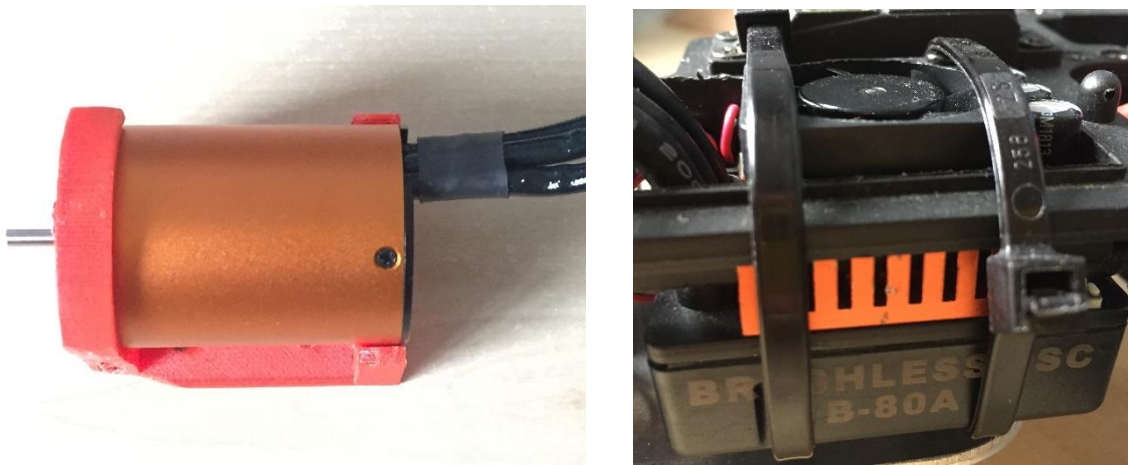


*Figura14: Depósito de gasolina*



*Figura15: Pilas que alimentan el esquema eléctrico*

Para conseguir el nuevo diseño eléctrico del vehículo hemos añadido los siguientes elementos<sup>3</sup>:



*Figura16: Motor brushless sensorless y variador ESC de 80 A de intensidad máxima*

---

<sup>3</sup> Se adjuntan las referencias de compra en los anexos del proyecto.





Figura17: Baterías de polímero de iones de litio

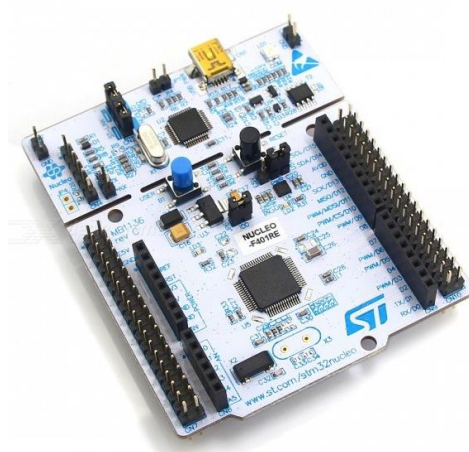


Figura18: Microcontrolador STM32F401RE

#### PROCESO DE ADAPTACIÓN DEL VEHÍCULO:

En el proceso de adaptación se han realizado numerosos cambios en el vehículo. Inicialmente la distribución esquemática de los objetos que conformaban el prototipo era:

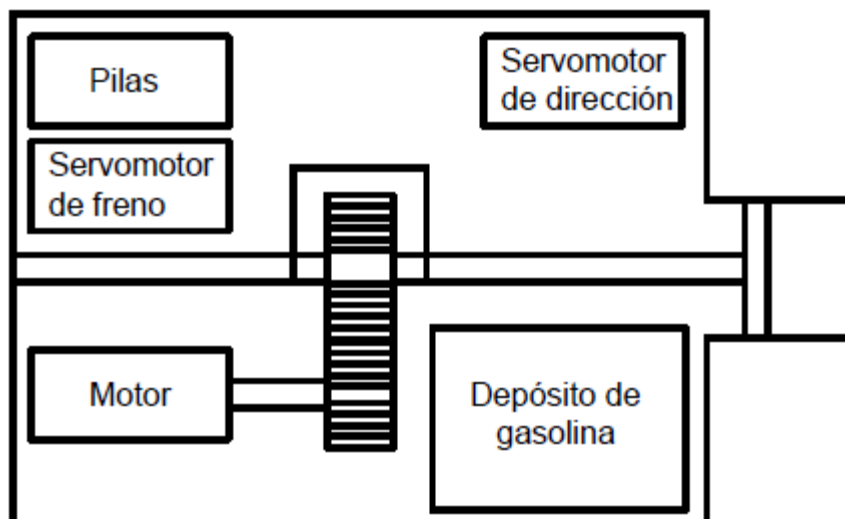


Figura19: Esquema de distribución de piezas del prototipo térmico

Tras la adaptación la distribución esquemática de los objetos que conformaban el prototipo es:

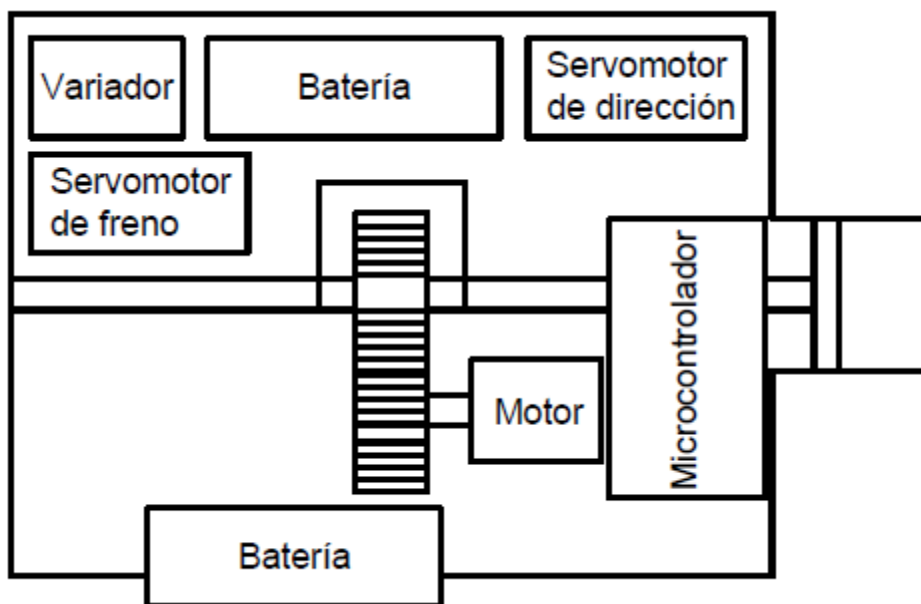


Figura20: Esquema de distribución de piezas del prototipo eléctrico

Esta nueva distribución está planteada para mantener la distribución de pesos del vehículo lo más uniforme posible. Inicialmente el peso aproximado de los elementos que se han eliminado era de:

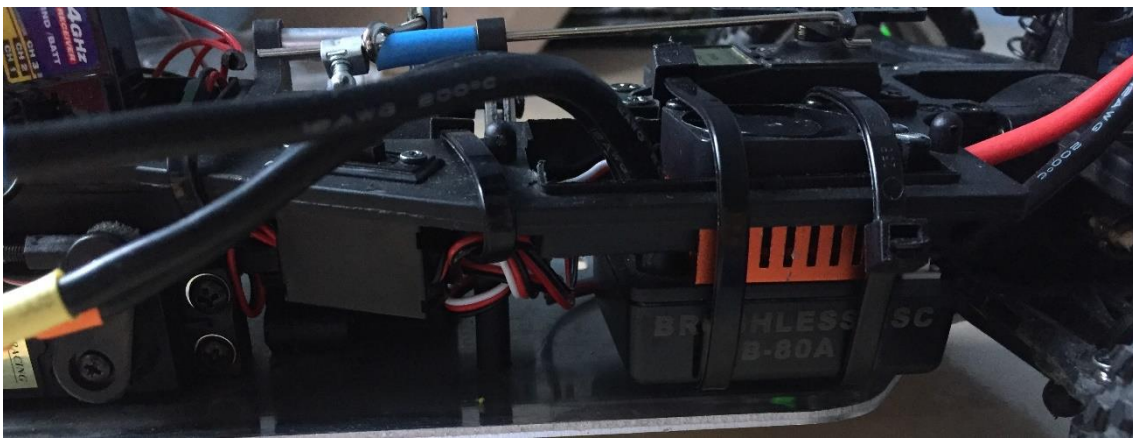
$$750 \text{ g (depósito lleno)} + 280 \text{ g (motor térmico)} = 1 \text{ kg}$$

Tras la adaptación, se ha colocado el soporte del microcontrolador para compensar el peso del depósito de gasolina y el motor eléctrico y su soporte para compensar el peso del motor térmico. Esto permite que el reparto de pesos se mantenga lo más parecido al momento inicial.

Puesto que las baterías son los elementos más pesados a recolocar en el coche, hemos optado por colocar dos baterías de la mitad de capacidad de la necesaria para nuestro proyecto, una a cada lado del vehículo y lo más atrasadas posible.

Los cambios en el vehículo que han sido necesarios para la completa adaptación de nuestro prototipo son:

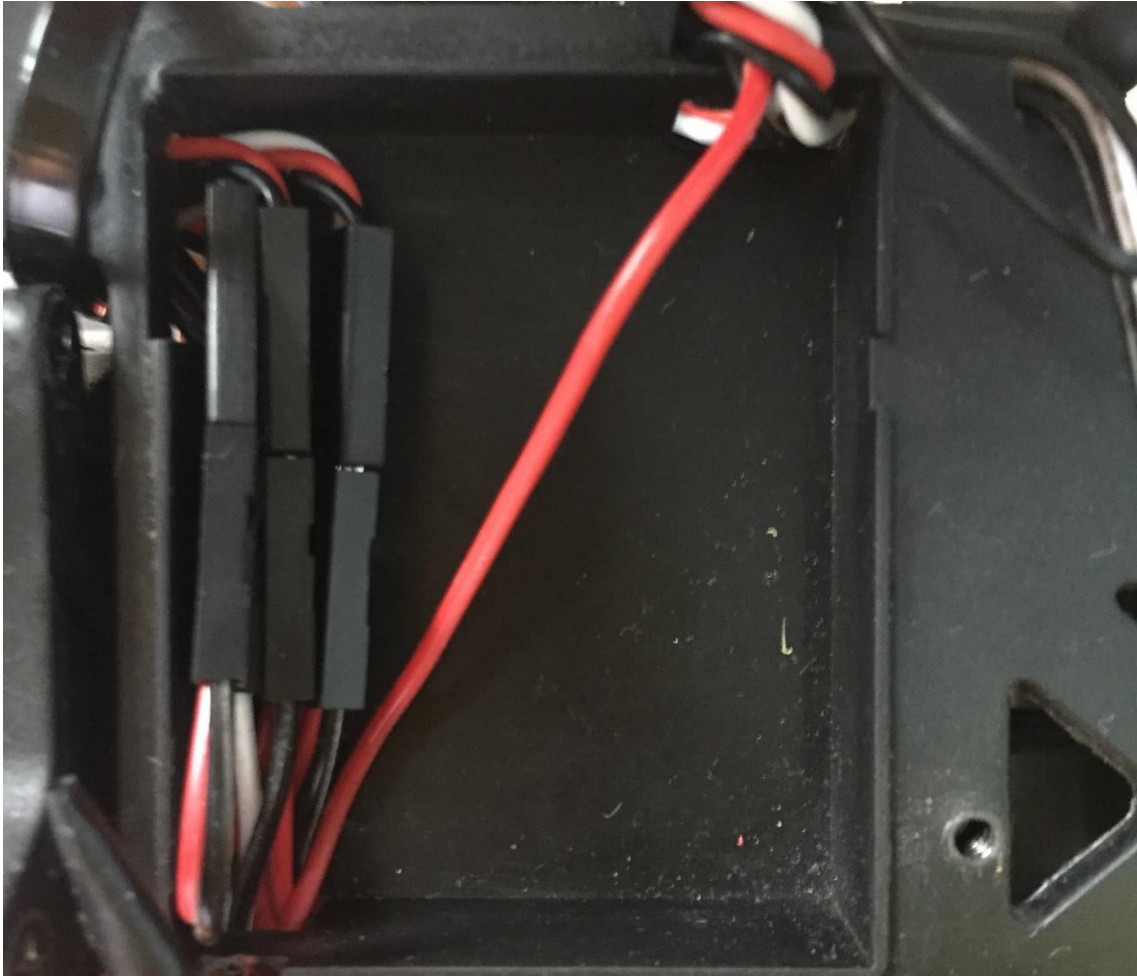
- Se ha eliminado por completo el soporte de las pilas que alimentaban el sistema eléctrico, con la intención de facilitar la colocación del variador. Todo ello siguiendo el modelo de distribución de pesos que más adelante se explicará.



