



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
ITINERARIO ELECTRÓNICO

# **SISTEMA EXTENSOR DE AUTONOMÍA Y DE GESTIÓN DE LA BATERÍA PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO**

Autor: Ana María Morote Vázquez

Director: Carlos Castejón De Castro

Director: Álvaro Sánchez Miralles

Madrid

Julio 2018

## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Ana María Morote Vázquez DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Sistema extensor de autonomía y de gestión de la batería de un vehículo eléctrico, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 12 de Julio de 2018

**ACEPTA**



Fdo.....

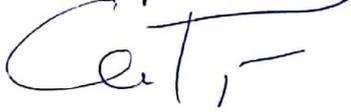
Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
..... Sistema Extensor de Autonomía y de .....  
..... Gestión de la batería de un vehículo eléctrico .....  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico ..... es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Ana María Horvate Vázquez      Fecha: 12/07/2018  


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Carlos Castejón de Castro      Fecha: 12/07/2018  
  
Alvaro Sánchez Miralles.  




ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA  
ITINERARIO ELECTRÓNICO

# **SISTEMA EXTENSOR DE AUTONOMÍA Y DE GESTIÓN DE LA BATERÍA PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO**

Autor: Ana María Morote Vázquez

Director: Carlos Castejón De Castro

Director: Álvaro Sánchez Miralles

Madrid

Julio 2018



# SISTEMA EXTENSOR DE AUTONOMÍA Y DE GESTIÓN DE LA BATERÍA PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Autor: Ana María Morote Vázquez

Director: Carlos Castejón De Castro

Director: Álvaro Sánchez Miralles

## 1. Introducción y objetivos

En la actualidad, los problemas derivados de la contaminación a los que se enfrentan numerosos países son evidentes. Por este motivo, son cada vez más las naciones que apuestan por la energía renovable para el suministro de la misma. No obstante, los países en vías de desarrollo no corren la misma suerte y no cuentan con las medidas necesarias para implementar estas energías renovables y poder así lograr un desarrollo sostenible con el fin de reducir los niveles de desigualdad social en los mismos.

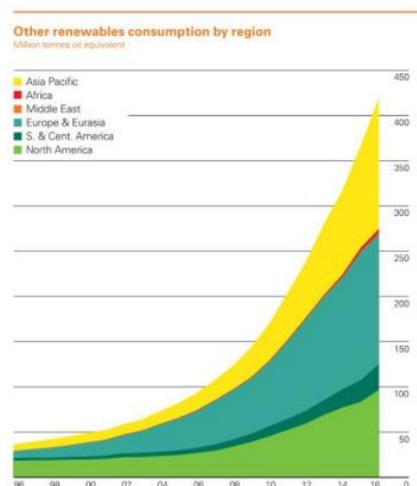


Figura 1. Consumo de energías renovables por región en 2017.

Como es evidente, en la Figura 1 se puede observar que las energías renovables tienen un papel más importante en países desarrollados con respecto a los que están en vías de desarrollo. Sin embargo, actualmente, la Unión Europea está dando indicaciones de estancamiento en la reducción de sus emisiones, por lo que los expertos mantienen que Europa y el resto del mundo necesitan dar el gran paso de descarbonizar el transporte dado que este es el sector responsable de casi el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero [1].

El desarrollo y entrada del coche eléctrico está progresivamente transformando la movilidad. No obstante, esta transición no puede únicamente permanecer en los países ricos puesto que no basta para impedir el cambio climático. Por ello, es imprescindible promover dicha transición en los que están en vías de desarrollo y, para ello, es necesaria la ayuda de los más desarrollados.

Desafortunadamente, los primeros se enfrentan a un problema más severo de base, que es el acceso a la energía, el cual provoca aislamiento e impide que se puedan adoptar medidas para el desarrollo. El acceso a la electricidad es evidentemente un servicio básico para la mejora de la calidad de vida de las personas, y por ello, el acceso a la energía eléctrica podría resolver numerosos problemas a los que se enfrentan las naciones menos desarrolladas. En consecuencia, *las energías renovables* tienen un papel fundamental en dicha mejora junto al *almacenamiento eléctrico mediante baterías*. El presente TFG surge con el fin de fusionar el uso de energías renovables con el almacenamiento eléctrico mediante baterías con el fin de promover un invento tecnológico para combatir los problemas relacionados con el cambio climático y el desarrollo.

Este proyecto implica el diseño, construcción y ensamblaje de un vehículo todoterreno eléctrico a escala que aplica la *tecnología V2G (Vehicule to Grid)* y que incluye el *sistema de autonomía extendida*, cuya combinación es capaz de almacenar y proporcionar energía electromecánica y de favorecer el desplazamiento del vehículo por diversos terrenos, entregando dicha energía donde se requiera.

La tecnología V2G (Vehicule to Grid) ofrece un sistema con el que el consumidor puede usar la energía acumulada en el vehículo eléctrico no sólo para circular, sino también para *suministrar la energía almacenada a utensilios exteriores*. De esta forma, la tecnología V2G ofrece una gran solución para la problemática que se quiere resolver en este proyecto, puesto que el almacenamiento de energía ayudaría a redes de electricidad a funcionar a niveles medios de carga, reduciendo así las interrupciones de suministro en lugares donde las redes son poco fiables. Adicionalmente, otra gran ventaja que se puede destacar del almacenamiento de energía en menor escala es la posibilidad de almacenar potencia de la red cuando es barata y poder usarla cuando los precios suban. De esta manera, el balance de demanda se ajustaría y reduciría las sobrecargas en el sistema en comunidades aisladas.

Por otro lado, se ha decidido implementar el innovador *motor de autonomía extendida* que muchos coches eléctricos hoy en día están incluyendo, para así aportar mayor eficiencia al vehículo. Este sistema cuenta con un motor de combustión interna que se utiliza junto a un generador, para cargar la batería eléctrica cuando se está agotando. No obstante, en este proyecto, se ha realizado una pequeña modificación respecto al sistema previamente descrito, y es que en lugar del motor de combustión, se ha puesto un motor eléctrico puesto que es más fácil de controlar en la maqueta a escala. De esta manera, se consigue un vehículo 100 % eléctrico.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es asociar en un mismo sistema el concepto de *la tecnología V2G y el sistema de autonomía extendida* de un coche eléctrico, con la finalidad de que este vehículo pueda usarse como auténtica batería sobre ruedas y aportar así una solución eficiente, simple y poco costosa a las problemáticas del cambio climático generado por la contaminación, el restringido acceso a la energía y las dificultades de transporte en numerosos países en vías de desarrollo.

## 2. Estructura del montaje del vehículo eléctrico

La estructura del montaje completo del vehículo eléctrico se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Estructura del proyecto.

El elemento más importante es *el microcontrolador dsPIC33FJ32MC202*, que gestiona el sistema de control de todas las señales que se requieren para el correcto funcionamiento del vehículo. La característica fundamental del dsPIC es su versatilidad y su gran capacidad de cálculo, que lo hace apropiado para una aplicación de estas características.

Para lograr el objetivo del proyecto se llevan a cabo una serie de tareas. Dado que se trata de un proyecto muy extenso, se realiza por cuenta de dos alumnas, dividiendo las tareas como se muestra en la Figura 3:

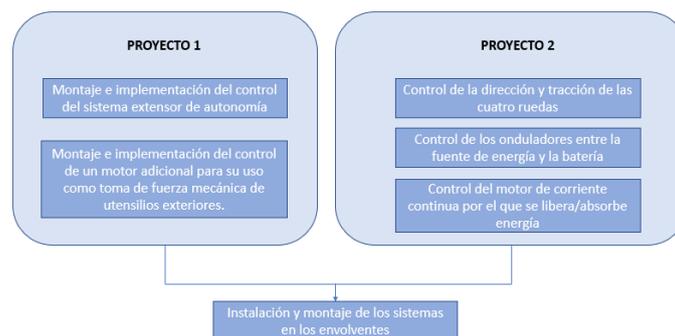


Figura 3. Reparto de las tareas del proyecto.

Los apartados que siguen a continuación están referidos al trabajo realizado para el Proyecto 1.

### 3. Componentes y funciones del sistema

Como se puede observar en la Figura 3, la realización del proyecto se ha dividido en dos subsistemas. Estos son: montaje e implementación del algoritmo necesario para el control del sistema extensor de autonomía y el montaje e implementación del algoritmo requerido para el control de un motor adicional, para su uso como toma de fuerza mecánica de utensilios exteriores. Para cada subsistema, ha sido necesario realizar un estudio inicial para determinar los componentes más adecuados, los cuales cumplieran con los objetivos marcados, analizando distintas alternativas y justificando la elección tomada.

- **Diseño y montaje del extensor de autonomía:** Se dimensiona y se ensambla el extensor de autonomía al igual que se programa el sistema de control electrónico de dicho sistema, que consiste en un pequeño motor eléctrico acoplado a un generador el cual posibilita la generación de energía, facilitando así al vehículo no sólo mayor autonomía, sino también la recarga y almacenamiento de energía de la batería principal.

Adicionalmente, es necesario emplear un medidor de batería que proporciona al usuario en tiempo real el nivel de carga de la batería principal del vehículo, de forma que se pueda controlar su carga y descarga. Para dicho control se dispone de un microcontrolador dsPIC33FJ32MC202. En caso de que este nivel sea bajo, se activa el extensor de autonomía. Mediante un driver puente en H, se habilita la marcha del motor eléctrico (que desempeña el papel de motor de combustión) que, a su vez, arrastra a un generador eléctrico, el cual suministra energía a la batería principal.

- **Diseño y montaje del motor toma de fuerza:** Se tiene un motor adicional para proporcionar un par motor externo mediante la energía almacenada en la batería. Este motor también tiene la posibilidad de actuar como generador con el fin de proporcionar energía a la batería principal del vehículo y poder así recargarla. Este motor se controla mediante el mismo microcontrolador dsPIC33FJ32MC202 por medio de otro driver puente en H.

Asimismo, se emplean unos LEDs para mostrar en todo momento el nivel de carga de las dos baterías del vehículo, tanto la batería principal como la batería del extensor de autonomía.

Por último, la elección de habilitar y deshabilitar los motores del sistema mediante el driver es una decisión que toma el usuario y que se lleva a cabo mediante pulsadores.

Una vez escogidos todos los componentes de los subsistemas que comprende el proyecto, se procede al diseño e implementación del algoritmo software del sistema completo. El funcionamiento básico se describe en el diagrama de la Figura 4.

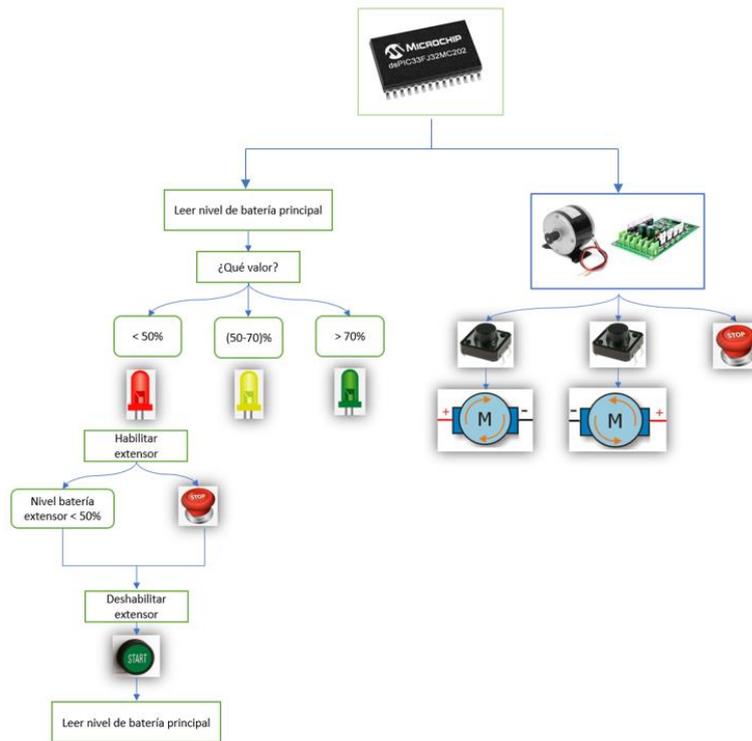


Figura 4. Diagrama del funcionamiento del sistema completo.

#### 4. Resultados y conclusiones

Una vez finalizado el proceso de montaje, desarrollo de software y pruebas, se alcanza la versión del vehículo todoterreno eléctrico que se deseaba, no habiendo podido conseguir la batería principal a tiempo. A continuación, se analizan los resultados y conclusiones tanto para el extensor de autonomía como para el motor de toma de fuerza externa.

En cuanto al extensor de autonomía, se ha logrado con éxito su control por lo que cumple con las especificaciones del proyecto marcadas inicialmente. Por lo tanto, cuando la batería principal está agotándose, el extensor de autonomía se encarga de generar energía para almacenarla en la batería principal de manera segura y eficiente. Seguidamente, se adjunta una fotografía del conexionado real del sistema (Figura 5).

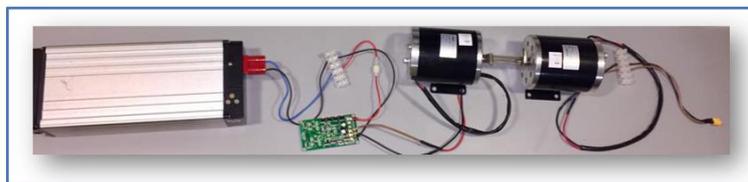
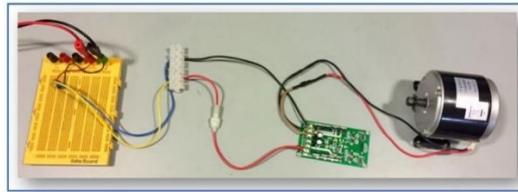


Figura 5. Montaje del extensor de autonomía.

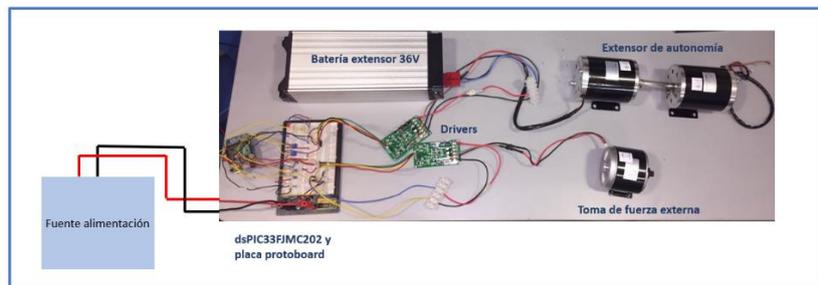
Con respecto al control del motor de la toma de fuerza externa, también se ha desarrollado favorablemente a pesar de no haber podido conseguir la batería principal y haber tenido que simularla con una fuente de alimentación. Se comprueba que el motor eléctrico funciona como motor, cogiendo energía de la batería principal y proporcionando con ella un par motor para ser empleado externamente, o bien, utilizándose como generador con

el fin de proporcionar energía eléctrica a la batería principal y así poder cargarla. A continuación se muestra una fotografía del conexionado real de dicho motor (Figura 6).

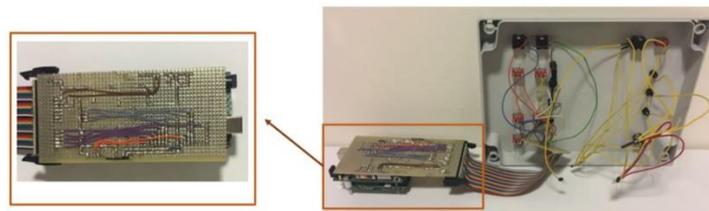


*Figura 6.* Montaje toma de fuerza externa mecánica.

Para finalizar, en la Figura 7 se contempla el resultado final del sistema completo que se debe montar en la maqueta a escala del vehículo todoterreno eléctrico. También se puede comprobar en la Figura 8 el conexionado real de los componentes electrónicos pertinentes para el funcionamiento del sistema.



*Figura 7.* Montaje del sistema completo.



*Figura 8.* Conexionado real componentes electrónicos.

En definitiva, en cuanto a lo que se refiere al ámbito personal, este proyecto me ha aportado una mayor habilidad y capacidad para estudiar en profundidad diversos problemas electrónicos que han ido apareciendo durante la realización del trabajo y encontrar la mejor solución a los mismos. Por otro lado, con respecto al fundamento del proyecto, que es intentar ofrecer soluciones a problemas reales del mundo actual, se concluye que la realización de un vehículo todoterreno eléctrico que puede usarse como auténtica batería sobre ruedas, establece una solución tecnológica que responde satisfactoriamente a las tres problemáticas mencionadas en la introducción: el cambio climático debido a la contaminación, el acceso restringido a la energía en zonas aisladas y las dificultades de transporte en los países en vías de desarrollo.

# EXTENDED-RANGE ELECTRIC VEHICLE SYSTEM AND BATTERY MANAGEMENT FOR AN ELECTRIC VEHICLE

Author: Ana María Morote Vázquez

Director: Carlos Castejón De Castro

Director: Álvaro Sánchez Miralles

## 1. Introduction and objectives

Nowadays, it becomes clear that pollution problems faced by numerous countries are increasing. That is why, countries are increasingly betting on renewable energy for energy supply. However, developing countries don't suffer the same fate and they don't own the necessary measures to implement renewable energy in order to achieve sustainable development. This way, social levels of inequality could significantly decrease between countries.

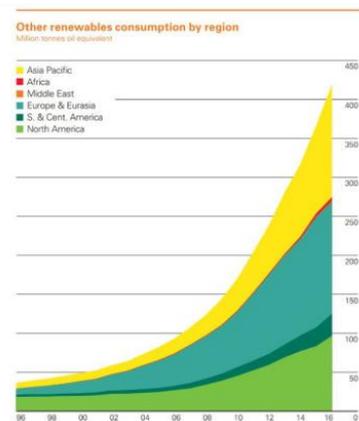


Figure 1. Renewable consumption by region in 2017.

As it is clear, Figure 1 shows that renewable energy has a more important role to play in developed countries with regard to developing countries. However, at the present time, the European Union has given indications of the stagnation of polluting emissions reduction. That is why, experts maintain that Europe and the rest of the world need to take the great step of decarbonizing transport industry since this sector is responsible for almost 25% of greenhouse gas emissions [1]. Electric car development is progressively changing mobility. However, this transition can't only remain in rich countries as it is not enough to prevent climate change. Therefore, it is essential to promote this transition in developing countries, and, to do so, developed countries' help is required.

Unfortunately, developing countries face a more severe core problem, this is, limited access to energy which causes isolation and it blocks taking measures in order to develop. Electricity access is obviously a basic service so as to improve the quality of life, and, therefore, access to electricity would solve numerous problems faced by developing countries. As a consequence, *renewable energies* have a fundamental role in this improvement along with *battery's electric storage*. The present project comes up with the idea of combining renewable energies with battery's electric storage in order to push the initiative of a technological innovation that fights against climate change and social inequality.

To do so, this project implies the design, construction and assembly of an electric all-road vehicle scale model which incorporates *the V2G technology (Vehicle to Grid)* and which includes *the extended-range system* for the purpose of storing and providing electromechanical energy. This vehicle is also able to move around an endless number of fields to use its energy where required.

V2G technology is a system with which the consumer can use the energy accumulated in the electric vehicle not only to move around, but also to *supply this energy to external actions*. Therefore, the V2G technology offers a great solution to the problem given in this project since energy storage would help electricity supply networks to operate at medium power levels and thus, reducing supply interruptions in isolated places where networks are unreliable. In addition, another great advantage that can be highlighted from energy storage is the possibility of buying power grid when it is cheap and being able to use it when prices rise. This way, demand would be balanced and would reduce system overloads in isolated communities.

Besides that, it has been implemented the innovative *extended-range system* that many electric cars are now including to bring about greater efficiency. This system counts with an internal combustion engine which is used along with an engine generator to charge the electric battery when it is running low. However, according to this project, a small modification has been made regarding the system previously described, and that is that the combustion engine is replaced by an electric engine in order to be easier to control.

Therefore, the aim of this project is to associate *V2G technology* and the electric vehicle *extended-range system* so that this vehicle can be used as a real wheel-mounted battery and thus, provide an efficient, simple and inexpensive solution to the problems of climate change, limited access to energy and transport difficulties in many developing countries.

## 2. Electric vehicle assembly structure

The complete assembly structure of the electric vehicle is shown in Figure 2.



Figure 2. Project structure.

The most important component is *the microcontroller dsPIC33FJ32MC202* since it manages the control system of all signals required for the vehicle proper operation. The most important characteristic of dsPIC is its versatility and its great computing capacity, which makes its suitable for an application of these characteristics.

So as to achieve the objective of the project a series of tasks are carried out. Since it is a very extensive project, it has been done by two students, dividing the tasks as shown in Figure 3:

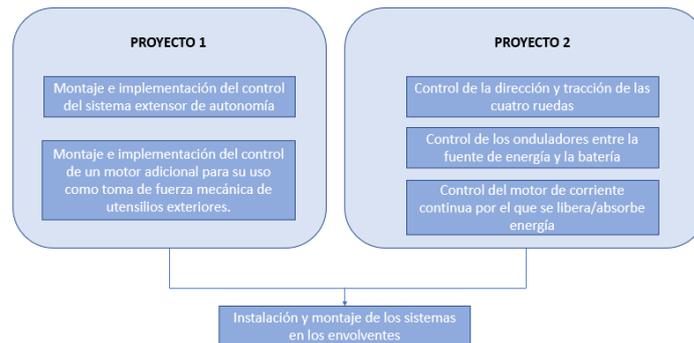


Figure 3. Distribution of project tasks.

The sections that follow are related to the work that has been done for Project 1.

### 3. Components and functions of the system

As it is shown in Figure 3, the implementation of the project has been divided into two subsystems. These are: assembly and implementation of the algorithm necessary for the control of the extended-range system and the assembly and implementation of the algorithm required for the control of an additional motor to be used as a mechanical power take-off for external actions. For each subsystem it has been necessary to undertake an initial study to determine the most suitable components that meet the targets set, analyzing different options and justifying the choice made.

- **Design and assembly of the extended-range system:** The extended-range system is dimensioned and assembled. The electronic system control code is also programmed. The system consists of a small electric engine attached to a generator engine which enables the generation of energy. This supplies the vehicle with not only a larger range-limitation but also the recharging process of the main battery.

In addition, it is necessary to use a battery meter that provides the user with the main battery charge level, so that loading and unloading operations can be controlled. To do this, a dsPIC33FJ32MC202 microcontroller is used. In case charge level is low, the autonomy extender is triggered. Through the use of a H-bridge driver, the electric motor is enabled (it plays the role of combustion

engine), which, in turn, lugs an electric generator. In this way, the system supplies power to the main battery through its own battery.

- **Design and assembly of power take-off engine:** There is an additional motor that can be used as a mechanical power take-off engine for external actions. This engine has also the possibility to operate as a generator in order to provide power to the vehicle main battery and recharge it. This motor is controlled by the same microcontroller dsPIC33FJ32MC202 through the use of another H-bridge driver.

Likewise, LEDs are used to show at any time charge level of the vehicle batteries, both main battery and extended-range system battery.

Finally, the system's engine choice to enable and disable signals is done through the driver and it is a decision made by the user with pushbuttons.

Once all the components of the subsystems that make up the project have been chosen, the software algorithm design and implementation of the complete system is carried out. The basic operation is described in the diagram in Figure 4.

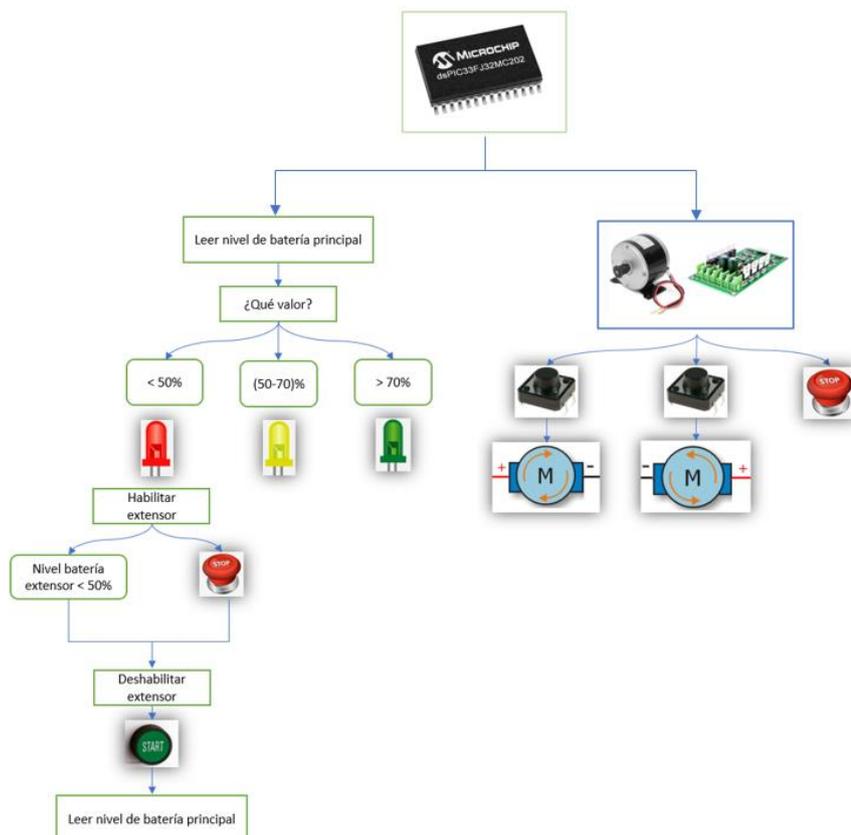


Figure 4. Diagram of the complete system operation.