*Figura21: Adaptación para colocar variador*

- Se han realizado soportes especiales para las baterías, el nuevo motor y el microcontrolador, que se explicarán en el diseño de materiales. Los soportes de las baterías se han ubicado en los laterales del vehículo, realizando una distribución de pesos uniforme (favoreciendo la estabilidad del vehículo). El del motor se ha ubicado en la parte delantera derecha del vehículo, ya que esta distribución nos permite una mejor refrigeración. Además, nos ha permitido no modificar el sistema de transmisión. Por último, el soporte del microcontrolador lo hemos colocado en la parte delantera del vehículo, entre el centro de este y la rueda derecha, para compensar el peso añadido en la parte trasera con las baterías. Además, el tamaño de este soporte ajusta a la perfección con el hueco disponible. Todo ello se puede apreciar en la Figura21.
- Se ha modificado el cableado del coche utilizando el hueco del receptor para realizar las conexiones necesarias, consiguiendo así, disimular el gran aumento de estas.

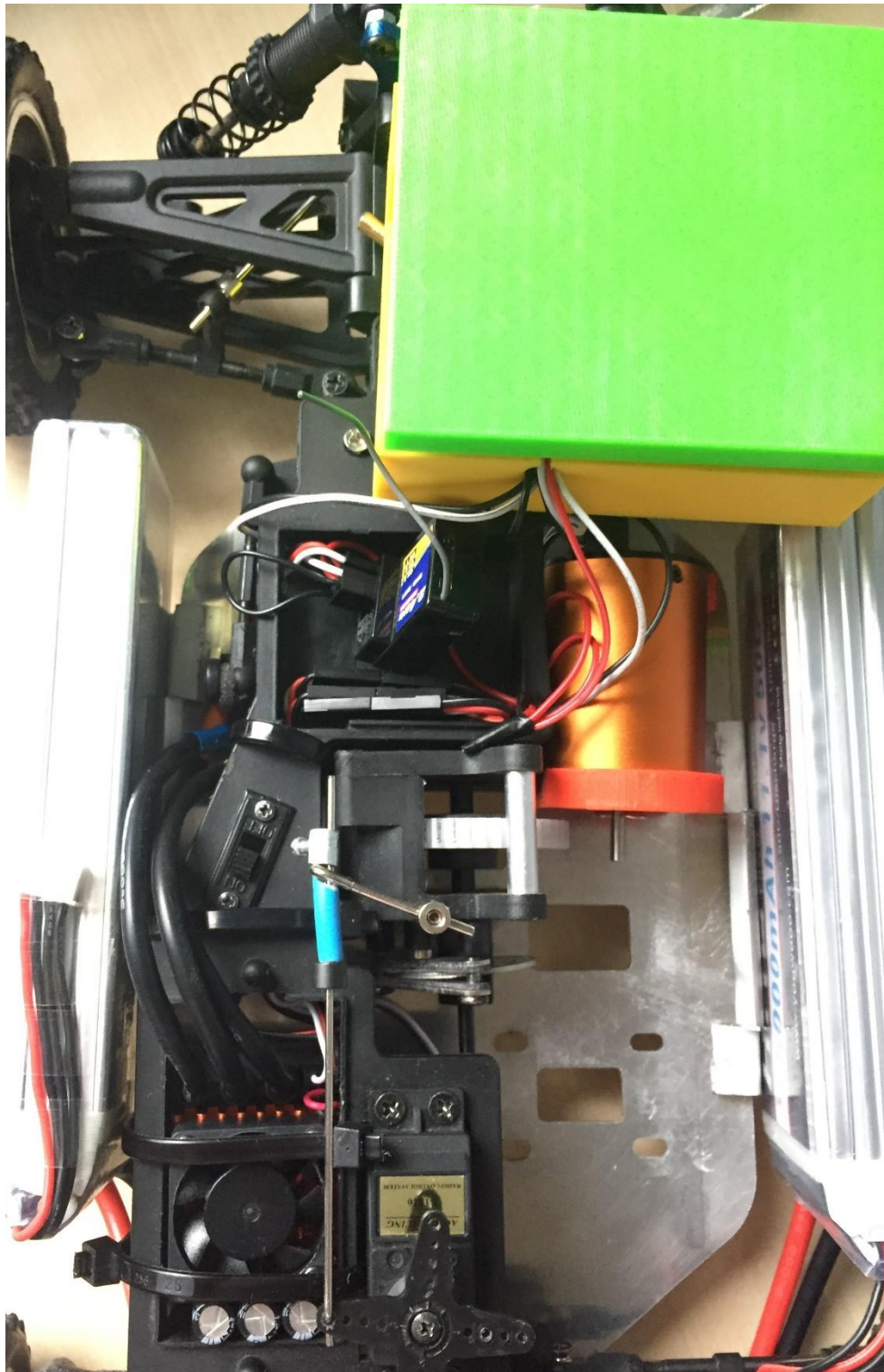




*Figura22: Imagen del cableado*

#### FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO ELÉCTRICO

El hardware del prototipo una vez adaptado a propulsión eléctrica se puede observar en la siguiente imagen:



*Figura23: Vehículo en funcionamiento eléctrico*

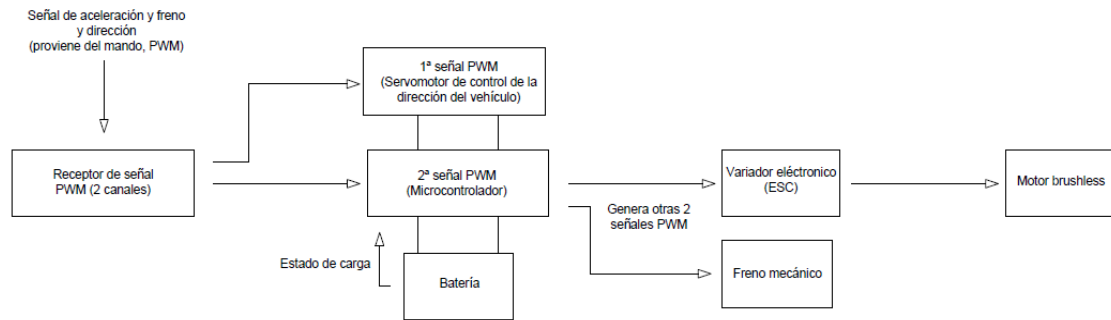


Figura24: Esquema de funcionamiento eléctrico

El funcionamiento del prototipo eléctrico será similar en muchos aspectos al funcionamiento térmico. La señal llegará a través del receptor, pero en este caso podemos observar que en el control de la segunda señal (la que controla la velocidad del motor) hemos añadido un microcontrolador que nos permite recibir la señal, analizarla y generar dos señales idénticas (en la descripción del software comentaremos como se realiza). Estas son:

- La primera se dirige al variador electrónico (ESC). Este se encarga de crear una corriente alterna trifásica rotatoria que provoca el movimiento del motor. En función de la señal PWM que recibe del microcontrolador, el variador modifica la corriente que le inyecta al motor. Esto provoca cambios en la velocidad de giro del motor, ya que el motor está engranado con la transmisión (de igual manera que lo hacía el motor térmico) y así se obtiene un control total sobre la velocidad del vehículo.
- La segunda se dirige al servomotor que controlaba la válvula de admisión, que ahora se destina al freno de emergencia. Como explicaremos mejor en el apartado de software, cuando el usuario indique que requiere de un frenado brusco, el microcontrolador mandará dos señales. La primera al variador para que el motor reduzca su velocidad (pase a generar energía, deteniendo así el movimiento del vehículo) y la segunda, para mejorar la eficiencia del frenado, al servomotor que actuará sobre el freno mecánico. Solo en casos de frenadas bruscas se utilizará este dispositivo.

Una de las funcionalidades que hacen tan interesante la adaptación del vehículo térmico a eléctrico es la reutilización de las frenadas para generar energía eléctrica (frenadas regenerativas). Cuando el variador recibe una señal de frenado en el motor hace que este pase a comportarse como generador, reduciendo su velocidad y generando una corriente que se utilizará para cargar las baterías. Maximizaremos el uso de esta funcionalidad de los motores eléctricos para elevar la eficiencia de nuestro prototipo al máximo. Por ello, todas las frenadas se realizarán de esta manera, a excepción de los casos en los que el usuario requiera de una frenada de emergencia (el tiempo activo de la señal PWM que llega al variador se sitúe cerca de 1 milisegundo).

## ESQUEMA ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO ELÉCTRICO

El esquema eléctrico que presenta el nuevo modelo eléctrico del prototipo es más elaborado. En la siguiente imagen se observa:

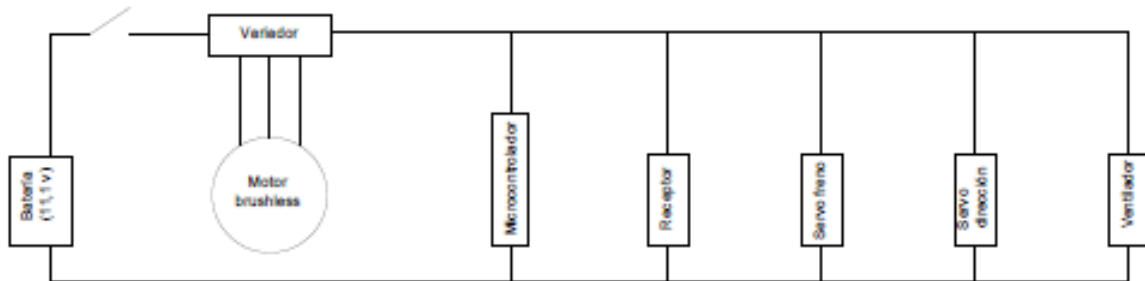


Figura25: Esquema eléctrico final

Las baterías alimentan directamente al variador que proporcionará directamente la energía al motor en función de la señal de control que reciba. Además, el variador cuenta con 3 cables de baja potencia (uno blanco por donde recibe la señal proveniente del microcontrolador y que presenta la información de la señal PWM, otro rojo que lleva la alimentación (positivo) del sistema al micro y por último uno negro que actúa como negativo del sistema de alimentación de los demás dispositivos). Esta alimentación, se lleva al microcontrolador, para permitir que se mantenga alimentado sin necesidad de estar conectado por USB al ordenador.

Como se explica en el “User manual” (página 21), la alimentación se conectará al pin “E5V” ya que la tensión de control que saca el variador hacia el resto de elementos es de 5v. Para poder conectar la alimentación del microcontrolador desde este pin y no por el cable micro USB, hemos tenido que realizar una modificación en el puente del pin JP5, pasando este de los pines 2 y 3 a los pines 1 y 2.

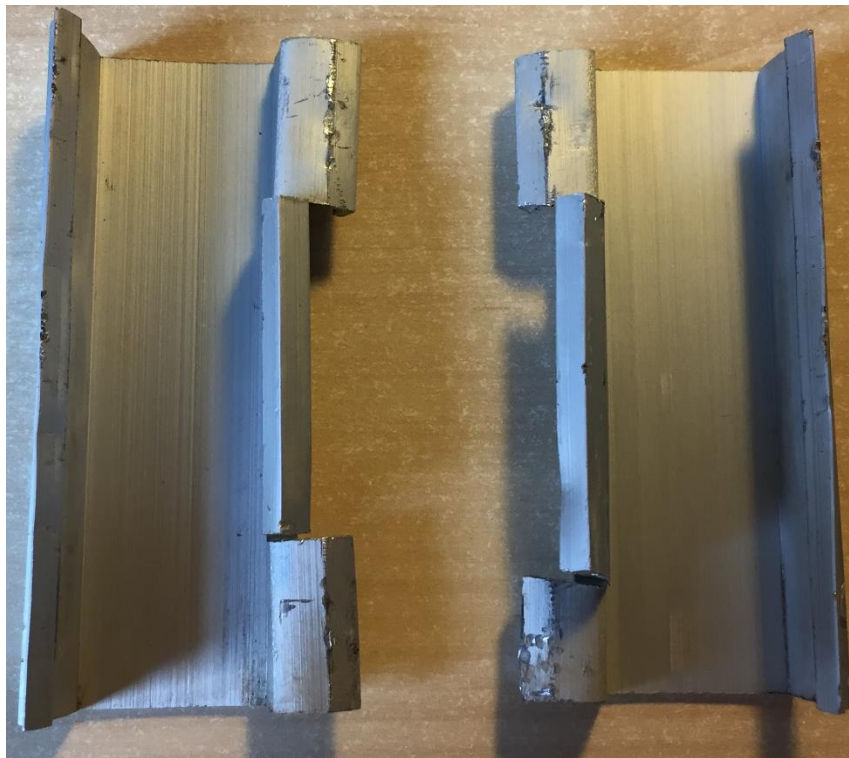
Desde el variador se conectan en paralelo el microcontrolador, los servomotores, el receptor y el ventilador de refrigeración del motor, todos ellos conectados en paralelo. El cableado utilizado para realizar estas conexiones, será cables DuPont que permiten conectar los pines del microcontrolador a los diferentes elementos. Esto es posible por la baja potencia consumida por estos elementos.



## Desarrollo mecánico

### Soportes realizados

Para la realización de nuestro prototipo hemos tenido que realizar cuatro soportes que adaptaran las piezas utilizadas a nuestro vehículo. Esto es debido a que sin estos los componentes no se podrían sujetar de manera segura al prototipo. Además, el microcontrolador debe de quedar lo más aislado del exterior posible, para evitar que pueda ser dañado. Los dos primeros soportes se realizaron para sujetar las baterías en los laterales del vehículo.



*Figura26: Soportes para baterías*

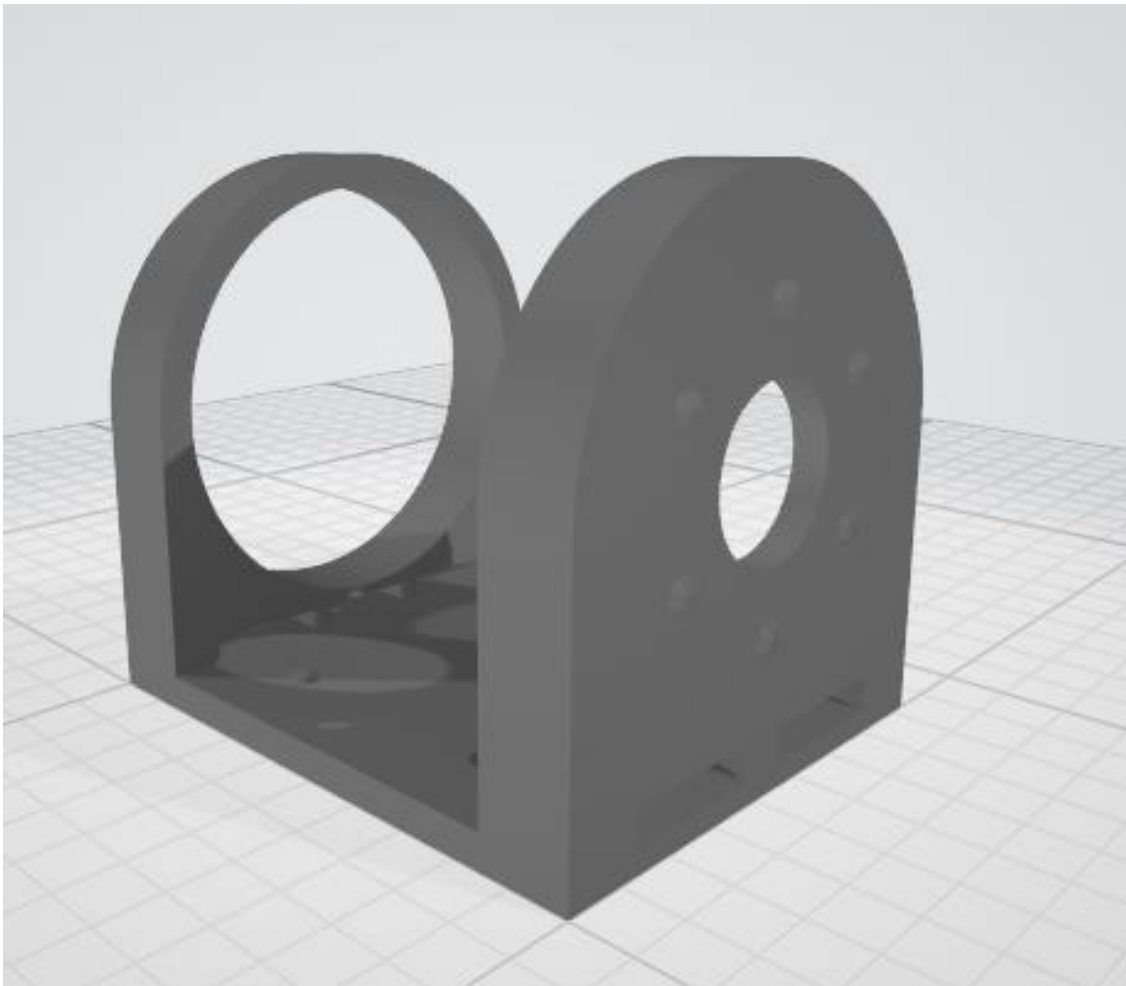
Como podemos observar el soporte se ha formado a partir de unos perfiles de aluminio. Esto nos da la seguridad que soportará el peso de las baterías. Además, este perfil tiene la característica de que encaja a la perfección con el borde del chasis, confiriendo un apoyo extra sobre este. Esto mejora drásticamente la durabilidad y fiabilidad que nos otorga el soporte. Para asegurarnos que no se separa del chasis del vehículo, se han realizado dos perforaciones que nos permiten unir a la perfección el conjunto.

Los otros dos soportes se han realizado mediante impresora 3D. El primero de estos se realiza para sujetar el motor brushless. Por ello debe cumplir con una serie de características básicas:

- Debe de ser rígido para evitar roturas y vibraciones mientras el prototipo se encuentre en funcionamiento.

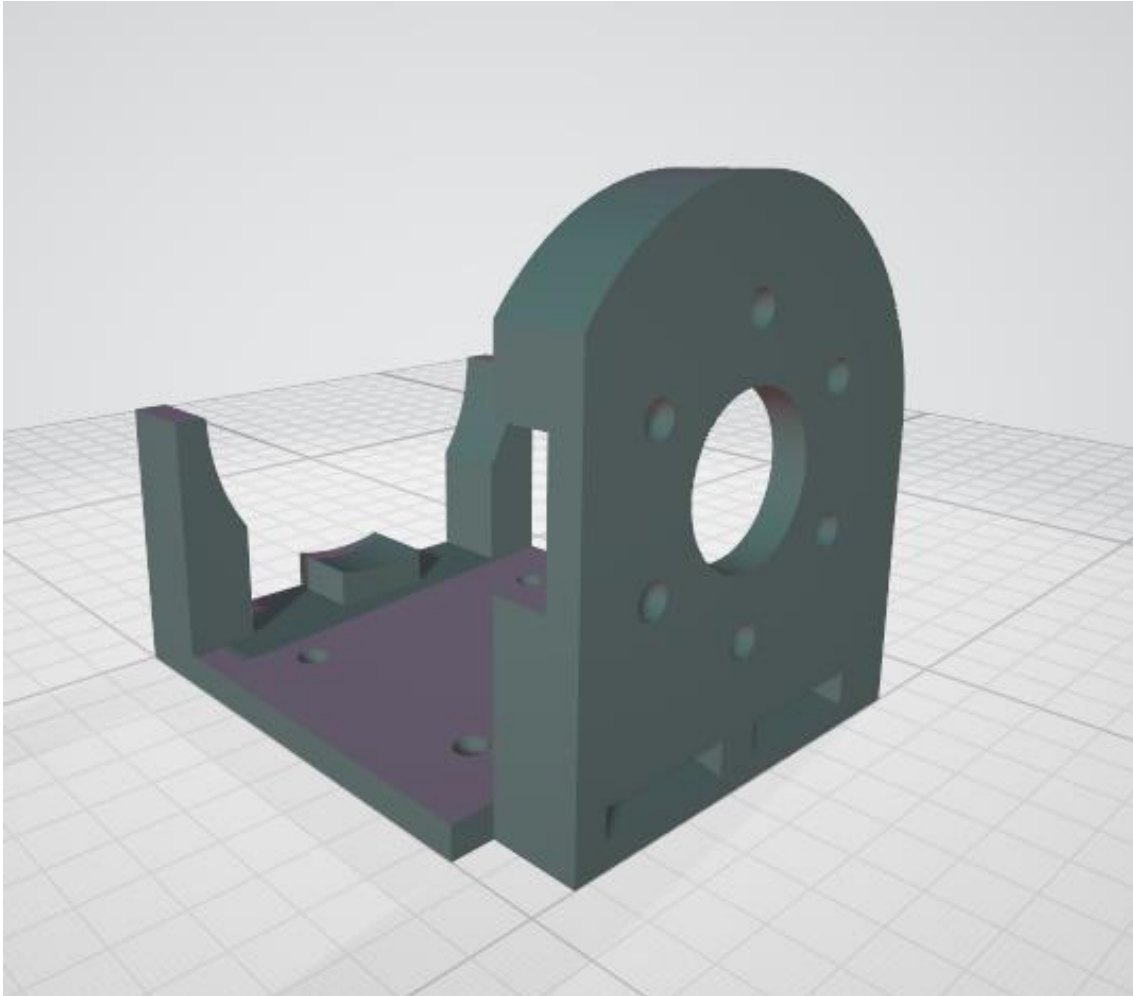
- Debe de permitir que el aire pase a través de él para proporcionar refrigeración al motor, evitando así que se sobrecaliente.
- Debe de ser ligero para evitar el máximo peso posible en el coche. Esto optimizará las prestaciones del vehículo que estamos adaptando.
- Debe de tener un buen anclaje del soporte al chasis y del motor al soporte. Esto evitará problemas en caso de golpes, posibles vibraciones en el motor, etc. Nos proporcionará fiabilidad en su funcionamiento y una mejor transmisión de la potencia que genera el motor al sistema de transmisión.

Tras varios bocetos del soporte, se llega a la conclusión de que el resultado más ajustado a las necesidades descritas arriba será:



*Figura27: Primer boceto del soporte motor*

Tras la realización de la primera idea final del soporte, nos dimos cuenta que el engranaje del eje del motor necesitaba que la separación entre engranajes fuera inferior a la diseñada para cumplir con las necesidades de rigidez. Por ello se modificó el boceto produciendo un corte en la sección frontal de este, que reducía esta distancia. Esto nos permitió colocar un piñón de 17 dientes (idéntico al que presentaba inicialmente el prototipo), que nos mantiene la relación de transmisión inicial. El boceto final que se propuso para el vehículo es el siguiente:



*Figura28: Boceto final del soporte motor*

Se dimensionan las paredes y suelo del soporte con un espesor mínimo de 3 mm, lo que nos permite cumplir las necesidades de rigidez. A su vez, al estar impreso en plástico, el soporte será lo suficientemente ligero para optimizar las prestaciones del vehículo.

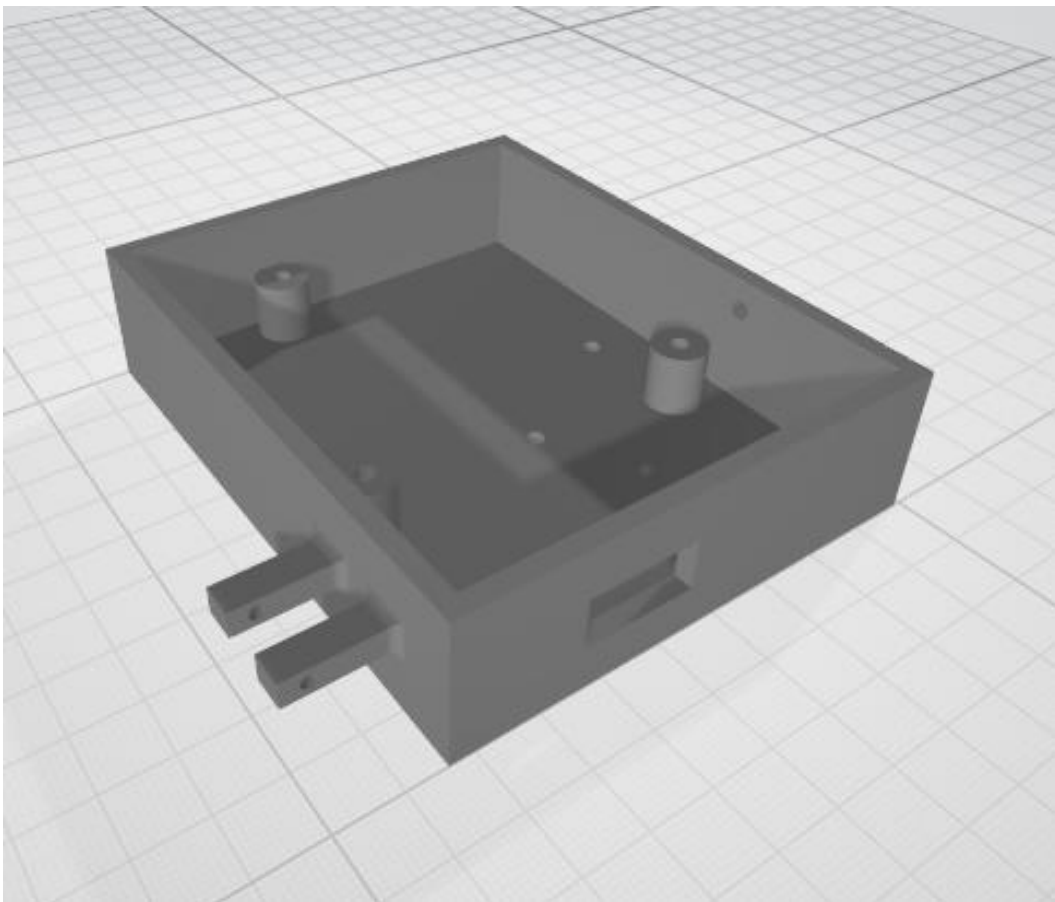
En el soporte se aprecia como hay cuatro huecos para atornillarlo al chasis, los cuales confieren un buen anclaje, impidiendo movimientos del soporte durante el funcionamiento. También se aprecian los 6 huecos que presenta en la parte frontal, para atornillar el motor al soporte y que impiden que existan desajustes o movimientos en los engranajes. Evitando así, posibles vibraciones en el motor.