#### 4. Results and conclusions

Once the assembly, software development and testing process have been completed, the desired version of the electric off-road vehicle is achieved despite the fact that the main battery didn't arrive on time. Below are the results and conclusions of both the extended-range system and the power take-off engine.

Regarding the extended-range system, its control has been successfully achieved, so it meets the project initial requirements. Therefore, when the main battery is running low, the extended-range system is responsible for generating energy to store it in the main battery safely and efficiently. Below, it is attached a picture of the real connection system (Figure 5).

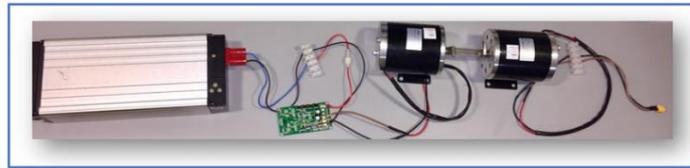


Figure 5. Extended-range system's connection.

On the other hand, regarding the power take-off engine, it has also been favorably developed despite the fact that the main battery has been simulated with a power source. It is verified that the electric engine works as a driving force, taking energy from the main battery and providing with it a torque to be used externally. Moreover, it is validated that the engine can be used as a generator in order to provide electric power to the main battery and charge it. Below, it is attached a picture of the real connection system (Figure 6).

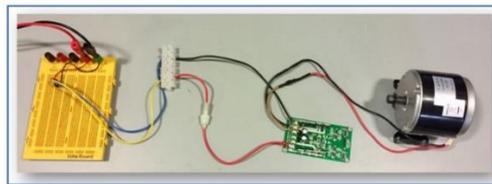


Figure 6. Power take-off engine's connection.

Finally, Figure 7 shows the final result of the complete system that has to be installed on the electric off-road vehicle scale model. Figure 8 illustrates the real connection of the necessary electronic components for the system's operation.

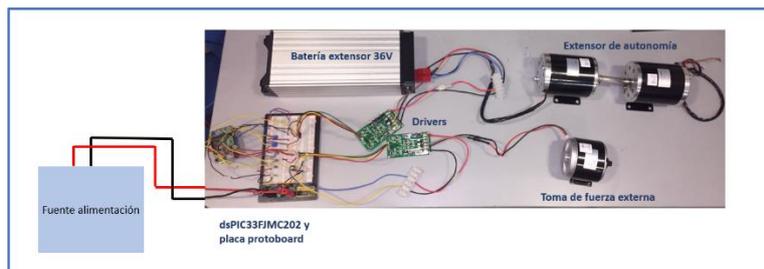
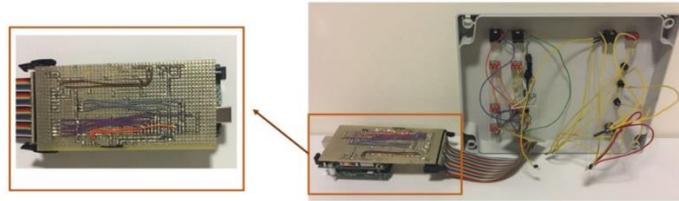


Figure 7. Complete system's connection.



*Figure 8.* Electronic components' connection.

In conclusion, concerning what is referred to the personal field, this project has contributed to develop a greater skill to study in depth numerous electronic problems that have appeared during the realization of the work and finding the best solution on how to deal with the issues. Furthermore, concerning what is referred to project basis which is trying to offer solutions to real world problems, it can be concluded that the implementation of an electric off-road vehicle that can be used as a wheel-mounted battery establishes a technological solution that satisfactorily responds to all three problems mentioned in the introduction that are: climate change due to pollution, limited access to energy in isolated areas and transport difficulties in less developed countries.



## ÍNDICE DE LA MEMORIA

<b>PARTE I</b>	<b>MEMORIA</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1	<i>Introducción</i>	2
1.2	<i>Estado de la cuestión</i>	4
1.3	<i>Motivación</i>	10
1.4	<i>Objetivos</i>	11
1.5	<i>Metodología</i>	13
1.6	<i>Recursos / Herramientas empleadas</i>	14
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>VEHÍCULO ELÉCTRICO DE AUTONOMÍA EXTENDIDA</b>	<b>16</b>
2.1	<i>Vehículo híbrido serie</i>	16
2.2	<i>Vehículo eléctrico de autonomía extendida (REV)</i>	17
2.3	<i>Vehículo 100% eléctrico</i>	18
2.4	<i>Dimensionado del extensor de autonomía</i>	19
2.5	<i>Dimensionado del motor</i>	21
2.6	<i>Dimensionado de la batería</i>	26
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>ELECCIÓN DE COMPONENTES</b>	<b>28</b>
3.1	<i>Batería</i>	28
3.2	<i>Cargador de la batería</i>	30
3.3	<i>Motores corriente continua</i>	32
3.4	<i>Driver</i>	35



3.5 Conmutadores .....	41
3.6 Pulsadores .....	45
3.7 Potenciómetros .....	47
<b>CAPÍTULO 4 PROCESADOR DE SEÑALES .....</b>	<b>50</b>
4.1 Microcontrolador dsPIC .....	50
4.2 Descripción del entorno del dsPIC .....	52
4.3 Herramientas de desarrollo .....	55
4.4 Módulos utilizados .....	55
4.4.1 Configuración del conversor A / D .....	56
4.4.2 Configuración de la UART .....	61
4.5 Configuración de los pines .....	65
<b>CAPÍTULO 5 DESARROLLO DEL SOFTWARE .....</b>	<b>68</b>
5.1 Diagrama de flujo del sistema .....	68
5.2 Medidor de batería .....	72
5.2.1 Algoritmo medidor de batería .....	78
5.3 Control de velocidad de un motor CC.....	82
5.3.1 Algoritmo control de velocidad de un motor CC .....	84
<b>CAPÍTULO 6 IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA .....</b>	<b>86</b>
6.1 Montaje extensor de autonomía .....	86
6.1.1 Transmisión de potencia entre ejes .....	88
6.1.2 Algoritmo extensor de autonomía.....	92
6.2 Montaje toma de fuerza externa mecánica .....	101
6.2.2 Algoritmo toma de fuerza externa mecánica.....	103
<b>CAPÍTULO 7 RESULTADOS.....</b>	<b>112</b>
7.1 Resultados.....	112
<b>CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS.....</b>	<b>120</b>



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Índice de la memoria

---

8.1 Conclusiones.....	120
8.2 Líneas futuras de trabajo .....	122
<b>CAPÍTULO 9 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL .....</b>	<b>124</b>
<b>PARTE II PRESUPUESTO .....</b>	<b>130</b>
<b>CAPÍTULO 1 MEDICIONES.....</b>	<b>132</b>
1.1 Componentes .....	132
1.2 Equipos y herramientas .....	133
1.3 Software .....	134
1.4 Mano de obra.....	134
<b>CAPÍTULO 2 PRECIOS UNITARIOS.....</b>	<b>136</b>
2.1 Componentes .....	136
2.2 Equipos y herramientas .....	137
2.3 Software .....	138
2.4 Mano de obra.....	138
<b>CAPÍTULO 3 SUMAS PARCIALES .....</b>	<b>140</b>
3.1 Componentes .....	140
3.2 Equipos y herramientas .....	141
3.3 Software .....	142
3.4 Mano de obra.....	142
<b>CAPÍTULO 4 PRESUPUESTO GENERAL .....</b>	<b>144</b>
<b>PARTE III PLANOS .....</b>	<b>146</b>
<b>PARTE IV CÓDIGO FUENTE .....</b>	<b>156</b>



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Índice de la memoria

---

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>CÓDIGO FUENTE</b> .....	<b>158</b>
<i>1.1</i>	<i>AD.c</i> .....	<b>158</b>
<i>1.2</i>	<i>Pwm.c</i> .....	<b>159</b>
<i>1.3</i>	<i>Toma_de_fuerza.c</i> .....	<b>162</b>
<i>1.4</i>	<i>Pulsador.c</i> .....	<b>164</b>
<i>1.5</i>	<i>Parpadeo.c</i> .....	<b>165</b>
<i>1.6</i>	<i>Puertos.c</i> .....	<b>166</b>
<i>1.7</i>	<i>Uart.c</i> .....	<b>167</b>
<i>1.8</i>	<i>Fichero main máquina de estados</i> .....	<b>170</b>
<i>1.9</i>	<i>Fichero main UART</i> .....	<b>176</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Lunar Roving Vehicle.....	6
Figura 2: Soccer Ball. ....	8
Figura 3: Nuru PowerCycle.....	9
Figura 4: Watt-r. ....	10
Figura 5: Diagrama extensor de autonomía y toma de fuerza.....	13
Figura 6: Tren de potencia de un vehículo híbrido serie. ....	17
Figura 7: Tren de potencia de un vehículo eléctrico de autonomía extendida. ....	18
Figura 8: Tren de potencia de un vehículo 100% eléctrico. ....	19
Figura 9: Batería 2P10S SAMSUNG 22P.....	29
Figura 10: Cargador Lítio-Ion CEL9024.....	31
Figura 11: Partes de un motor CC. ....	32
Figura 12: Motor DC MY1020.....	33
Figura 13: Bornas de conexión del motor CC. ....	34
Figura 14: Esquema de un puente en H. ....	36
Figura 15: Transistores Q1 y Q4 activados.....	37
Figura 16: Transistores Q2 y Q3 activados. ....	38
Figura 17: Patillaje del módulo puente en H. ....	40
Figura 18: Estado conmutador de dos contactos independientes. ....	42
Figura 19: Estado conmutador de dos contactos conmutados.....	42
Figura 20: Interruptor giratorio 2 posiciones.....	43
Figura 21: Interruptor giratorio 3 posiciones.....	43
Figura 22: Configuración pull-up.....	45
Figura 23: Esquema conexionado pulsadores. ....	46
Figura 24: Potenciómetro. ....	47
Figura 25: Diagrama de un potenciómetro. ....	47
Figura 26: Esquema conexionado potenciómetros.....	48
Figura 27: Microcontrolador dsPIC33FJ32MC202.....	51
Figura 28: Patillaje microcontrolador dsPIC33FJ32MC202.....	53
Figura 29: Placa circuito impreso.....	54
Figura 30: Niveles de carga batería. ....	69
Figura 31: Diagrama de flujo para carga inferior al 50%.....	70
Figura 32: Diagrama de flujo para carga superior al 50%.....	71
Figura 33: Divisor de tensión. ....	73
Figura 34: Esquema divisor de tensión batería principal. ....	74
Figura 35: Esquema divisor de tensión batería extensor. ....	74



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Índice de figuras

---

Figura 36: Distribución de los LEDs.....	76
Figura 37: Esquema conexionado LEDs.....	77
Figura 38: Funcionamiento del PWM según el ancho de pulso.....	83
Figura 39: Ciclo de trabajo de una señal PWM.....	83
Figura 40: Funcionamiento extensor de autonomía.....	87
Figura 41: Esquema eléctrico del extensor de autonomía.....	87
Figura 42: Acoplamiento rígido de manguito.....	88
Figura 43: Acoplamiento flexible de rejilla de acero.....	89
Figura 44: Tubo PVC transparente.....	90
Figura 45: Abrazadera de apriete de tornillo de acero inoxidable.....	90
Figura 46: Sistema de transmisión entre ejes.....	91
Figura 47: Conexionado real extensor de autonomía.....	91
Figura 48: Diagrama máquina de estados extensor de autonomía.....	95
Figura 49: Tensión en bornes del motor generador.....	96
Figura 50: Ventana para indicar el puerto de conexión.....	97
Figura 51: Recepción nivel de carga de la batería con comDebug.....	99
Figura 52: Nivel de carga inferior al 50%.....	100
Figura 53: Nivel de carga superior al 80%.....	100
Figura 54: Funcionamiento de la toma de fuerza como motor.....	101
Figura 55: Funcionamiento de la toma de fuerza como generador.....	102
Figura 56: Esquema eléctrico toma de fuerza externa mecánica.....	102
Figura 57: Conexionado real toma de fuerza externa mecánica.....	103
Figura 58: Tensión en bornes del motor toma de fuerza.....	106
Figura 59: Sentido horario / antihorario motor CC.....	109
Figura 60: Sentido de giro positivo.....	110
Figura 61: Sentido de giro negativo.....	110
Figura 62: Bastidor y soporte de las ruedas.....	113
Figura 63: Conexionado real del sistema completo.....	113
Figura 64: Conexionado real componentes electrónicos.....	114
Figura 65: Caja componentes electrónicos.....	115
Figura 66: Nivel de carga inferior al 50%.....	115
Figura 67: Nivel de carga entre el 50 y 70%.....	116
Figura 68: Nivel de carga superior al 80%.....	116
Figura 69: Comparación medida con fuente de alimentación.....	117