Por último, para cumplir con los criterios de ventilación en el motor, se observan unas entradas en la parte frontal del soporte que canalizan el aire hacia el motor (queda unos milímetros separado del suelo), refrigerando toda la parte inferior de este. También podemos observar en la parte trasera del soporte unas salidas de aire. Debido a que en el boceto inicial era demasiado difícil desmoldar el plástico que la impresora 3D creaba para poder realizar un buen acabado de la pieza (se rompía el modelo a la hora de retirar los excesos de plástico), decidimos que sería más cómodo realizar un corte entero en el soporte y no solo unos agujeros.

El segundo de soporte se realiza para sujetar y proteger el microcontrolador. Por ello debe cumplir con una serie de características básicas:

- Debe ser lo más hermético posible para evitar que pueda entrar cualquier elemento que dañe el dispositivo. Por ello las únicas oberturas que debe haber son: la que permita conectar el USB, la que permita pasar los cables del circuito que se cierra entre el micro y los demás elementos y las de los tornillos que anclan el soporte al chasis del prototipo.
- Debe guardar una distancia prudencial entre las barras de suspensión del coche y el soporte, para prevenir que, al superar un bache, estas acaben golpeando al soporte. Esto es debido a que su posición en la distribución del coche es justo encima de estas.
- Debe ser rígido para evitar roturas mientras el prototipo se encuentre en funcionamiento. Además de evitar que el soporte se balancee durante el funcionamiento y acabe chocando con las barras de suspensión del prototipo.
- Debe ser ligero para evitar el máximo peso posible en el coche. Esto optimizará las prestaciones del vehículo que estamos adaptando.
- Debe estar bien anclado al prototipo. A su vez, también debe contar con tres soportes donde atornillar, en la parte interior, el microcontrolador. Esto evitará que se mueva y por tanto que pueda haber roturas en el dispositivo.

Tras varios bocetos del soporte, se llega a la conclusión de que el resultado más ajustado a las necesidades descritas arriba será:



*Figura29: Boceto final del soporte del controlador*



Igual que el anterior soporte se dimensionan las paredes y suelo del soporte con un espesor de 3 mm, lo que nos permite cumplir las necesidades de rigidez. A su vez, al estar impreso en plástico, el soporte será lo suficientemente ligero para optimizar las prestaciones del vehículo.

Deseamos que sea lo más hermético posible, por ello hemos decidido que la mejor configuración será una caja aproximadamente del mismo tamaño que el microcontrolador. En ella solo realizamos los agujeros anteriormente citados. Además, con los dos tornillos que se anclan al chasis y las dos salidas que encajan en las piezas delanteras del prototipo, se consigue mantener el dispositivo ligeramente separado de las barras de suspensión y otorgándole mucha estabilidad. Se aporta seguridad al dispositivo evitando golpes y balanceos en el funcionamiento.

### Selección de piezas para el prototipo

A continuación, se presentan las piezas que se han utilizado en la adaptación del vehículo y sus principales características:

- El microcontrolador: A la hora de seleccionar este dispositivo, tuvimos en cuenta que las necesidades que se necesitaban cubrir eran las siguientes:
  - Que contara con una memoria flash, dos timers y un convertidor analógico digital (ADC).
  - Se necesitaba un microcontrolador al cual se le pudiera conectar una tensión nominal de entrada de 11,1 v y que soportara máximos de hasta 12,5 v.

Por este motivo se seleccionó el microcontrolador “Núcleo - F401RE” de la empresa STMicroelectronics.

- Variador electrónico y motor brushless sensorless: Cuando hablamos de seleccionar un motor para un vehículo radiocontrol hemos de explicar un concepto primero:
  - **Kv**: Hace referencia al número de revoluciones por minuto que alcanza el motor en función del voltaje que recibe.  
Cuanto mayor sea este número, más rápido será el motor.  
Cuanto menor sea, el motor tendrá más par, pero será más lento.

A la hora de seleccionar este dispositivo, tuvimos en cuenta que las necesidades que habíamos de cubrir eran las siguientes:

- Se necesitaba un motor de al menos 735 w de potencia ya que el motor de gasolina que teníamos originalmente proporcionaba esta potencia. De esta manera se mantienen aproximadamente las características originales.

- Al hablar de un vehículo destinado a un punto intermedio entre pista y terreno (buggy) como se explicó en la clasificación de vehículos radiocontrol, hemos buscado un Kv neutral. El valor de Kv deseado para nuestro motor rondaba los 4.000 Kv.
- Se necesitaba también que el motor permitiera un voltaje máximo de entrada de hasta 13 v. Debido a que al aumentar el voltaje de las baterías se disminuyen las secciones de cables que necesitaremos. Aumentamos la seguridad, sabiendo que será más difícil que el motor exija la intensidad máxima admisible por los cables a las baterías y acabe sobrecalentándolos.
- Por último, es necesario que la intensidad máxima admisible por el variador sea superior a la intensidad máxima del motor. Existen múltiples ofertas más económicas de conjuntos de variadores y motores brushless en los que no se respetan las intensidades máximas anteriormente enunciadas.

#### Descripción del producto

Description:  
**Motor Specifications:**  
 KV(RPM/Volt): 3900KV  
 Max RPM: 50000  
 Max current: 69A  
 Max watts: 900W  
 Max voltage: andlt;13V  
 Rotor poles: 4  
 Resistance: 0.0081Ω  
 Diameter: 36mm  
 Length: 65mm  
 Shaft length: 13mm  
 Shaft diameter: 3.175mm  
 Connector: 4mm golden banana connector  
 Color: orange

**ESC Specifications:**  
 Model: S-80A  
 Material: Plastic, Metal  
 Color: black  
 Size: 50\*40\*37mm  
 Continuous current: 80A  
 Burst current: 480A/10sec  
 Power supply: 2-4S LiPo / 4-12S NiMh  
 SBEC: 6.1V/3A  
 Power supply plug: T plug  
 Motor plug: 4mm banana connector  
 Suit for: 1/10 RC car  
 Cooling system: Cooling fan  
 Programmable: YES

Figura30: Características del variador ESC y motor brushless sensorless

Por motivos económicos se adquirió el variador y el motor en un mismo conjunto. El conjunto que se seleccionó es del vendedor “Crazepony” y cuenta con las características que se observan en la imagen.

Cabe destacar que cuenta con una potencia algo mayor a la inicial (900 w), pero al ser algo mayor no será un problema porque mejorará las prestaciones del vehículo. Otro punto a destacar es, que la corriente máxima demandada por el motor será de 69 A y la máxima admitida por el variador ESC será de 80 A (cumpliendo así con el requerimiento de seguridad en intensidades máximas propuesto inicialmente).

- **Baterías:** A la hora de seleccionar estos dispositivos, tuvimos en cuenta que las necesidades que habíamos de cubrir eran las siguientes:
  - El tiempo de uso real del prototipo térmico con un único depósito de gasolina rondaba los 15 minutos. Esta es una de las características de diseño que se pretendían mejorar. Por ello, se planteó que buscaríamos un tiempo de uso teórico de alrededor de 30 minutos. Realmente este tiempo es mayor debido a la introducción de la frenada regenerativa en la adaptación del prototipo.
  - Para mayor estabilidad del prototipo y debido a que la capacidad de la batería que necesitamos es bastante alta, se busca poner 2 baterías<sup>4</sup> exactamente iguales, de la mitad de capacidad de la deseada.
  - La tensión que proporcione la batería debería de ser lo más aproximada a 13, ya que es la tensión máxima admisible del motor. Esto provocará que, para transportar una misma cantidad de energía, la corriente que circule por nuestro circuito eléctrico sea menor.

Existen muchos tipos de baterías, pero finalmente se optó por baterías de polímero de litio (LiPo), debido a que presenta algunas características interesantes para nuestro proyecto. Este tipo de baterías proviene de una variación de las clásicas baterías de Li-Ion que como podemos observar en la (Imagen X) ya presentaban un gran avance en cuanto a densidad de energía.

Las baterías de polímero de litio tienen una energía específica que se mueve en un rango de 130 – 200 Wh/Kg. Esto proporciona una misma capacidad de energía con una notable disminución de peso.

---

<sup>4</sup> Se utilizan dos baterías iguales (idéntico fabricante, misma capacidad y mismo voltaje), para evitar problemas. Esto es debido a que están conectadas en paralelo y es posible que se produzca envejecimiento rápido o sobrecalentamientos en las baterías y los cables de unión entre ellas. Todo ello debido a pequeñas desigualdades en resistencias internas o voltajes nominales.

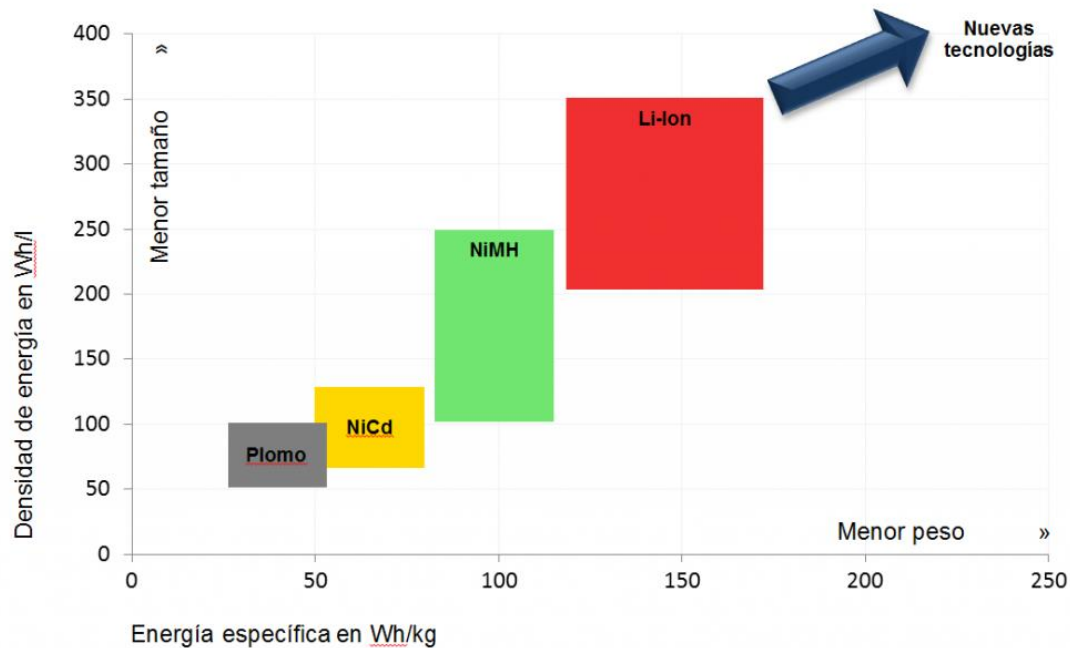


Figura31: Gráfico comparativo de las densidades energéticas de diferentes tecnologías

Pese a que el precio de las baterías de polímero de litio es mucho mayor que el de baterías más convencionales, hemos optado por ellas. Poniendo un ejemplo, mientras que el precio de una batería de níquel-hidruro metálico (NiMH) con características similares (4500 mAh y 12 v) ronda los 30€, en una batería de polímero de litio (5000 mAh, 11,1 v) ronda los 50€. En cambio, el peso de las baterías de NiMH ronda entre los 600 y 650 gramos, mientras que en las LiPo ronda entre los 350 y 400 gramos. Esta reducción de peso nos ofrecerá mejores prestaciones en el vehículo y nos permitirá respetar los parámetros de peso que ofrecía el prototipo térmico (como se hace referencia en el apartado de distribución de componentes en el vehículo).

Después de seleccionar el tipo de batería, pasamos a seleccionar la tensión y la capacidad que deberán tener nuestras baterías. En cuanto a la tensión, sabemos que las baterías de polímero de litio se fabrican por celdas de 3,7 v de tensión nominal que pueden agruparse en serie aumentando la tensión que proporciona el conjunto de la batería. En nuestro caso, la tensión más alta admisible de las baterías será de 11,1 v, es decir, 3 placas de polímero de litio de 3,7 v en serie. A este tipo de baterías se les denomina 3S.

En cuanto a la capacidad que deberán tener para soportar 30 minutos de uso. No se tendrá en cuenta las frenadas regenerativas a efectos de cálculos, ya que aportaran un aumento de la autonomía, es decir, mejora de capacidades del prototipo. Con lo cual estamos sobredimensionando los cálculos y llegaremos a alcanzar niveles de autonomía algo superiores a los esperados. Conociendo el tiempo requerido y estimando que el consumo medio del prototipo será de 20 A. Suponemos este consumo debido a que nuestro motor tiene un consumo máximo de 69 A y suponiendo una conducción agresiva (con acelerones y frenazos bruscos) ya que los usuarios de este tipo de prototipos suelen utilizarlos como hobby (suelen utilizarse para competir en circuitos cerrados en condiciones de carrera).

$$\text{Tiempo (Horas)} = \frac{\text{Capacidad de las baterías (Amp * Hora)}}{\text{Consumo medio del prototipo (Amp)}}$$

$$\text{Capacidad de las baterías (Amp * Hora)} = 0,5 \text{ horas} * 20 \text{ Amp} = 10 \text{ Amp * hora}$$

La capacidad recomendada de las baterías que deberíamos poner será de 5.000 mAh, pese a que el consumo medio del prototipo es una estimación y realmente no sabremos el tiempo real de uso hasta que no se prueben las baterías.

Por todo esto, se optó por dos baterías LiPo de 5.000 mAh y 11,1 v (3S) de HRB. Estas se conectarán en paralelo mediante conectores T-Plug y cables de 6 mm<sup>2</sup>, respetando los cables que vienen de serie con el variador y el motor.

- Cables: Para realizar las conexiones entre el microcontrolador y los diferentes elementos que componen el esquema eléctrico de nuestro prototipo se necesitaron cables para placas prototipo. Por motivos económicos se optó por los cables DuPont de ELEGO, ya que incluye cables hembra-hembra, macho-hembra y macho-macho.
- Piñones para eje del motor: Al retirar el motor de combustión, se retiró también el engranaje que iba a la transmisión. Nos hicimos con un conjunto de engranajes Dilwe RC.
- Ventilador para refrigeración del motor y sensor de temperatura: Debido al excesivo calentamiento del motor se decidió que era necesario poner un ventilador de refrigeración y un sensor de temperatura al motor, que nos permitieran controlar que no se sobrecalentaba demasiado. Por motivos económicos se decidió que se cogerían los dispositivos que se adjuntan en las referencias.  
El sensor de temperatura entrega una señal de entre 0 voltios a -50 °C y 1,75 voltios a 125 °C. Para nuestra aplicación este rango de temperaturas es más que suficiente.

## Desarrollo de software

Al utilizar un microcontrolador de la empresa STMicroelectronics, haremos uso tanto de las funciones de acceso rápido a la programación de bajo nivel (funciones de la capa HAL), como del software de configuración del microcontrolador que nos proporciona la empresa (CubeMx).

### Funcionamiento de los periféricos utilizados

Para poder llevar a cabo el desarrollo del programa principal y todas sus funciones nos hemos apoyado en dos timers y un convertidor ADC. Pasamos a continuación a explicar su funcionamiento y configuración:

- El primero (timer 2) se utiliza para llevar una cuenta de tiempo, que ayude a realizar las mediciones del convertidor ADC, es decir, cada vez que finaliza el tiempo de cuenta de este timer se debe de realizar una medición de temperatura. Cada vez que uno de los timers finaliza su periodo de cuentas se activa la función callback (HAL\_TIM\_PeriodElapsedCallback), en donde se comprueba si el timer 2 es el que ha finalizado su cuenta. En este caso se activa inicia la conversión del convertidor ADC.

En cuanto a su configuración, se presenta en la siguiente imagen:

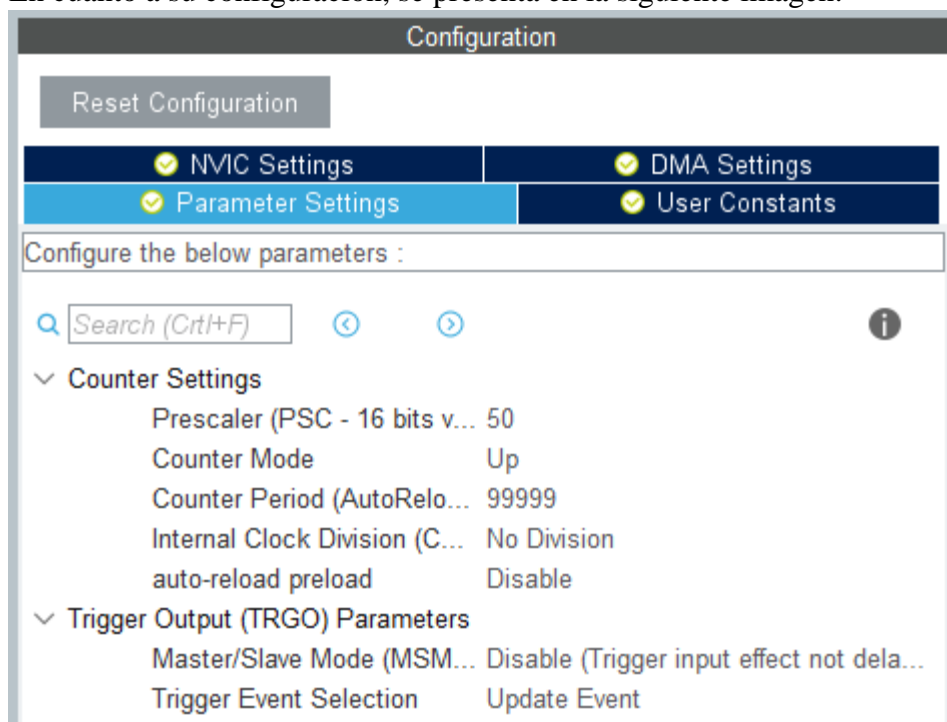


Figura32: Configuración timer 2

En ella se observa que el modo de cuenta que hemos elegido es ascendente, es decir, cuenta de 0 hasta 99.999 (número máximo de cuentas también prefijado en la Figura32, en el cual se reiniciará el timer). Otro elemento importante que hemos configurado, es que al finalizar la cuenta el timer genere un evento activando así

la función callback anteriormente descrita. Los timers se configuran a una frecuencia de trabajo de 50 MHz.

- El convertidor ADC (Conversor Analógico Digital) realiza la conversión de una señal analógica de tensión que proviene de los sensores de temperatura (del motor y de la propia placa) a señal digital útil para nuestro trabajo con el microcontrolador. Puesto que el convertidor que tenemos se configura como convertidor de 10 bits (1024 cuentas), los valores analógicos convertidos a digital se moverán entre 0 y 1023 cuentas, en función de sus valores mínimos y máximos.

En cuanto a su configuración, se presenta en la siguiente imagen:

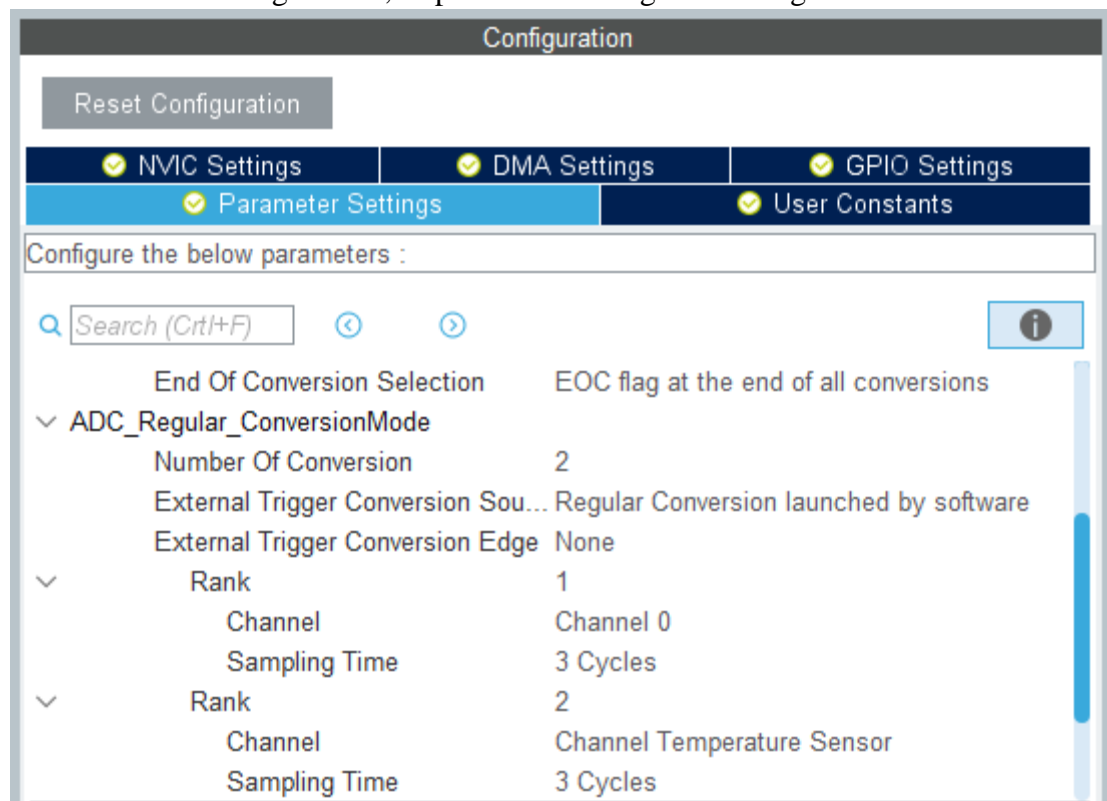


Figura33: Configuración convertidor ADC

Primeramente, en los ajustes de “NVIC settings” se habilitaron las interrupciones. Seguidamente, se reguló que el flag de fin de conversión saltará cuando se habían realizado las dos conversiones (la del canal 0, sensor de temperatura del motor, y la del canal “temperature sensor”, sensor de temperatura de la placa base).

- El segundo (timer 4) se utiliza para realizar las capturas de tiempos en los que la señal PWM proveniente del receptor realiza los cambios de flanco y generar dos señales PWM (controlarán el variador y el servomotor del freno de emergencia).