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones técnicas Batería 2P10S Samsung 22P. ....	30
Tabla 2: Especificaciones técnicas cargador Litio-Ion CEL9024. ....	31
Tabla 3: Especificaciones técnicas motor DC MY1020.....	34
Tabla 4: Especificaciones técnicas Motor DC MY1016. ....	35
Tabla 5: Funcionamiento puente en H.....	38
Tabla 6: Especificaciones técnicas Quimat DC H-Bridge.....	40
Tabla 7: Especificaciones técnicas Interruptor giratorio 2 posiciones. ....	44
Tabla 8: Especificaciones técnicas Interruptor giratorio 3 posiciones. ....	44
Tabla 9: Configuración de puertos. ....	65
Tabla 10: Valores analógicos y velocidad del motor. ....	107
Tabla 11: Comparación de baterías extensor de autonomía. ....	118
Tabla 12: Mediciones de componentes. ....	133
Tabla 13: Mediciones de equipo y herramientas. ....	133
Tabla 14: Mediciones de software.....	134
Tabla 15: Mediciones de la mano de obra. ....	134
Tabla 16: Precios unitarios de componentes. ....	137
Tabla 17: Precios unitarios de equipo y herramientas.....	137
Tabla 18: Precios unitarios de software.....	138
Tabla 19: Precios unitarios de la mano de obra.....	138
Tabla 20: Sumas parciales de los componentes. ....	141
Tabla 21: Sumas parciales de los equipos y herramientas.....	141
Tabla 22: Sumas parciales del software. ....	142
Tabla 23: Sumas parciales de la mano de obra.....	142
Tabla 24: Presupuesto general.....	144



## **ÍNDICE DE GRÁFICAS**

Gráfica 1: Fuerza de rozamiento / velocidad en llano. ....	22
Gráfica 2: Potencia / velocidad en llano. ....	23
Gráfica 3: Fuerzas de rozamiento / velocidad en pendiente. ....	24
Gráfica 4: Potencia / velocidad en pendiente. ....	25
Gráfica 5: Tensión vs Lectura analógica. ....	108
Gráfica 6: Velocidad del motor vs Lectura analógica. ....	108



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

# **PARTE I**

# ***MEMORIA***



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

---



## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se plantea una introducción a este proyecto. En la sección 1.2 se abordan las tecnologías existentes relacionadas con el tema del proyecto. Posteriormente, en las secciones 1.3 y 1.4 se establecen la motivación y los objetivos, respectivamente. En la sección 1.5 se describe la metodología adoptada en el proyecto y, por último, en la sección 1.6 se citan los recursos empleados.

### *1.1 Introducción*

---

---

En los últimos tiempos se ha comenzado a dar suma importancia al cuidado del medio ambiente, sobre todo después de hechos tales como el calentamiento global. El cambio climático afecta a todos y no es sólo un fenómeno ambiental, sino que también ocasiona graves consecuencias relacionadas con la economía y la sociedad. Algunas de las predicciones que se pronostican son falta de agua potable, cambios en las condiciones para la producción de alimentos y aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones y huracanes entre muchos otros fenómenos climatológicos. Como se ha podido observar, los factores nombrados anteriormente son alarmantes y van más allá del cambio climático y de la modificación en la conducta de muchas especies. Por consiguiente, a pesar de que haya incertidumbres que no permitan determinar con firmeza los cambios previstos, la información corroborada hasta ahora es suficiente para tomar medidas de forma inminente. Por ello, la mayor parte de los países están tratando de reducir el consumo de combustibles fósiles con el fin de disminuir la emisión de gases de

---



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Introducción

---

efecto invernadero (GEI) y de otras partículas contaminantes contraproducentes responsables del calentamiento global.

El sector del transporte es responsable de alrededor del 15% de las emisiones GEI a nivel mundial [2]. Por este motivo, uno de los muchos proyectos sostenibles que se están llevando a cabo es la introducción del vehículo eléctrico que supone un gran cambio en los modelos de movilidad en nuestra sociedad.

Hasta ahora, la relación entre los vehículos eléctricos y la red eléctrica ha sido unidireccional. Las baterías de los vehículos se recargan cuando estos llegan a un nivel de baja carga, a través de un flujo de energía que parte desde la red eléctrica hacia el vehículo eléctrico.

Si nos remontamos unos años atrás, en 2015, Endesa y Nissan presentaron un acuerdo para impulsar un cambio en el ámbito de la movilidad eléctrica en Europa [3]. Ambas empresas se unieron con el fin de lanzar al mercado europeo un sistema comercialmente viable de vehículos eléctricos que permitiesen la doble direccionalidad; sistema conocido como el V2G (Vehicle to Grid). Se trata de un sistema con el que el consumidor puede usar la energía acumulada en el vehículo eléctrico no sólo para circular, pero también para suministrar energía a su hogar o incluso venderla, si bien esto último sólo está permitido en aquellos países donde esté regulado dicho uso.

El objetivo del presente Trabajo Fin de Grado consiste en aplicar el concepto de la tecnología V2G para diseñar, fabricar y montar un vehículo eléctrico de autonomía extendida a escala capaz de almacenar y proporcionar energía electromecánica y que, de esta manera, este vehículo pueda usarse como auténtica batería sobre ruedas.

Para ello, por un lado, se desarrolla un prototipo de sistema electrógeno que consiste en un pequeño motor eléctrico que desempeña el papel de motor de combustión acoplado a un generador eléctrico. Este sistema permite generar energía, posibilitando así la recarga de la batería principal del vehículo.



Por otro lado, se tiene un motor adicional para su uso como toma de fuerza mecánica de utensilios exteriores. Este motor también tiene la posibilidad de actuar como generador con el fin de proporcionar energía a la batería principal del vehículo y poder así recargarla.

Además, se emplea un medidor de batería que proporciona al usuario en tiempo real el nivel de batería principal del vehículo, de forma que se pueda controlar su carga y descarga. El sistema de control dispone de un microcontrolador dsPIC33FJ32MC202 que a través de una de sus entradas analógicas está constantemente midiendo el nivel de carga de la batería del vehículo. En caso de que este nivel sea bajo, se activa el extensor de autonomía. Mediante un driver puente en H, se habilita la marcha del motor de combustión que, a su vez, arrastra a un generador eléctrico. Este suministra energía a la batería principal a través de su propia batería.

Por otro lado, la toma de fuerza mecánica externa también se controla mediante el mismo microcontrolador dsPIC33FJ32MC202. Este motor proporciona un par motor para ser empleado externamente, o, por el contrario, el motor puede utilizarse como generador con el fin de proporcionar energía eléctrica a la batería principal y así poder recargarla.

Además, se emplean elementos digitales visuales para mostrar en todo momento el nivel de carga de las dos baterías del vehículo, tanto la batería principal como la batería del extensor de autonomía. Para ello, se disponen de unos LEDs.

## ***1.2 Estado de la cuestión***

---

---

Este proyecto implica el diseño, la fabricación y el montaje de un vehículo eléctrico de autonomía extendida capaz de almacenar y proporcionar energía electromecánica y de desplazarse por cualquier terreno para entregar dicha energía donde se requiera. Por este motivo, es de suma importancia estudiar los tipos de vehículos eléctricos que hay, el funcionamiento de los híbridos enchufables y haciendo evidentemente hincapié en los

---



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Introducción

---

vehículos eléctricos de autonomía extendida. También se estudiarán en este apartado las soluciones tecnológicas que han sido diseñadas con el fin de mejorar el acceso a la electricidad en países en vías de desarrollo, dado que el proyecto está enfocado a que el vehículo pueda suministrar energía en lugares aislados.

El proyecto toma como punto de arranque el vehículo que se envió a la luna en 1969 destinado al transporte de los astronautas una vez allí dado que la estructura de dicho vehículo se toma como referencia a la hora de fabricar el bastidor. Por lo tanto, se dará una breve explicación de las características del Lunar Rover posteriormente.

**Lunar Roving Vehicle:** También llamado LRV. Se trata de un vehículo todoterreno empleado por los astronautas en las misiones Apolo 15, 16 y 17 en sus desplazamientos por la superficie lunar. Constaba con unas dimensiones de 90x150x170 cm y una autonomía establecida en 78 horas de funcionamiento durante el día lunar. Se componía de un chasis de aluminio con cuatro ruedas y dos asientos. El peso de carga era de 621 kg. Además, cada rueda disponía de su propio motor eléctrico de 0,25 CV que generaban una capacidad de giro de 10.000 rpm. En lo que respecta a la batería, la energía eléctrica del LRV la proporcionaban dos baterías de 36 voltios no recargables capaces de suministrar una carga eléctrica de 121 Ah [4].

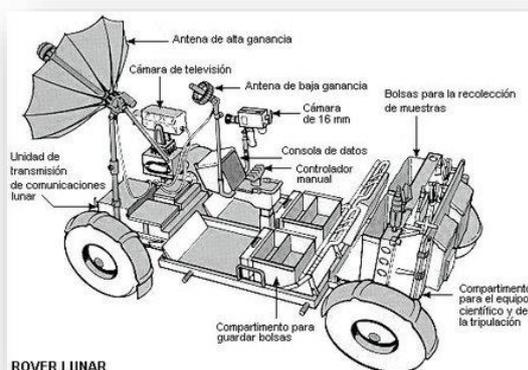
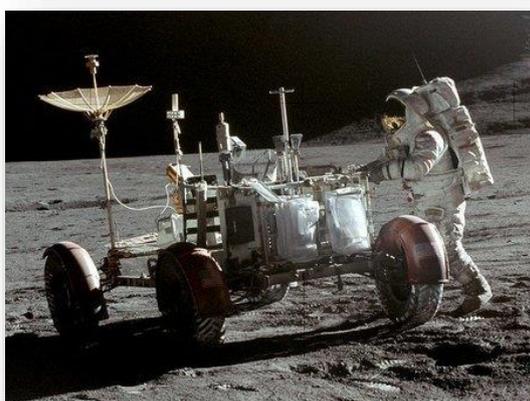


Figura 1: Lunar Roving Vehicle.

A continuación, se presenta una breve explicación de los tipos de coches eléctricos que existen.

**Vehículo 100% eléctrico:** También llamado BEV (*Battery Electric Vehicle*). Se trata de un vehículo que dispone de un motor eléctrico que transforma la energía almacenada en las baterías en energía cinética que se transmite directamente a las ruedas. Además, el BEV aprovecha la energía producida durante las frenadas y los desniveles para generar electricidad que se acumula en las baterías. Tiene una autonomía de hasta 300 km, como puede ser el caso del vehículo comercial de BMW i3 2017 [5].

**Vehículo eléctrico con autonomía extendida:** También conocido como REEV (*Range Extender Electric Vehicle*), es un vehículo eléctrico que contiene un pequeño motor extra de combustión que sirve para generar electricidad con el fin de que alimente la batería cuando ésta se haya descargado y se pueda tener un extra de autonomía. En el momento en el que la batería está baja, se puede recargar en un punto de recarga o bien dejar que se accione el motor de combustión para que éste cargue de nuevo la batería. Tiene una autonomía de hasta 240 km y 200 km adicionales del motor de apoyo [5].



**Vehículo híbrido enchufable:** En inglés PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*). Este vehículo consta de dos motores, uno eléctrico alimentado por baterías y otro motor convencional diésel o gasolina. El uso del motor de combustión se reserva habitualmente para desplazamientos por carretera, mientras que el modo eléctrico se usa para recorridos urbanos. La autonomía depende del motor convencional y es en torno a 40 km y 1.100 km adicionales con motor térmico [5].

**Vehículo eléctrico híbrido:** También conocido como HEV (*Hybrid Electric Vehicles*) dispone de los mismos elementos que el vehículo híbrido enchufable, pero, en este caso, la batería no posee la opción de enchufarse para recargarse, por lo que se recarga únicamente empleando las frenadas y los desniveles. Tiene una autonomía de 20 km y 1.100 km adicionales con motor convencional [5].

A continuación, se muestran algunas soluciones que se han llevado a cabo con el fin de mitigar el limitado acceso eléctrico principalmente en países en vías de desarrollo.

**Soccket Ball:** Este invento nace de un proyecto solidario e innovador. Se trata de un balón de fútbol capaz de producir y almacenar energía eléctrica cada vez que se le golpea al balón, teniendo de esta forma, una salida de energía de 6W. El Soccket Ball fue diseñado por un grupo de alumnos de la Universidad de Harvard que, tras conseguir crear esta pelota, fundaron su propia empresa, llamada Uncharted Play. El funcionamiento del invento es el siguiente: en su interior contiene un péndulo que aprovecha la energía cinética mediante un generador conectado a una batería recargable. Además, esta pelota ya se ha probado con gran éxito en varios lugares marginales de Sudamérica y en la actualidad, se está ampliando la producción para conseguir electricidad verde y gratuita a todos aquellos que más lo necesitan [6].