En cuanto a su configuración, se presenta en la siguiente imagen:

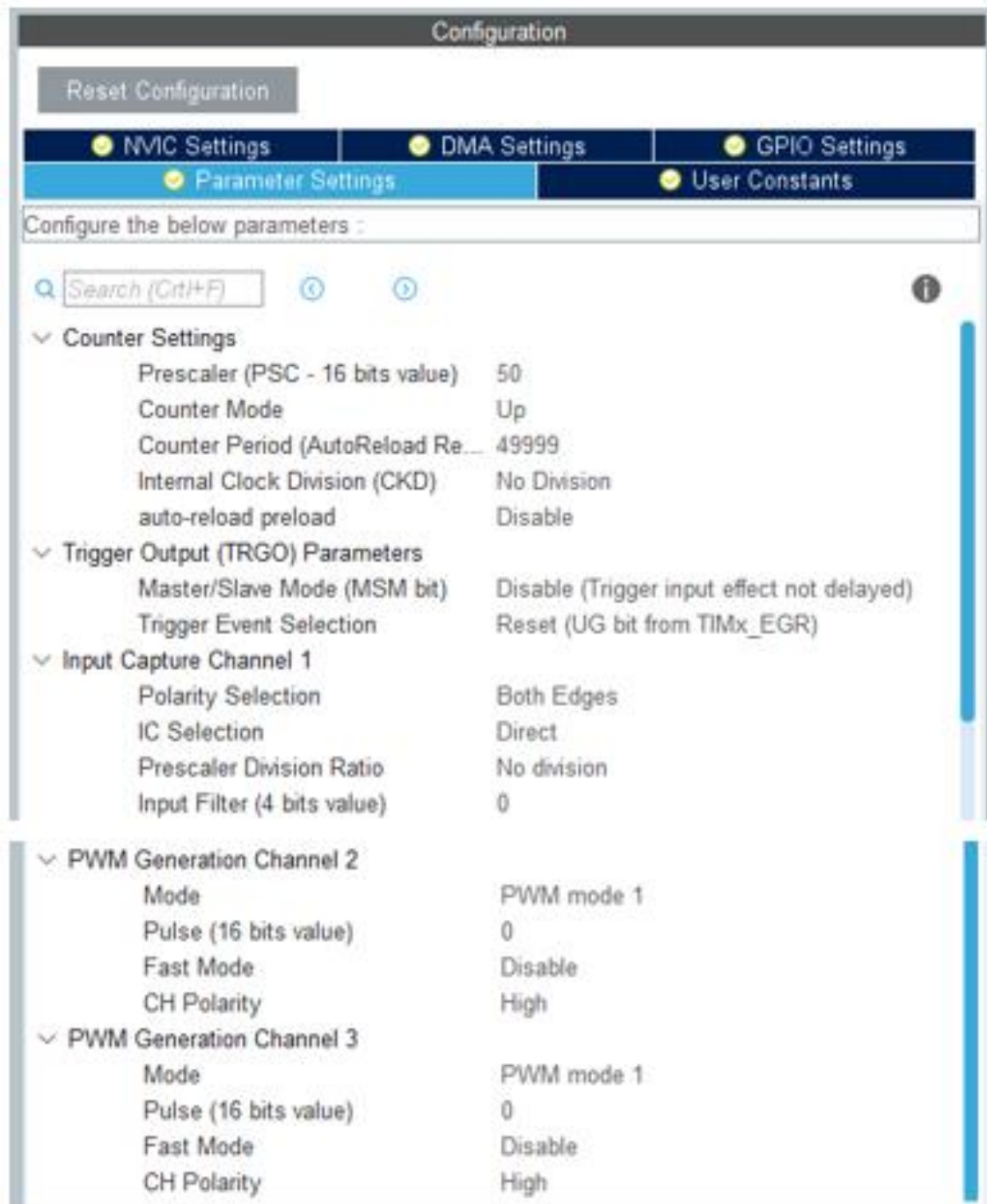


Figura34: Configuración timer 4

En ella se puede observar que el único cambio con respecto a la del timer 2, se encuentra en el periodo de cuentas. Este tiene 50.000 cuentas mientras que el timer dos presentaba 100.000.

Puesto que el timer está configurado a una frecuencia de 50 MHz y tiene un periodo de 50.000 cuentas, se deduce que cada cuenta realizada por el timer corresponde a 1  $\mu$ s. De aquí se deduce que partir de ahora nombraremos las cuentas del timer 4 como microsegundos.

Este timer tiene además tres canales asociados:



- El canal 1 se encarga de capturar los tiempos de la señal PWM que se le facilita desde el receptor. Por ello, está configurado para que produzca una lectura de tiempos siempre que haya un cambio en los flancos de la señal (tanto de subida como de bajada).
- Los canales 2 y 3 se encargan de generar señales PWM. Por ello, utilizamos el modo de generación de señales PWM que nos proporciona el programa (PWM mode 1).

### Algoritmo principal

Principalmente podemos dividir el algoritmo en dos funciones:

- La primera de ellas consiste en recibir la señal que proviene del receptor, analizarla, tomar decisiones y generar otras dos señales PWM similares (mismas características de onda, aunque el ciclo de trabajo de la onda puede cambiar).
- La segunda de ellas consiste en realizar lecturas cada cierto tiempo de las temperaturas del microprocesador y el motor brushless. Esta se realiza por motivos de seguridad, debido a que el microcontrolador y el motor deben de trabajar a una temperatura controlada para evitar que sufran daños de sobrecalentamiento.

Para realizar la primera de las funciones se planteó un algoritmo de control que constaba de las siguientes partes:

- En primer lugar, se inicializa el timer 4 (será el que llevará las cuentas de tiempos de la señal PWM que recibe). Se configura con el programa, para que cada vez que haya un flanco de subida o bajada de la señal, se active una función callback externa al programa principal (HAL\_TIM\_IC\_CaptureCallback). Su función es la de avisar al programa principal de que se ha producido un cambio en el flanco de la señal. Por ello, esta función pondrá a 1 un flag de interrupción (FlagInterrupcion\_Captura). Además, utilizando una de las funciones de la capa HAL (LL\_TIM\_IC\_GetCaptureCH1) tomará el tiempo que ha tardado en realizarse el cambio de flanco y lo guardará en una variable (TiempoPWM).

Esta función también implementa un contador, que guarda en un array todos los datos de TiempoPWM que se van recogiendo. Cuando se completa el array de datos se activa un flag (Flag\_tt) que avisa al programa principal para que este muestre por pantalla todos los datos regidos, proporcionando una visión de ellos al usuario. De esta manera hemos podido comprobar que los datos de tiempo extraídos eran coherentes con los valores observados en el osciloscopio.

A continuación, se presentan los datos observados en las pruebas:

- Con el motor al ralentí:

|    | Datos de la variable TiempoPWM | Veces que se reinicia el timer | Tiempos reales corregidos | Diferencia de tiempos entre cuentas | Periodo de la señal PWM |
|----|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 0  | 14.302                         | 0                              | 14.302                    | 14.302                              |                         |
| 1  | 15.792                         | 0                              | 15.792                    | 1.490                               | 17.961                  |
| 2  | 32.263                         | 0                              | 32.263                    | 16.471                              |                         |
| 3  | 33.751                         | 0                              | 33.751                    | 1.488                               | 17.978                  |
| 4  | 241                            | 1                              | 50.241                    | 16.490                              |                         |
| 5  | 1.730                          | 1                              | 51.730                    | 1.489                               | 17.962                  |
| 6  | 18.203                         | 1                              | 68.203                    | 16.473                              |                         |
| 7  | 19.691                         | 1                              | 69.691                    | 1.488                               | 17.957                  |
| 8  | 36.160                         | 1                              | 86.160                    | 16.469                              |                         |
| 9  | 37.649                         | 1                              | 87.649                    | 1.489                               | 17.978                  |
| 10 | 4.138                          | 2                              | 104.138                   | 16.489                              |                         |
| 11 | 5.627                          | 2                              | 105.627                   | 1.489                               | 17.955                  |
| 12 | 22.093                         | 2                              | 122.093                   | 16.466                              |                         |
| 13 | 23.581                         | 2                              | 123.581                   | 1.488                               | 17.956                  |
| 14 | 40.049                         | 2                              | 140.049                   | 16.468                              |                         |
| 15 | 41.539                         | 2                              | 141.539                   | 1.490                               | 17.979                  |
| 16 | 8.028                          | 3                              | 158.028                   | 16.489                              |                         |
| 17 | 9.517                          | 3                              | 159.517                   | 1.489                               | 17.961                  |
| 18 | 25.989                         | 3                              | 175.989                   | 16.472                              |                         |
| 19 | 27.478                         | 3                              | 177.478                   | 1.489                               |                         |

Tabla 1: Tabla de tiempos observados con el motor al ralentí:

En ella se puede observar como el timer realiza la cuenta hasta 49.999 microsegundos, desborda y vuelve a empezar de 0. Por ello hemos corregido esto sumando 50.000 microsegundos por cada vez que comienza de nuevo. Por ello, la diferencia de tiempos se calcula con la columna ya corregida.

Aproximadamente el periodo de la señal es de 18 milisegundos y el tiempo activo de la señal de control es de 1,5 milisegundos como inicialmente se comentó.

- Realizado una aceleración a fondo:

|    | Datos de la variable TiempoPWM | Veces que se reinicia el timer | Tiempos reales corregidos | Diferencia de tiempos entre cuentas | Periodo de la señal PWM |
|----|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 0  | 11.281                         | 0                              | 11.281                    | 11.281                              |                         |
| 1  | 13.227                         | 0                              | 13.227                    | 1.946                               | 18.529                  |
| 2  | 29.810                         | 0                              | 29.810                    | 16.583                              |                         |
| 3  | 31.756                         | 0                              | 31.756                    | 1.946                               | 17.949                  |
| 4  | 47.759                         | 0                              | 47.759                    | 16.003                              |                         |
| 5  | 49.706                         | 0                              | 49.706                    | 1.947                               | 17.973                  |
| 6  | 15.732                         | 1                              | 65.732                    | 16.026                              |                         |
| 7  | 17.679                         | 1                              | 67.679                    | 1.947                               | 17.985                  |
| 8  | 33.717                         | 1                              | 83.717                    | 16.038                              |                         |
| 9  | 35.664                         | 1                              | 85.664                    | 1.947                               | 18.487                  |
| 10 | 2.204                          | 2                              | 102.204                   | 16.540                              |                         |
| 11 | 4.151                          | 2                              | 104.151                   | 1.947                               | 17.989                  |
| 12 | 20.193                         | 2                              | 120.193                   | 16.042                              |                         |
| 13 | 22.140                         | 2                              | 122.140                   | 1.947                               | 17.978                  |
| 14 | 38.171                         | 2                              | 138.171                   | 16.031                              |                         |
| 15 | 40.117                         | 2                              | 140.117                   | 1.946                               | 17.995                  |
| 16 | 6.166                          | 3                              | 156.166                   | 16.049                              |                         |
| 17 | 8.114                          | 3                              | 158.114                   | 1.948                               | 18.521                  |
| 18 | 24.687                         | 3                              | 174.687                   | 16.573                              |                         |
| 19 | 26.635                         | 3                              | 176.635                   | 1.948                               |                         |

Tabla 2: Tabla de tiempos observados durante una aceleración a fondo

Aproximadamente el tiempo activo de la señal de control es de 2 milisegundos como inicialmente se comentó.

- Realizado un frenado a fondo:

|    | Datos de la variable TiempoPWM | Veces que se reinicia el timer | Tiempos reales corregidos | Diferencia de tiempos entre cuentas | Periodo de la señal PWM |
|----|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 0  | 6.770                          | 0                              | 6.770                     | 6.770                               |                         |
| 1  | 7.764                          | 0                              | 7.764                     | 994                                 | 18.069                  |
| 2  | 24.839                         | 0                              | 24.839                    | 17.075                              |                         |
| 3  | 25.833                         | 0                              | 25.833                    | 994                                 | 17.943                  |
| 4  | 42.782                         | 0                              | 42.782                    | 16.949                              |                         |
| 5  | 43.776                         | 0                              | 43.776                    | 994                                 | 17.982                  |
| 6  | 10.764                         | 1                              | 60.764                    | 16.988                              |                         |
| 7  | 11.758                         | 1                              | 61.758                    | 994                                 | 18.042                  |
| 8  | 28.806                         | 1                              | 78.806                    | 17.048                              |                         |
| 9  | 29.800                         | 1                              | 79.800                    | 994                                 | 17.967                  |
| 10 | 46.773                         | 1                              | 96.773                    | 16.973                              |                         |
| 11 | 47.767                         | 1                              | 97.767                    | 994                                 | 18.037                  |
| 12 | 14.810                         | 2                              | 114.810                   | 17.043                              |                         |
| 13 | 15.803                         | 2                              | 115.803                   | 993                                 | 17.968                  |
| 14 | 32.778                         | 2                              | 132.778                   | 16.975                              |                         |
| 15 | 33.773                         | 2                              | 133.773                   | 995                                 | 18.117                  |
| 16 | 895                            | 3                              | 150.895                   | 17.122                              |                         |
| 17 | 1.889                          | 3                              | 151.889                   | 994                                 | 17.947                  |
| 18 | 18.842                         | 3                              | 168.842                   | 16.953                              |                         |
| 19 | 19.836                         | 3                              | 169.836                   | 994                                 |                         |

Tabla 3: Tabla de tiempos observados durante una frenada a fondo

Aproximadamente el tiempo activo de la señal de control es de 1 milisegundos como inicialmente se comentó.

Hay que tener en cuenta que el timer tiene sus márgenes de error, pero como se ha comprobado empíricamente estos no afectarán al funcionamiento del prototipo. Esto es debido a que los tiempos de la señal de control (son los tiempos que se utilizarán para generar de nuevo las ondas que irán a los receptores) son muy regulares y aproximados a lo esperado.

- En segundo lugar, una vez tenemos la captura del tiempo de la señal PWM (es decir se activa el flag de interrupción), el programa principal ha de filtrarlo. Esto se debe a que solo queremos diferencias de tiempos que estén entre 900 y 2000 microsegundos. Solo nos servirán aquellas diferencias de tiempos que de verdad nos proporcionan información relevante, es decir, los tiempos del flanco activo de la señal de control.

Si se detecta algún problema en los tiempos saltará una variable de tiempo erróneo y no se ejecutará ninguna función hasta que la lectura del tiempo vuelva a cumplir los parámetros establecidos. Esto nos permite eliminar los tiempos en los que la señal de control no está activa y, además, filtrar algún posible error que pueda surgir en un futuro para que no afecte al normal funcionamiento del prototipo.

- En tercer lugar, si el tiempo que se mide es útil (pasa el filtro), se traduce como ciclo de trabajo de la señal:

$$\text{Ciclo de trabajo } (\mu\text{s}) = \left( \frac{\text{Tiempo } (\mu\text{s}) - 994}{994} \right)$$

Se utiliza 994 debido a que es aproximadamente el mínimo tiempo que podrá tener la señal de control. Luego obtenemos el porcentaje.

$$\text{Ciclo de trabajo (\%)} = \text{Ciclo de trabajo } (\mu\text{s}) * 100$$

Esto nos facilitará la fase de pruebas del prototipo, puesto que conocemos en todo momento la posición del gatillo, para observar si la lectura de tiempos es correcta. De esta manera finalizamos la lectura de la señal que proviene del receptor.

- En cuarto lugar, se generan las señales que se le pasarán al variador y el servo que controla el freno de emergencia. En este punto, como proyectos futuros se podría realizar una modificación de la señal en función de otras variables. En este proyecto solo nos vamos a centrar en generar una señal idéntica a la que leemos desde el receptor, para controlar el variador. Por ello, acudimos al registro de memoria CCR2 del timer (como podemos observar en el “Reference manual”) y le pasamos el tiempo activo medido inicialmente en la señal de entrada al microcontrolador.

Para controlar el servomotor de freno, hemos de generar otra señal idéntica también a la señal que se le proporcionará al variador (realizaremos de nuevo la misma operación explicada anteriormente). Pero en este caso tenemos una peculiaridad que complica la programación. Queremos que se active el servomotor para realizar una frenada brusca, pero en caso de que se desee realizar marcha atrás con el vehículo una vez realizada la frenada (dado que el motor eléctrico nos ofrece esta posibilidad de cambio de sentido de giro sin realizar un gran esfuerzo), se desactive esta.

Por ello se plantea la posibilidad de registrar durante un corto periodo de tiempo si el servomotor se activa y finalmente se desactiva una vez realizado el frenado. Dando la posibilidad de en ese corto periodo de tiempo de volver a activar la señal de frenado, que en este caso hará que el motor cambie el sentido de giro y no que se active el freno mecánico.

Para realizar la segunda de las funciones, la medición de temperaturas de los elementos críticos del prototipo, se planteó un algoritmo de control que constaba de las siguientes partes:

- En primer lugar, se inicializa el timer 2 (llevará la cuenta del tiempo que debe de pasar para realizar la siguiente medición de las temperaturas). Como se ha explicado anteriormente, cuando finaliza la cuenta de un timer se activa la callback, que comprueba si es el timer 2 el que finalizó. En este caso, se inicializa, mediante la función que nos proporciona la capa HAL (HAL\_ADC\_Start), la conversión de las señales configuradas previamente. Al finalizar este proceso, se activa la función callback (HAL\_ADC\_ConvCpltCallback), que activa a su vez un flag de interrupción que avisa al programa principal de que la conversión se ha finalizado. A su vez, se guardan todos los datos digitales convertidos en un array que permitirá al programa principal acceder a ellos. Puede haber momentos en los que el programa principal tarde en responder al aviso, propiciando una pérdida de datos útiles. Por ello, antes de abandonar la

función callback, se copia el array de datos actuales en un array de datos anteriores.

- En segundo lugar, pasamos a comentar el algoritmo principal implementado. Una vez se activa el aviso del convertidor y el programa principal termina con las tareas que pueda estar realizando antes de saltar el aviso, empieza a realizar las conversiones de los datos digitales obtenidos. En principio se desactiva el flag de interrupción para permitir que, si vuelve a saltar el aviso en un futuro, pueda ser atendido de nuevo. A continuación, se realiza una conversión de los dos valores obtenidos por el convertidor. Por ello, realizamos una conversión inversa a la realizada por el convertidor, que nos permitirá obtener de nuevo el voltaje que nos estaba proporcionando nuestro sensor.

$$Datos (mV) = \frac{(DatosADC_{ant} * voltaje)}{1024}$$

Ponemos 1024 debido a que es el número de cuentas máximo de nuestro convertidor, al estar configurado a 10 bits.

Una vez tenemos los valores en milivoltios, necesitamos pasarlos a grados centígrados. En este momento diferenciamos entre la temperatura del microcontrolador y la temperatura del motor:

- En el microcontrolador, la función de conversión de voltaje a temperatura que tiene el sensor utilizado viene expresada en el “Reference manual” (página 227) y es la siguiente:

$$Temperatura (^{\circ}C) = \left[ \frac{(V_{sense} - V_{25})}{AVG_{slope}} \right] + 25$$

El voltaje que nos otorga el sensor sería lo que el manual denomina Vsense. Los demás valores necesarios los encontramos en la siguiente tabla:

### 6.3.21 Temperature sensor characteristics

Table 72. Temperature sensor characteristics

| Symbol                             | Parameter  | Min | Typ  | Max | Unit  |
|------------------------------------|--|-----|------|-----|-------|
| $T_L^{(1)}$                        | V <sub>SENSE</sub> linearity with temperature                  | -   | ±1   | ±2  | °C    |
| Avg_Slope <sup>(1)</sup>           | Average slope  | -   | 2.5  | -   | mV/°C |
| V <sub>25</sub> <sup>(1)</sup>     | Voltage at 25 °C   | -   | 0.76 | -   | V     |
| t <sub>START</sub> <sup>(2)</sup>  | Startup time   | -   | 6    | 10  | µs    |
| T <sub>S_temp</sub> <sup>(2)</sup> | ADC sampling time when reading the temperature (1 °C accuracy) | 10  | -    | -   | µs    |

Tabla 4: Tabla extraída del "Data sheet" del microcontrolador (página 112)

En ella podemos obtener todos los elementos necesarios para poder realizar el cálculo de la temperatura del microcontrolador.

- En el motor, la función de conversión de voltaje a temperatura que tiene el sensor utilizado se puede deducir de la siguiente gráfica. Está se extrae del “Data sheet” (página 5) del sensor de temperatura. La referencia para descargarlo se adjunta junto con todas las referencias de compra. La gráfica es la siguiente:

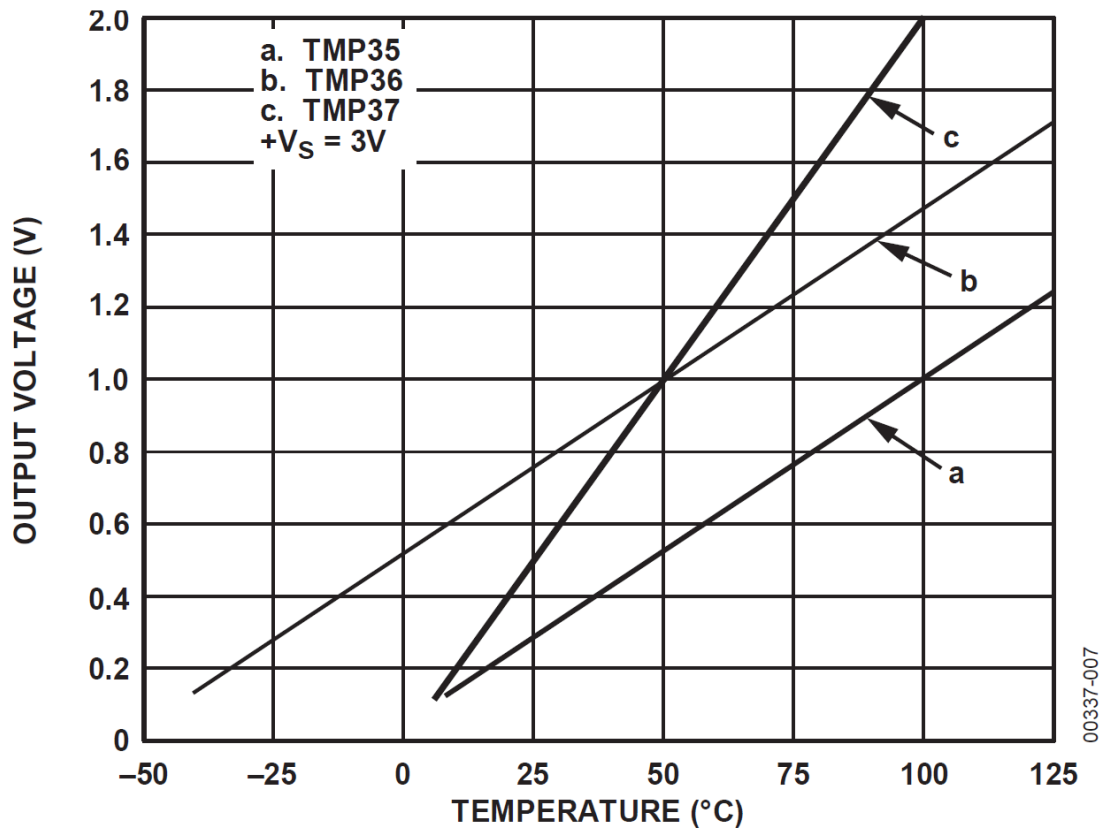


Figura35: Voltajes de salida en comparación con la temperatura medida:

Nuestro sensor será el TMP36 por lo que la gráfica que hemos de tener en cuenta es la b. En ella observamos que a -50 °C el voltaje que ofrece el sensor es de 0 voltios y a 125 °C el voltaje es de 1,75 voltios. Además, la gráfica es completamente lineal, por lo que será muy fácil calcular la temperatura en función del voltaje de salida del sensor. Calculando la pendiente de la gráfica:

$$Pendiente = \frac{1,75 - 0}{125 - (-50)} = 0,01$$

Con lo cual se deduce que la temperatura que mide el sensor en función del voltaje que nos proporciona el sensor se regirá por la siguiente ecuación:

$$Temperatura (°C) = (100 * Vsensor) - 50$$

Una vez el algoritmo principal ha conseguido traducir los valores de voltajes obtenidos por los sensores a temperaturas reales, los muestra por pantalla. Esto nos permitirá observar si los valores son coherentes con lo esperado.

El microcontrolador comprobará en todo momento las temperaturas de estos garantizando que no sobrepasan valores críticos. En caso del microcontrolador su temperatura se limita a:

**Table 2. STM32F401xD/xE features and peripheral counts**

| Peripherals              |                       | STM32F401xD  |        |                   | STM32F401xE       |        |                   |
|--------------------------|-----------------------|--|--------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|
| Flash memory in Kbytes   |                       | 384  |        |                   | 512               |        |                   |
| SRAM in Kbytes           | System                | 96   |        |                   |                   |        |                   |
|                          | General-purpose       | 7  |        |                   |                   |        |                   |
| Timers                   | Advanced-control      | 1  |        |                   |                   |        |                   |
|                          | SPI/ I <sup>2</sup> S | 3/2 (full duplex)                                  |        | 4/2 (full duplex) | 3/2 (full duplex) |        | 4/2 (full duplex) |
| Communication interfaces | I <sup>2</sup> C      | 3  |        |                   |                   |        |                   |
|                          | USART                 | 3  |        |                   |                   |        |                   |
|                          | SDIO                  | -  | 1      |                   | -                 | 1      |                   |
| USB OTG FS               |                       | 1  |        |                   |                   |        |                   |
| GPIOs                    |                       | 36   | 50     | 81                | 36                | 50     | 81                |
| 12-bit ADC               |                       | 1  |        |                   |                   |        |                   |
| Number of channels       |                       | 10   | 16     |                   | 10                | 16     |                   |
| Maximum CPU frequency    |                       | 84 MHz   |        |                   |                   |        |                   |
| Operating voltage        |                       | 1.7 to 3.6 V                                       |        |                   |                   |        |                   |
| Operating temperatures   |                       | Ambient temperatures: -40 to +85 °C/-40 to +105 °C |        |                   |                   |        |                   |
|                          |                       | Junction temperature: -40 to + 125 °C              |        |                   |                   |        |                   |
| Package                  |                       | WLCSP49  | LQFP64 | UFBGA100          | WLCSP49           | LQFP64 | UFBGA100          |
|                          |                       | UFQFPN48   |        | LQFP100           | UFQFPN48          |        | LQFP100           |

*Tabla 5: Tabla extraída del "Data sheet" del microcontrolador (página 11)*

En el caso del motor, no se especifica una temperatura máxima recomendada. Por ello, se ha optado por limitar a 60 °C la temperatura de este, con el objetivo de alargar al máximo la vida útil de la máquina. sobrepasar esta temperatura de funcionamiento en exceso podría provocar daños en el bobinado de la máquina, con lo cual se acortaría su vida útil.