*Figura 2:* Soccket Ball.

***Nuru PowerCycle:*** Es una iniciativa que nace en 2008 e impulsada por el Banco Mundial. Se trata de un sistema que consta de una bicicleta, que no contiene batería, y que transforma la energía cinética del pedaleo en electricidad. Este sistema de pedaleo puede recargar hasta cinco luces a la vez en 20 minutos de ejercicio, con una duración por carga de hasta 10 días de luz. Este tipo de energía eléctrica, barata y segura ayuda a que los más pobres tengan acceso a la electricidad y puedan mantener sus casas iluminadas [7].



*Figura 3: Nuru PowerCycle.*

**Watt-r:** Se trata de un vehículo solar de bajo coste ideado para mejorar el transporte de agua en África. Su inventor es el madrileño *José París*, que con la mente puesta en los millones de personas que tienen que desplazarse durante horas hasta una fuente de agua, procura aportar su granito de arena para erradicar este problema que todavía afecta a más de 660 millones de personas. Si bien este proyecto está aún en pleno desarrollo, se comenzará a probar localmente este año 2018. El Watt-r tendrá capacidad para cargar una docena de contenedores de 20 litros. Además, dispone de un motor eléctrico de bicicleta de 150 W y todas sus piezas pueden fabricarse a través de impresión 3D. Toda esta simplicidad juega un papel fundamental para que los costes sean lo más bajos posibles y tenga un mayor alcance social. El Watt-r funcionará igualmente como unidad de recarga [8].



*Figura 4: Watt-r.*

### ***1.3 Motivación***

---

Este proyecto es fruto del propósito de resolver problemas que enfrentan a la sociedad de hoy en día. Como se ha podido observar en apartados anteriores, el cambio climático es uno de los problemas ambientales más graves al que se enfrenta la humanidad. Desafortunadamente, otro gran problema en la actualidad es la falta de acceso a la energía que produce graves consecuencias en el crecimiento de los países menos aventajados.

Desde la perspectiva del Ingeniero, uno de los grandes retos es ayudar a diseñar un mundo mejor. Para ello, es necesario contar con una mirada más humana, un enfoque sostenible y dejarse guiar por una filosofía de trabajo que defienda el bienestar y seguridad de la gente y beneficie a la sociedad.

Por esta razón surge la idea de unir en un mismo sistema una solución para ambos problemas mencionados antes, ayudando así a mitigar el restringido acceso a la energía,

---



todavía, en gran número de países, y reduciendo al mismo tiempo la contaminación gracias al uso de motores eléctricos y baterías en vez de motores de combustión.

## ***1.4 Objetivos***

---

El proyecto consiste en el diseño, la construcción, las pruebas y la validación de un sistema electrónico de control que gestiona un grupo electrógeno integrado en un modelo real, a escala, de un vehículo todoterreno eléctrico. El grupo electrógeno tiene como labor generar energía a partir de un motor eléctrico que simula el correspondiente motor de explosión de un vehículo convencional. Este motor proporciona la fuente de energía mecánica para que el motor eléctrico contiguo genere electricidad. El sistema administra la carga y descarga de la batería, posibilitando no sólo la recarga del vehículo, sino también el suministro de energía eléctrica de manera segura al exterior.

Este proyecto se completa con el estudio implementado por otra alumna que se ocupa del sistema de control de los motores de las ruedas y de la carga y descarga de la batería principal del mismo modelo real y a escala del vehículo eléctrico. Esta parte está integrada al extensor de autonomía con la finalidad de que el modelo consista fundamentalmente en una batería con ruedas que pueda trasladarse a cualquier lugar aislado que requiera gran necesidad de suministro de energía segura.

El vehículo todoterreno eléctrico se ha fabricado y montado a escala 1:3 con el fin de demostrar su utilidad y aplicaciones reales.

A continuación, se especifican con más detalle los objetivos del proyecto:

- Poder tomar energía eléctrica desde el extensor de autonomía basado en un motor eléctrico que simula el motor de combustión y acoplado a un generador eléctrico.
  - Poder cargar la batería tomando energía eléctrica de un enchufe al igual que el vehículo eléctrico convencional.
-



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Introducción

---

- Poder descargar la batería con el fin de suministrar energía al exterior a través de un enchufe.
- Poder descargar la batería para que los motores de las ruedas se muevan de manera controlada.
- Poder tener un funcionamiento combinado. De esta manera, se podría cargar la batería con el extensor de autonomía a la vez que se descarga para alimentar una carga eléctrica externa o hacer funcionar los motores de las ruedas del vehículo.
- Integrar un motor eléctrico adicional para su uso como toma de fuerza mecánica externa. Esta toma de fuerza está compuesta por un motor eléctrico que está conectado a la batería principal del modelo a escala. Este motor puede funcionar como motor (cogiendo energía de la batería principal) y proporcionando con ella un par motor para ser empleado externamente, o, por el contrario, puede utilizarse como generador con el fin de proporcionar energía eléctrica a la batería principal y así poder cargarla.

A continuación, se presenta el diagrama del extensor de autonomía y el motor de toma de fuerza que se ha implementado en el modelo a escala del vehículo.

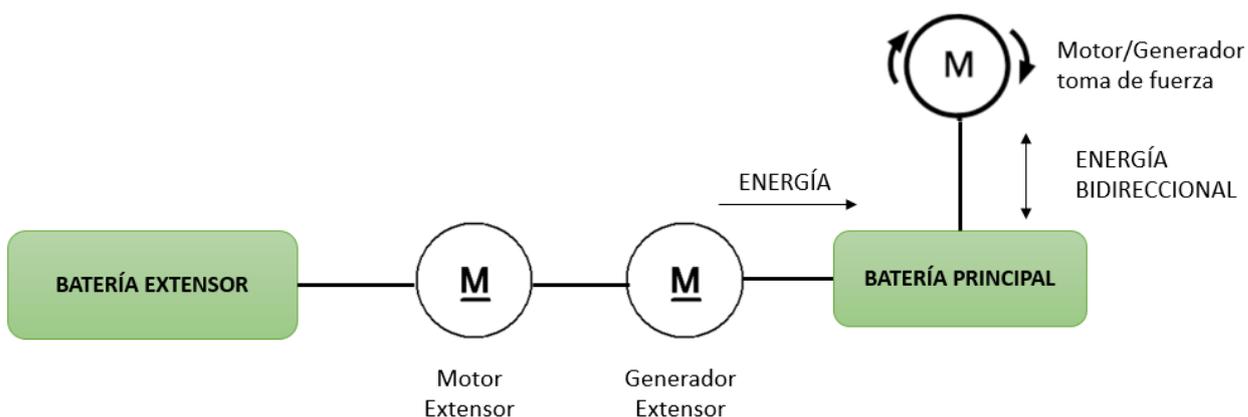


Figura 5: Diagrama extensor de autonomía y toma de fuerza.

## 1.5 Metodología

La metodología que se ha seguido durante el proyecto consiste en varios pasos. Primero se han fijado las características y se ha dimensionado el generador eléctrico del extensor de autonomía con el fin de elegir los motores eléctricos y la batería que lo componen. Para ello se ha atendido a varios criterios, principalmente el económico. Posteriormente se ha ensamblado el sistema y se han realizado las pruebas pertinentes. Para finalizar, se han expuesto los resultados obtenidos.



## ***1.6 Recursos / Herramientas empleadas***

---

---

Los materiales empleados para desarrollar el sistema son los siguientes:

- DsPIC33FJ32MC202
- 3 motores de corriente continua
- Batería extensor de autonomía
- Batería principal
- Conmutador de 2 posiciones
- Conmutador de 3 posiciones
- Cargador de batería
- 2 módulos driver puente en H
- Licencia gratuita MPLAB X IDE



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Vehículo eléctrico de autonomía extendida

---



## Capítulo 2 VEHÍCULO ELÉCTRICO DE AUTONOMÍA EXTENDIDA

En este capítulo se va a explicar detalladamente los conceptos de vehículo híbrido serie, vehículo eléctrico de autonomía extendida y vehículo 100% eléctrico en las secciones 2.1, 2.2 y 2.3 respectivamente dado que el prototipo de vehículo eléctrico que se quiere desarrollar en este proyecto se asemeja bastante a estos. Posteriormente, en la sección 2.4 se describen tanto el dimensionamiento de los motores como el dimensionamiento de la batería que se han escogido para montar el extensor de autonomía.

### *2.1 Vehículo híbrido serie*

---

El vehículo híbrido serie consiste en un vehículo cuyas ruedas pueden ser propulsadas por uno o más motores eléctricos. La demanda de electricidad de dichos motores eléctricos puede suministrarse mediante una batería o un motor térmico acoplado a un generador eléctrico. Este generador eléctrico convierte la energía mecánica proveniente del motor de combustión en energía eléctrica, la cual tiene dos funcionalidades: alimentar el motor eléctrico y/o recargar la batería del vehículo. Las prestaciones del vehículo, como son, por ejemplo, la aceleración y la máxima velocidad, vienen determinadas por el tamaño y características del motor eléctrico. Este motor también opera como generador, permitiendo así la regeneración de energía mientras se frena para almacenarla en la batería [9].

---



En la Figura 6, se puede observar el sistema de propulsión de un vehículo híbrido serie.

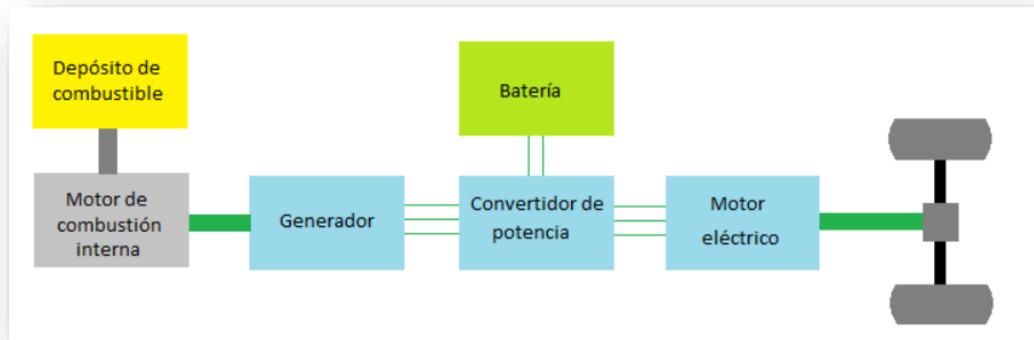


Figura 6: Tren de potencia de un vehículo híbrido serie.

## 2.2 Vehículo eléctrico de autonomía extendida (REV)

---

La principal diferencia entre un vehículo híbrido serie y el denominado REV es que este último tiene la posibilidad de conectarse directamente a la red eléctrica de forma que se puedan recargar las baterías. Toda la energía consumida por un vehículo híbrido serie proviene del combustible, mientras que un REV dispone de dos reservas de energía: el combustible y la energía que se almacena en la batería proveniente de la red eléctrica. El tamaño de la batería también aumenta dado que ahora, esta se encarga de proporcionar potencia eléctrica al motor eléctrico de las ruedas y se convierte en un almacenamiento de energía, de la misma forma que lo es el combustible fósil [9].

En la Figura 7, se puede observar el sistema de propulsión de un vehículo REV.

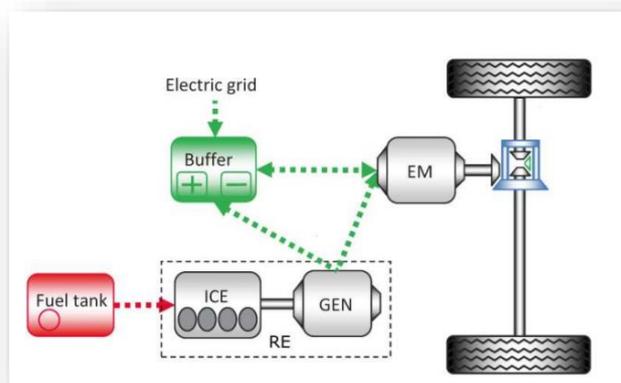


Figura 7: Tren de potencia de un vehículo eléctrico de autonomía extendida.

### 2.3 Vehículo 100% eléctrico

---

El vehículo 100% eléctrico es propulsado íntegramente por uno o más motores eléctricos por lo que la energía consumida por el motor es suministrada por las baterías. Esta energía eléctrica consumida se repone recargando el vehículo mediante un enchufe y una estación que varía en función del tiempo de recarga, que o bien puede ser lenta, semi-rápido o rápida [9].

A continuación, la Figura 8 muestra el tren de potencia de un vehículo 100% eléctrico.