## Proyectos futuros

En este apartado vamos a desarrollar posibles proyectos que se podrían llevar a cabo en un futuro para continuar con el desarrollo de este prototipo:

- Un proyecto muy interesante que se podría realizar para desarrollar y explotar al máximo las características del microcontrolador utilizado, sería desarrollar un sistema de control de la batería. Este sistema mediría el voltaje instantáneo entregado por las baterías. Las baterías utilizadas se consideran totalmente cargadas cuando el voltaje entregado por ellas es de 4,2 v y totalmente descargadas cuando su voltaje baja hasta los 3,6 v. Una vez medido protegería las baterías evitando la frenada regenerativa en caso de sobrecarga, o limitando el consumo del motor en caso de batería demasiado baja, llegando incluso a parar el funcionamiento del vehículo. Esto maximizaría la vida útil de las baterías que es uno de los elementos más caros del vehículo.
- A partir del proyecto anterior se podría desarrollar en la programación del vehículo varios modos de funcionamiento del prototipo. Estos modos dependerán del estado de las baterías. Si la batería se encuentra totalmente cargada, se podría exigir al motor aceleraciones bruscas y a medida que las baterías se fueran descargando el microcontrolador iría haciendo más progresivas las aceleraciones y limitando el consumo máximo de motor.
- Se podrían añadir a la programación controles de temperatura del motor. El microcontrolador controlaría la temperatura y cuando se elevará mucho conectaría los ventiladores de refrigeración. Esto ahorraría batería al sistema optimizando el tiempo de utilización, ya que la optimización del uso del ventilador queda fuera de este proyecto. Por ello, siempre que el prototipo está en marcha, el ventilador está en marcha.
- Se podría realizar también una conexión con el ordenador vía wifi que nos permitiera sacar telemetría de funcionamiento del vehículo. Además, podríamos incluir sensores que nos midieran los consumos del prototipo. De esta manera se podría estudiar los datos de consumo y optimizarlos, mejorando la eficiencia del vehículo.

## Conclusiones

Finalmente, hemos de comentar que el auge de los vehículos eléctricos tiene la finalidad de solventar una de los principales problemas de la sociedad actual (la contaminación y el cambio climático). Por ello, se decidió realizar un proyecto de adaptación de un vehículo de propulsión térmica a eléctrica. La intención de este proyecto era realizar una aproximación de bajo coste a la programación de sistemas que se podrían incorporar en la adaptación de un vehículo real.

Como resultado de la realización de este proyecto, es posible concluir, que se ha cumplido con los objetivos propuestos inicialmente. Se ha conseguido crear un prototipo mejorado en cuanto a prestaciones del mismo y reducción de consumos de combustibles y contaminación, luchando así contra la contaminación global y el cambio climático. Además, se ha aumentado la eficiencia del prototipo, debido a la inserción de las frenadas regenerativas, cuya posibilidad nos ofrece la utilización de un motor eléctrico.

Por último, se ha priorizado la seguridad del vehículo en todo momento, realizando numerosas aportaciones en este campo, de las que anteriormente no gozaba nuestro prototipo. Aportaciones como la introducción de un microcontrolador que realiza mediciones de temperatura de los sistemas que componen el vehículo o la posibilidad de solucionar los problemas de pérdidas de señal que sufría el prototipo térmico.

## Bibliografía y referencias

“Vehículos híbridos y eléctricos: diseño del tren propulsor”, López Martínez, José María, Escuela técnica de ingenieros industriales, 2015.

“Vehículos eléctricos e híbridos”, Ros Marín, José Antonio, Parainfo, 2017.

“Sistemas de transmisión y frenado”, Domínguez Soriano, Esteban José, Editex, 2018.

Las referencias al sitio web donde se han descargado los manuales del microcontrolador es: [https://www.st.com/content/st\\_com/en/products/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-high-performance-mcus/stm32f4-series/stm32f401/stm32f401re.html#sample-and-buy](https://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-high-performance-mcus/stm32f4-series/stm32f401/stm32f401re.html#sample-and-buy)

Los manuales descargados son: “User manual”, “Data sheet”, “Referece manual”, “Funciones HAL”. Todas las referencias del microcontrolador se pueden encontrar en su “Data sheet”.

Las referencias a los sitios web en donde se han realizado las compras son las siguientes:

- El enlace para ver las referencias del variador y motor se encuentra en: [https://www.amazon.es/Crazepony-UK-Sensorless-Brushless-Waterproof-Programming/dp/B07FX7CC2Y/ref=sr\\_1\\_1\\_sspa?adgrpid=59518200400&gclid=Cj0KCQjwn8\\_mBRCLARIsAKxi0GLFDGCDam9PlvmuPUDkprin7-AZHPUORbbVf9zzUsSDKLMGZgy\\_cIIaArqwEALw\\_wcB&hvadid=280320580316&hvdev=c&hvlocphy=9049167&hvnetw=g&hvpos=1t2&hvqmt=b&hvrnd=13930694712276426797&hvtargid=kwd-477504256953&hydadcr=7647\\_1808007&keywords=brushless+rc+1%2F10&qid=1557385606&s=gateway&sr=8-1-spons&pssc=1477504256953&hydadcr=7647\\_1808007&keywords=brushless+rc+1%2F10&qid=1557385606&s=gateway&sr=8-1-spons&pssc=1](https://www.amazon.es/Crazepony-UK-Sensorless-Brushless-Waterproof-Programming/dp/B07FX7CC2Y/ref=sr_1_1_sspa?adgrpid=59518200400&gclid=Cj0KCQjwn8_mBRCLARIsAKxi0GLFDGCDam9PlvmuPUDkprin7-AZHPUORbbVf9zzUsSDKLMGZgy_cIIaArqwEALw_wcB&hvadid=280320580316&hvdev=c&hvlocphy=9049167&hvnetw=g&hvpos=1t2&hvqmt=b&hvrnd=13930694712276426797&hvtargid=kwd-477504256953&hydadcr=7647_1808007&keywords=brushless+rc+1%2F10&qid=1557385606&s=gateway&sr=8-1-spons&pssc=1477504256953&hydadcr=7647_1808007&keywords=brushless+rc+1%2F10&qid=1557385606&s=gateway&sr=8-1-spons&pssc=1)
- La referencia de las baterías son: [https://www.amazon.es/HRB-Multicopteros-Helic%C3%B3pteros-Veh%C3%ADculo-Diversos/dp/B072QYTBGQ/ref=pd\\_sbs\\_21\\_1/260-4300283-7407646?encoding=UTF8&pd\\_rd\\_i=B072QYTBGQ&pd\\_rd\\_r=ee27c354-83bc-4944-92f5-e13c9a97910d&pd\\_rd\\_w=d8LWv&pd\\_rd\\_wg=IQFXO&pf\\_rd\\_p=f9384d3f-fa3d-4e25-8bc3-b0c7853cd8a6&pf\\_rd\\_r=CB602NV2AS20S5CB36AW&pssc=1&refRID=CB602NV2AS20S5CB36AW](https://www.amazon.es/HRB-Multicopteros-Helic%C3%B3pteros-Veh%C3%ADculo-Diversos/dp/B072QYTBGQ/ref=pd_sbs_21_1/260-4300283-7407646?encoding=UTF8&pd_rd_i=B072QYTBGQ&pd_rd_r=ee27c354-83bc-4944-92f5-e13c9a97910d&pd_rd_w=d8LWv&pd_rd_wg=IQFXO&pf_rd_p=f9384d3f-fa3d-4e25-8bc3-b0c7853cd8a6&pf_rd_r=CB602NV2AS20S5CB36AW&pssc=1&refRID=CB602NV2AS20S5CB36AW)
- La referencia de los conectores es: [https://es.aliexpress.com/item/4000110592035.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4dba2c31LJKOai&algo\\_pvid=91f49be7-4ea5-48fc-8fa7-f4b4cfe9d8da&algo\\_expid=91f49be7-4ea5-48fc-8fa7-f4b4cfe9d8da-25&btsid=ff7e2f40-085a-4971-82de-7ce2bbdfdcbe&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3,searchweb201603\\_6\\_0](https://es.aliexpress.com/item/4000110592035.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4dba2c31LJKOai&algo_pvid=91f49be7-4ea5-48fc-8fa7-f4b4cfe9d8da&algo_expid=91f49be7-4ea5-48fc-8fa7-f4b4cfe9d8da-25&btsid=ff7e2f40-085a-4971-82de-7ce2bbdfdcbe&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3,searchweb201603_6_0)
- La referencia de los cables son: <https://www.amazon.es/Macho-Hembra-Macho-Macho-Hembra-Hembra-Prototipo-Protoboard/dp/B01NGTXASZ>

- La referencia del ventilador es:  
[https://www.amazon.es/gp/product/B07P43MFS1/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o01\\_s00?ie=UTF8&psc=](https://www.amazon.es/gp/product/B07P43MFS1/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o01_s00?ie=UTF8&psc=)
- La referencia del sensor de temperatura es:  
[https://www.amazon.es/gp/product/B00PUOVKNM/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o00\\_s00?ie=UTF8&psc=1](https://www.amazon.es/gp/product/B00PUOVKNM/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&psc=1) y la referencia para la descarga del “Data sheet” del sensor será <https://www.analog.com/en/products/tmp36.html#product-overview>

# Anexos

## Presupuesto

El presupuesto de este proyecto será el siguiente:

|          | Descripción  | Unidades | Precio unitario | Precio total    |
|----------|--|----------|-----------------|-----------------|
| <b>1</b> | <b>Equipos principales</b>   |          |                 | <b>347,91 €</b> |
| 1.01     | Kit coche buggy condor nitro para ensamblar                                    | 1        | 161,55 €        | 161,55 €        |
| 1.02     | STM32F401RE (Núcleo - F401RE)  | 1        | 19,21 €         | 19,21 €         |
| 1.03     | Kit motor brushless sensorless y variador ESC "Crazepony"                      | 1        | 46,27 €         | 46,27 €         |
| 1.04     | Batería LiPo 3S " HRB Batería Lipo 5000mAh 11.1V 50C 3S "                      | 2        | 36,36 €         | 72,72 €         |
| 1.05     | GoolRC Cargador de Balance /Descargador B6 Mini Multifuncional para RC Batería | 1        | 19,00 €         | 19,00 €         |
| 1.06     | Cables DuPont 120 piezas para placas prototipo                                 | 1        | 5,78 €          | 5,78 €          |
| 1.07     | Dilwe RC Motor Gears, 21T/29T/17T/26T Accesorio de Piñones de Acero            | 1        | 7,43 €          | 7,43 €          |
| 1.08     | TMP36 - Analog Temperature sensor  | 1        | 4,85 €          | 4,85 €          |
| 1.09     | Ventilador doble con disipador de calor para escala 1/10 (Color Oro)           | 1        | 8,50 €          | 8,50 €          |
| 1.10     | 20 Conectores T-Plug (Macho-Hembra, Hembra-Hembra y Macho-Macho)               | 1        | 2,60 €          | 2,60 €          |
| 1.11     | Impresión de piezas 3D y fabricación de soportes baterías                      | -        | - €             | - €             |
| <b>2</b> | <b>Otros gastos</b>  |          |                 | <b>52,19 €</b>  |
| 2.01     | Gastos indirectos, beneficio y mano de obra (15 %)                             |          |                 | 52,19 €         |
| 2.02     | Licencias de software (versiones de estudiante)                                |          |                 | - €             |
| <b>3</b> | <b>Coste total sin IVA</b>   |          |                 | <b>400,10 €</b> |
| <b>4</b> | <b>IVA (21%)</b>   |          |                 | <b>484,12 €</b> |

Tabla 6: Presupuesto