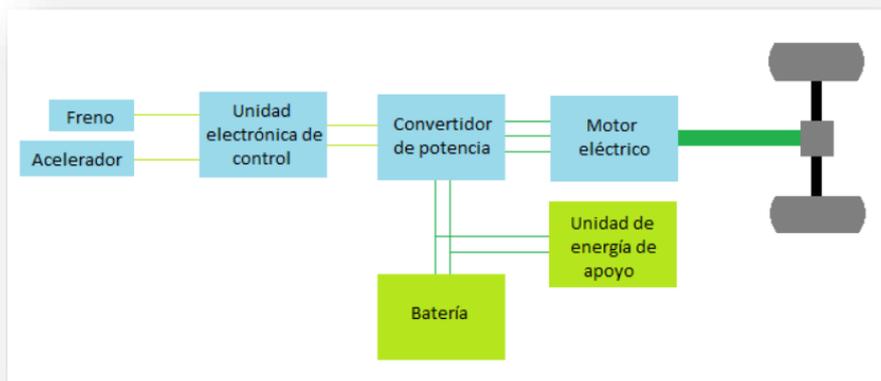


Figura 8: Tren de potencia de un vehículo 100% eléctrico.

## 2.4 Dimensionado del extensor de autonomía

El presente proyecto tiene por objeto integrar un extensor de rango a un vehículo eléctrico todoterreno de 40x20mm con el fin de ampliar la autonomía proporcionada por la batería. Este vehículo monta una batería principal y cuatro motores, un motor acoplado a cada rueda que se controlan mediante un controlador. El extensor de autonomía que se va a implementar al vehículo recoge una gran diferencia con respecto a los sistemas acoplados en los vehículos eléctricos comerciales, y es que, el conjunto convencional está compuesto de un tanque de combustible fósil, un motor de combustión y un generador mientras que el extensor de este proyecto dispondrá de un motor eléctrico que sustituye al motor de combustión. Este motor eléctrico de propulsión se activa mediante un driver, y proporciona la fuente de energía mecánica necesaria para que el motor eléctrico contiguo genere electricidad y que, de esta manera, posibilite la recarga del vehículo.

Asimismo, en las siguientes secciones, se van a analizar los principales factores que se deben de tener en cuenta a la hora de diseñar y dimensionar el extensor de autonomía del vehículo.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Vehículo eléctrico de autonomía extendida

---

Las características de los motores eléctricos acoplados a las ruedas deben escogerse dependiendo de las prestaciones deseadas para el vehículo. En este proyecto, estos motores se consideran ya determinados dado que la selección de estos componentes corresponde al proyecto llevado a cabo por otra alumna de la Escuela, y estos requieren de una potencia de 250 W cada uno. Una vez que se conoce la potencia eléctrica demandada por estos motores, se puede proceder a la elección tanto de la batería principal como del extensor de rango (RE). De nuevo, la selección de la batería principal no corresponde a este proyecto y se valora como determinada.

Con el fin de disponer de la máxima capacidad que suministran los motores eléctricos de las ruedas, se deberá establecer la siguiente fórmula:

$$\frac{P_{EM}}{\eta} \leq P_{RE} + P_{BAT}$$

Siendo:

$P_{EM}$ : Potencia motor ruedas.

$\eta$ : rendimiento motor ruedas.

$P_{RE}$ : Potencia extensor de rango.

$P_{BAT}$ : Potencia de la batería.

Con el fin de disponer de la máxima capacidad de los motores eléctricos de las ruedas, la suma de potencia del extensor de rango y de la batería que puede ser suministrada debe ser igual o mayor a la potencia en la que el cociente  $\frac{P_{EM}}{\eta}$  es máximo. No obstante, en este caso, no es imprescindible que los motores de las ruedas dispongan de su máxima potencia por lo que el diseño se adecua con el fin de que se tenga un rendimiento del 70% aproximadamente.

Además, se diseña el extensor de autonomía teniendo en cuenta la siguiente restricción:

---



$$\frac{P_{EM}}{\eta} \leq P_{BAT}$$

De esta forma, se asegura que la batería es capaz de proporcionar toda la potencia necesaria sin necesidad de hacer uso del extensor de rango para que los motores eléctricos de las ruedas dispongan de las prestaciones requeridas. No obstante, una vez que la batería esté descargada, el extensor debe ser capaz de suministrar la potencia demandada por las ruedas para que se sigan manteniendo las prestaciones del vehículo sin ningún tipo de restricción.

Si el vehículo cumple las dos restricciones planteadas anteriormente, tanto la batería como el extensor de autonomía entregarían una potencia al motor con la que se podría alcanzar las prestaciones deseadas del vehículo. Sin embargo, el conjunto motor de explosión/generador de este proyecto está dimensionado para suministrar la potencia media requerida por las ruedas, por lo que el vehículo seguirá funcionando, pero experimentará una limitación de prestaciones.

## ***2.5 Dimensionado del motor***

---

La potencia que ofrece el motor es uno de los principales aspectos que determinan las prestaciones del vehículo. La elección del motor se ha realizado en base a unos objetivos que se han determinado con el fin de disponer de un vehículo que adquiriera una cierta velocidad en llano y en pendiente.

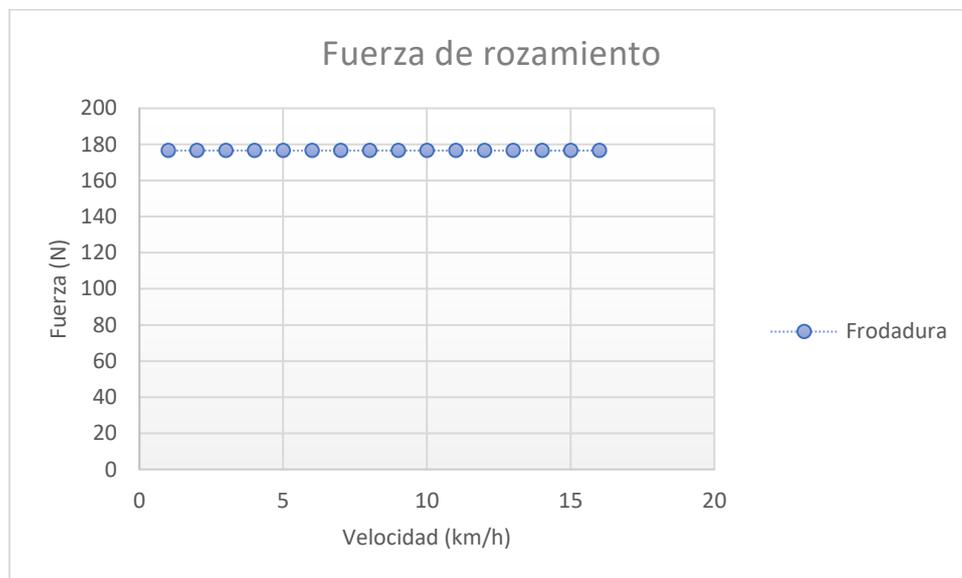
Por ello, se ha situado la velocidad en llano en torno a los 15 km/h, mientras que, en situaciones de pendiente, se ha decidido establecer una velocidad de 7 km/h en pendientes del 7%.

---



Durante la etapa de estudio de la selección del motor, se han tenido en cuenta la fuerza de rozamiento mecánico que se produce durante la conducción, y que afectan al estudio de la potencia requerida del motor.

A continuación, se adjunta la Gráfica 1 que indica la fuerza que afecta en función de la velocidad del vehículo.



Gráfica 1: Fuerza de rozamiento / velocidad en llano.

La fuerza de rodadura se opone al movimiento, y, una vez empezado el movimiento, es independiente de la velocidad. Esta fuerza se rige por la fórmula  $F_k = \mu_k * N$ .

Siendo:

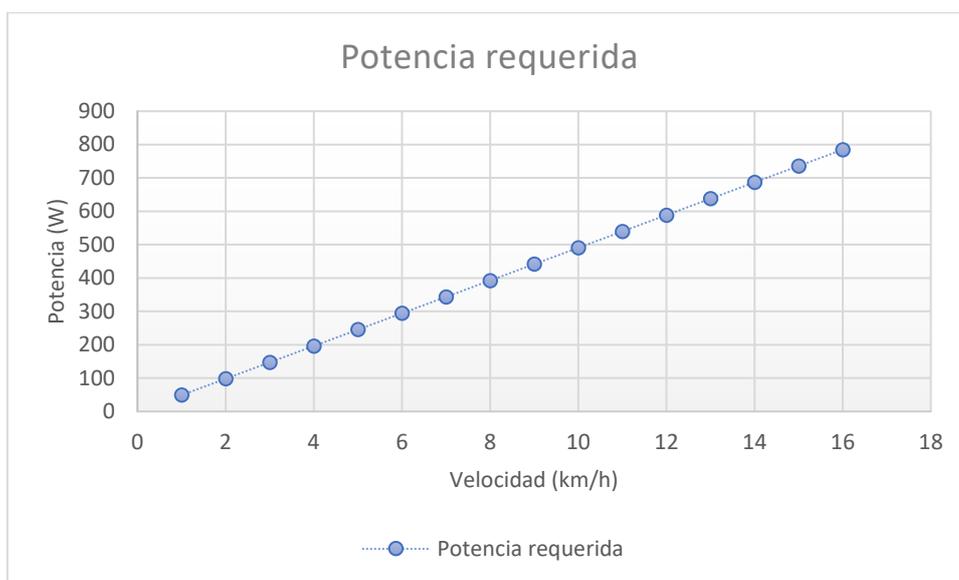
$\mu_k$ : Coeficiente cinético (se realizan los cálculos cuando el vehículo ya tiene velocidad).

Se toma  $\mu_k=0.6$ , valor aproximado asociado al contacto entre neumático y asfalto.

N: Fuerza normal, que, en llano, corresponde a  $N = m * g$ , siendo el peso del vehículo 30 kg.



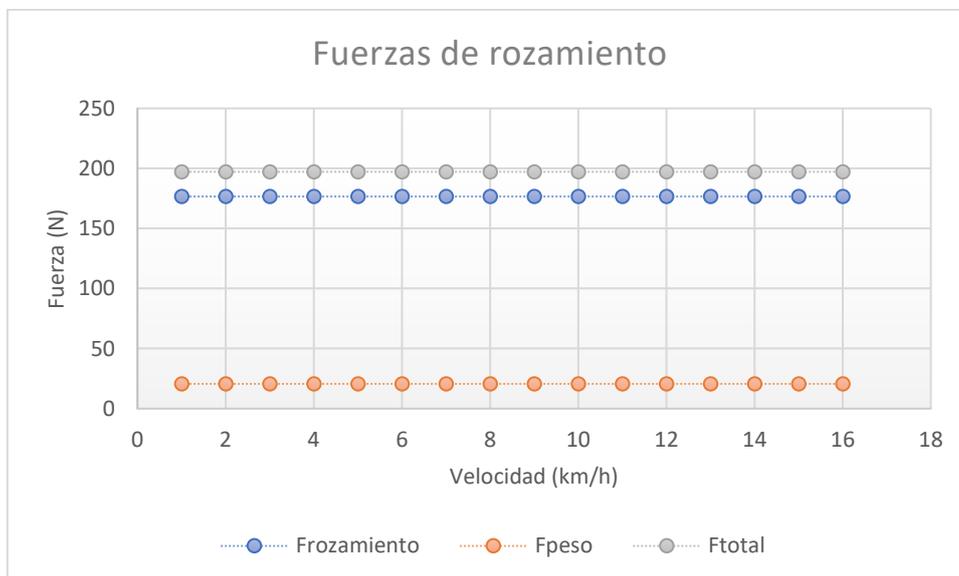
La Gráfica 2 que se muestra a continuación corresponde a la potencia requerida en función de la velocidad del vehículo, siendo esta  $P = F_{roz} * v$ .



Gráfica 2: Potencia / velocidad en llano.

Los resultados que se obtienen de este análisis aportan la información de la potencia referente al caso de estudio, siendo este una velocidad de 15 km/h en llano.

En el caso en el que se suba una pendiente, los resultados obtenidos se muestran en las siguientes gráficas.



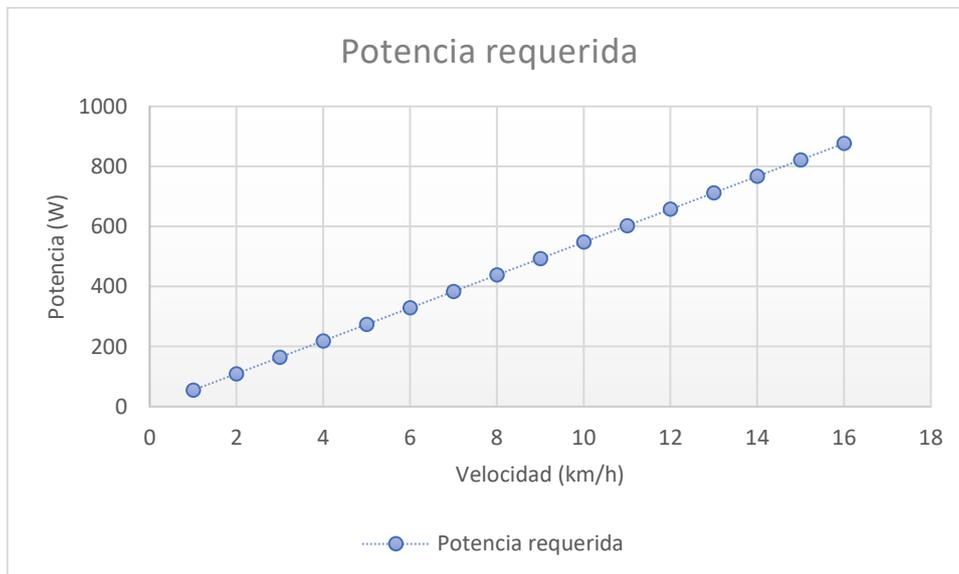
Gráfica 3: Fuerzas de rozamiento / velocidad en pendiente.

Se puede comprobar como la pendiente resulta en que la fuerza total sea superior. Esto es debido a que se le tiene que añadir el término de la fuerza requerida debido a la acción de la pendiente, siendo esta  $F_p = m * g * \text{sen}(\theta)$ .

La inclinación de la pendiente es la tangente del ángulo que forma con la horizontal:

$$\text{tg}(\theta) = 0.07 \quad \rightarrow \quad \text{sen}(\theta) = \frac{\text{tg}(\theta)}{\sqrt{1 + \text{tg}^2(\theta)}} = 0.0698 \approx 0.07$$

La potencia requerida en función de la velocidad deseada se muestra en la Gráfica 4.



Gráfica 4: Potencia / velocidad en pendiente.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la potencia mínima necesaria para atender las características de salida definidas en este caso es de 876 W, siendo esta mayor cuando se encuentra en pendiente. No obstante, como se ha especificado anteriormente, no es necesario que el vehículo alcance sus máximas prestaciones por lo que se optará por una potencia inferior.

Una vez analizados ambos casos de estudio se decide que lo más adecuado es elegir un motor con una potencia mínima igual o superior a 500 W para cumplir los objetivos marcados en el proyecto.



## 2.6 Dimensionado de la batería

---

---

La elección de la batería viene determinada en base al motor seleccionado. La batería almacena energía para suministrarla de forma constante al motor para que este pueda estar en funcionamiento. Dado que se ha escogido un motor que trabaja a 36V, es preciso que la batería también suministre 36V. Por otro lado, también se ha marcado como criterio fundamental un peso y dimensiones reducidas, así como un precio razonable.

Existe un cálculo aproximado que permite obtener la autonomía de la batería a partir de la tensión (V) y la capacidad (Ah) de la batería. Al multiplicar ambos valores, se obtiene la energía en vatios hora (Wh) de la batería. Sabiendo la velocidad a la que se va a viajar, y la potencia nominal del motor, se obtiene:

$$\text{Autonomía(km)} = \frac{\text{Energía (Wh)} * \text{Velocidad máxima} \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)}{\text{Potencia motor (W)}}$$

El tiempo máximo de funcionamiento de la batería se determina a partir de los valores de consumo del motor, la capacidad de la batería y la velocidad a la que se viaja. Además, la capacidad máxima de descarga se calcula a partir de un factor denominado factor C que viene especificado por el fabricante y por la capacidad de la batería.

Para la selección del modelo de la batería se ha llevado a cabo un análisis y valoración de los parámetros especificados anteriormente. El modelo de batería que finalmente se ha escogido pertenece a la marca Samsung, con referencia *2PI0S*. La elección de la batería se ha realizado según las características y el consumo del motor previamente escogido, y analizando los datos técnicos que proporcionan los fabricantes de las baterías.

La autonomía obtenida es de al menos 4.7 km si se viaja a una velocidad máxima de 15 km/h. Por lo tanto, el tiempo de descarga máximo obtenido para la batería elegida es de



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Vehículo eléctrico de autonomía extendida

---

18 minutos ( $t = \frac{C}{I}$  siendo  $C = 3$  e  $I = 10A$ ). Este valor debe ser menor al factor de máxima descarga  $C$  que viene indicado en los datos técnicos de la batería, donde se especifica que  $C$  vale 3 para la batería que se ha escogido. Esto significa que la capacidad máxima de descarga admisible que la batería es capaz de soportar es de 1 hora, y se comprueba que en ningún caso se sobrepasa dicho valor.



## Capítulo 3 ELECCIÓN DE COMPONENTES

En este capítulo, se citan y se detallan los materiales y componentes necesarios para llevar a cabo el diseño y montaje del extensor de autonomía.

### *3.1 Batería*

---

La batería es un elemento fundamental que forma parte del extensor de autonomía. Para este proyecto se ha utilizado la batería *2PI0S SAMSUNG 22P*. Esta batería corresponde a la batería de un scooter eléctrico dado que el tamaño del vehículo diseñado es significativamente menor al de un automóvil. La batería escogida tiene una tensión nominal de 36V y una capacidad de 4.4Ah, por lo que teniendo en cuenta el consumo de la carga (motor CC de 36V y 500W), la batería escogida es apta. A continuación, se adjunta una imagen de dicha batería (Figura 8).



*Figura 9:* Batería 2P10S SAMSUNG 22P.

Se trata de una batería de ion de litio. Esta tecnología ofrece una densidad de energía 3 veces la de una batería convencional de plomo-ácido. Esta gran mejora viene dada por la baja masa atómica del litio 6.9 u frente a los 207 u del plomo. Además, cuenta con un alto voltaje por celda de 3.6V, lo cual reduce el número de celdas en serie para alcanzar un determinado voltaje, lo que a su vez implica un costo reducido de manufactura. Otra gran ventaja de este tipo de baterías es su baja tasa de auto descarga, además de que se pueden cargar sin necesidad de estar totalmente descargas puesto que no tienen memoria.

En resumen, como se ha especificado anteriormente, este modelo maneja una tensión de salida de 36V, una capacidad de 4.4Ah, entrega una potencia de 158W y tiene unas dimensiones de 133x60x85mm.

Otro dato que tener en cuenta a la hora de escoger el cargador de la batería es la corriente y tensión máxima de carga, estas son, 5A y 43.2V respectivamente.



**Batería 2P10S SAMSUNG 22P**

<i>Capacidad</i>	4.4 Ah	
<i>Marca de Batería</i>	Samsung	
<i>Tipo</i>	Li-Ion Batería	
<i>Potencia</i>	158.4 W	
<i>Voltaje</i>	36V	
<i>Dimensiones</i>	133x60x85 mm	
<i>Peso</i>	1,5 kg	

Tabla 1: Especificaciones técnicas Batería 2P10S Samsung 22P.

### 3.2 Cargador de la batería

El cargador es un aparato que sirve para recargar una batería descargada haciendo circular una corriente continua en sentido opuesto al de la corriente de descarga. A la hora de escoger el cargador de la batería correspondiente al extensor de autonomía, se debe de tener en cuenta dos características. La primera es que, a mayor corriente utilizada para cargar, menos tiempo tardará la batería en cargarse. La otra característica es que, es importante conocer que para que circule la corriente del cargador a la batería, es necesario que el cargador provee una tensión superior a esta.

Es imprescindible que, a la hora de escoger el cargador, este use la tecnología Li-ion, dado que la batería está basada en dicha tecnología. Si se usase un cargador de NiCd (Níquel-Cadmio) /NiMH (Níquel-Hidruro Metálico), la batería de Li-Ion podría explotar debido a que requiere un voltaje adicional por celda (de 3.8V a 4.2V en lugar de 1.2V) y a la mayor capacidad de energía.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Elección de componentes

Por lo tanto, teniendo en cuenta las condiciones mencionadas antes, el cargador escogido es el que se muestra en la Figura 10.



Figura 10: Cargador Litio-Ion CEL9024.

En definitiva, este cargador proporciona una tensión de salida de 42V y una corriente de carga de 2A, por lo que cumple las características de carga de la batería.

<i>Cargador de Litio – Ion CEL9024</i>		
<i>Tecnología</i>	Li-Ion	
<i>Marca del cargador</i>	NX	
<i>Corriente de carga</i>	2A	
<i>Tensión de salida</i>	42 V	

Tabla 2: Especificaciones técnicas cargador Litio-Ion CEL9024.



### 3.3 Motores corriente continua

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio gracias a la acción del campo magnético. Una máquina de corriente continua (motor o generador) se compone fundamentalmente de dos partes: el estátor y el rotor [10].

- Estátor: Es la parte fija del motor que se encarga de establecer el campo magnético de excitación. En su interior se encuentran un número par de polos inductores que a su alrededor se encuentran unas bobinas, que constituyen el devanado inductor. Cuando este devanado inductor es alimentado por una corriente continua, se genera un campo inductor.
- Rotor: Es la parte móvil del motor y proporciona el par para mover la carga. Está constituido por un conjunto de bobinas denominadas bobinas inducidas. Estas van arrolladas sobre las ranuras de un núcleo de hierro que recibe el nombre de inducido.

La Figura 11 que se muestra a continuación, representa las distintas partes de un motor de corriente continua:

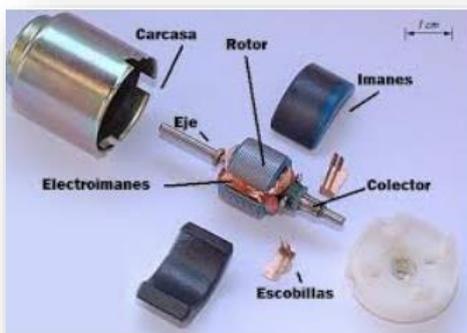


Figura 11: Partes de un motor CC.



El sentido de giro de un motor de corriente continua depende del sentido relativo de las corrientes que circulan por los devanados inductor e inducido. Por lo tanto, el control del sentido de giro se realiza con el control de la polaridad de alimentación de la máquina. Si se invierte la polaridad de la tensión de alimentación, se invierte el sentido de giro.

En cuanto al funcionamiento como generador o motor, este viene determinado por el sentido de la corriente de entrada del motor, por lo que, si la corriente sale por el terminal positivo, la máquina estaría en modo generador, mientras que, si la corriente entra por el terminal positivo, se está en modo motor.

El extensor de autonomía de este proyecto está compuesto por dos motores CC. Uno de los motores de corriente continua está alimentado por la batería del extensor de autonomía. Este arrastra otro motor eléctrico idéntico a él que funciona como generador para alimentar a la batería principal y recargarla.

El modelo del motor CC por el que se ha optado es el que se muestra en la Figura 12.



*Figura 12:* Motor DC MY1020.

A continuación, en la Tabla 3, se muestran las características del motor escogido.

---



*Motor DC MY1020*

<i>Tensión nominal</i>	36 V	
<i>Potencia nominal</i>	500 W	
<i>Par nominal</i>	1.9 Nm	
<i>Velocidad nominal</i>	2500 rpm	
<i>Largo</i>	134 mm	
<i>Diámetro</i>	102 mm	
<i>Peso</i>	5.25 kg	

*Tabla 3:* Especificaciones técnicas motor DC MY1020.

La conexión de los motores CC con otro aparato se hace a través de sus bornas de conexión marcadas con + (positivo) y – (negativo) como se muestra en la Figura 13.



*Figura 13:* Bornas de conexión del motor CC.



Además, se tiene un motor adicional para su uso como toma de fuerza mecánica con el exterior. Este motor también tiene la posibilidad de actuar como generador con el fin de proporcionar energía a la batería principal. Para ello, se ha escogido el motor que se especifica en la Tabla 4.

<i>Motor DC MY1016</i>		
<i>Tensión nominal</i>	36 V	
<i>Potencia nominal</i>	300 W	
<i>Par nominal</i>	1.04 Nm	
<i>Velocidad nominal</i>	2650 rpm	
<i>Largo</i>	117 mm	
<i>Diámetro</i>	101 mm	
<i>Peso</i>	2.25 kg	

Tabla 4: Especificaciones técnicas Motor DC MY1016.

### 3.4 Driver

La velocidad de un motor de continua se controla variando la tensión media de entrada del motor. La técnica más sencilla de variar la tensión media de una señal es usando un PWM (siglas en inglés de pulse-width modulation). No obstante, la señal PWM generada con el dsPIC es de baja potencia por lo que no se puede conectar directamente al motor. Es, por lo tanto, imprescindible hacer uso de una especie de amplificador de potencia para estas señales, que es lo que se conoce como driver. Los drivers más habituales para motores de corriente continua son los *puentes en H*. Dicho dispositivo se basa en un circuito electrónico que está compuesto por cuatro transistores que actúan como



interruptores, cableados de manera estratégica para que, dependiendo de los transistores que estén abiertos o cerrados, se permita el paso de la tensión positiva o negativa. Además, cada transistor lleva conectado en paralelo un diodo que proporciona una trayectoria segura para que la energía del motor sea devuelta a la batería cuando, por ejemplo, se le ordene parar al motor. Para facilitar la comprensión del puente en H, se adjunta la Figura 14, cuya imagen representa la estructura de un puente en H.

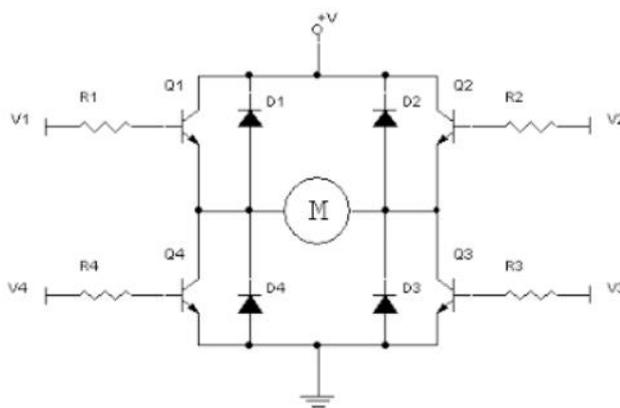


Figura 14: Esquema de un puente en H.

Con el fin de comprender mejor el funcionamiento del puente en H, se presenta un ejemplo en el que el giro del motor se decide mediante un interruptor SW1:

- Cuando se coloca el interruptor tal y como se muestra en la Figura 15, el comportamiento de la corriente es el siguiente:

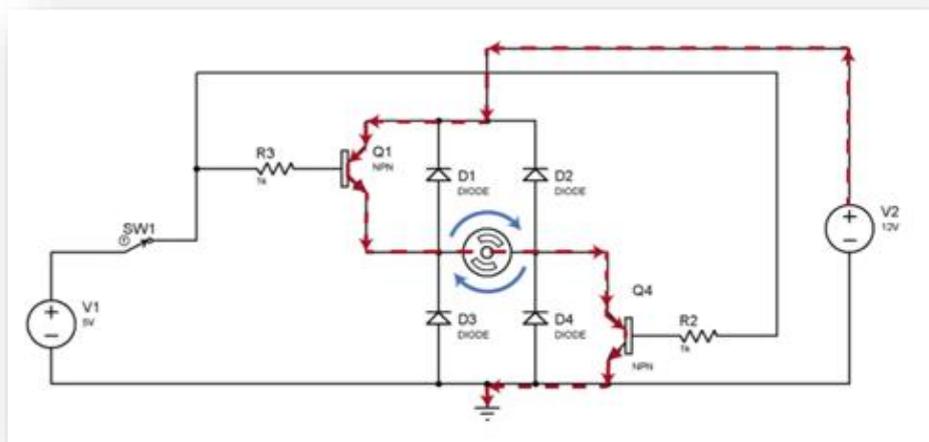
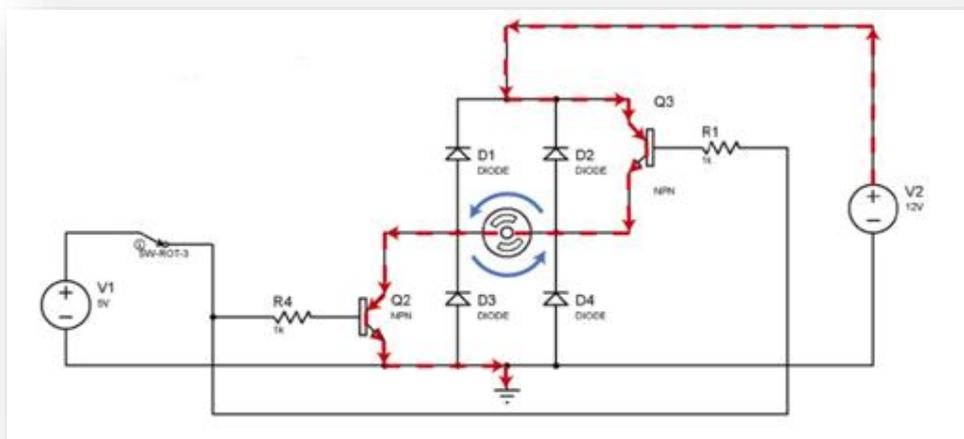


Figura 15: Transistores Q1 y Q4 activados.

Como se puede observar, la corriente fluye a través de los transistores Q1 y Q4 por lo que el motor gira en sentido horario.

- Por el contrario, cuando el interruptor se encuentra en la posición que se muestra en la Figura 16, la corriente fluye a través de los transistores Q2 y Q3 por lo que el motor gira en sentido antihorario. El flujo de corriente es el siguiente:



*Figura 16:* Transistores Q2 y Q3 activados.

En la Tabla 5, se puede igualmente ver todos los posibles funcionamientos del motor en función del estado de cada transistor. Si el transistor está abierto, su estado se representará mediante un 0, mientras que si el transistor se encuentra cerrado se presentará mediante un 1.

<i>Transistor</i>				<i>Funcionamiento</i>
<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	
1	0	0	1	Avance
0	1	1	0	Retroceso
0	0	0	0	Frenado por inercia
1	0	1	0	Frenado brusco

*Tabla 5:* Funcionamiento puente en H.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Elección de componentes

---

En este proyecto se utilizan motores de corriente continua por lo que no sólo es necesario el uso de un puente en H para regular su velocidad sino también la ayuda de un driver de potencia para hacerlo funcionar. El driver es básicamente un componente formado por un puente H con sus 4 transistores y que proporciona la suficiente alimentación y potencia al motor para que este pueda funcionar a su máximo rendimiento.

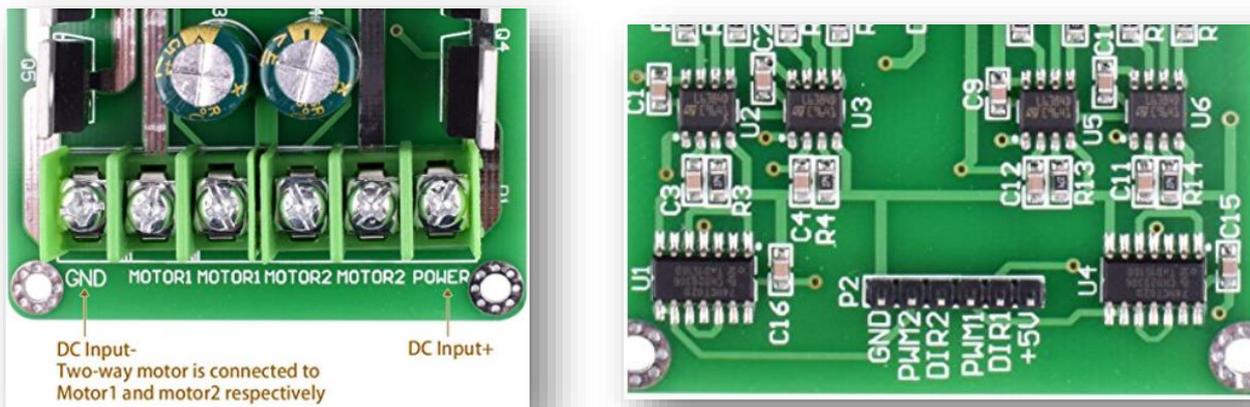
El rango de tensiones en el que trabaja el módulo escogido va desde *3 a 36 V*, y permite el paso de una corriente máxima de *15 A*, por lo que se ajusta a las necesidades de los motores, siendo estos de *36V, 500W* y *300W* respectivamente.

A continuación, se detallan las partes importantes de este módulo:

- **MOTOR 1, MOTOR 2:** Son las salidas directas al motor. Se tienen cuatro salidas, dos por cada motor, puesto que el módulo permite manejar dos motores simultáneamente.
- **POWER:** Entrada de tensión. Admite tensiones de entre 3V y 36V.
- **GND:** Pin en el que se debe conectar masa.
- **5V:** Este pin debe conectarse a una tensión de 5V para alimentar la parte lógica del módulo.
- Los pines **DIR1** y **DIR2** sirven para controlar el sentido de giro de cada motor. De forma que si  $DIR=1$  el motor gira en un sentido, y si  $DIR=0$ , lo hace en el otro.
- El pin **PWM** permite controlar la velocidad de giro de los motores mediante una señal PWM como su nombre indica.



En la Figura 17, se muestra el patillaje del módulo.



*Figura 17:* Patillaje del módulo puente en H.

A continuación, en la Tabla 6, se muestran las características del driver puente en H escogido.

<i><b>Quimat DC H-Bridge</b></i>		
<i>Tensión de operación</i>	3-36V	
<i>Corriente nominal</i>	15A	
<i>Corriente de pico</i>	30A	
<i>Dimensiones</i>	108x58 mm	
<i>Peso</i>	52 g	

*Tabla 6:* Especificaciones técnicas Quimat DC H-Bridge.



### ***3.5 Conmutadores***

---

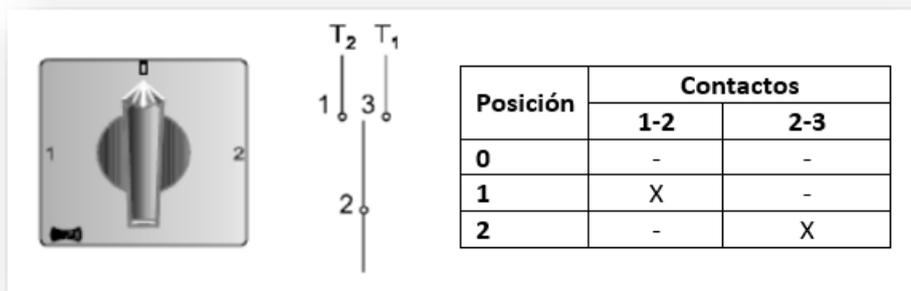
---

En este proyecto es necesario incluir dos conmutadores. Un conmutador es un dispositivo que está provisto de dos o más contactos que, mediante la fuerza ejercida generalmente por el dedo o la mano, permite seleccionar qué contacto está accionado. Asimismo, mientras que en un pulsador o interruptor todos los contactos están en el mismo estado, el conmutador permite estados diferentes entre sus contactos.

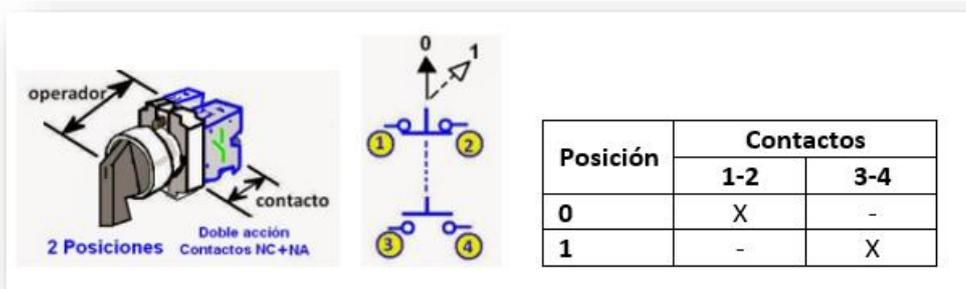
En este proyecto es necesario incluir dos conmutadores, uno es de dos contactos y el otro de tres contactos. El primero de ellos está destinado a que el usuario escoja la manera en la que quiere cargar la batería principal. Por lo tanto, una determinada posición representa la carga de la batería a través del cargador externo, mientras que la otra posición está asignada a la carga de la batería a través del extensor de autonomía. En cuanto al conmutador de tres posiciones, este está vinculado a la toma de fuerza mecánica externa. Dependiendo de la posición en la que se encuentre dicho conmutador, el motor de la toma de fuerza funciona como motor (cogiendo energía de la batería principal), o, por el contrario, el motor funciona como generador con el fin de cargar la batería principal. La posición intermedia del conmutador representa una posición de espera en la que el sistema de toma de fuerza externa está desconectado.

De esta manera, se ha escogido utilizar contactos independientes para el conmutador de tres posiciones, es decir, los contactos no podrán estar nunca en comunicación eléctrica entre sí, mientras que, para el conmutador de dos posiciones, se decide utilizar contactos conmutados. Así pues, estos dispositivos servirán para controlar las acciones descritas en el párrafo anterior.

En cuanto al estado que guardan los contactos se ha elaborado una tabla de cada posición, tanto para un conmutador de dos posiciones como para uno de tres.



*Figura 18:* Estado conmutador de dos contactos independientes.



*Figura 19:* Estado conmutador de dos contactos conmutados.

En definitiva, se han escogido dos selectores eléctricos tipo manecilla palanca como se muestra en la Figura 20 y la Figura 21. A la hora de escoger dichos dispositivos se ha tenido que tener en cuenta características tales como la tensión y corriente media a la que estarían sometidos. Dado que se trata de un sistema que tiene una tensión nominal de 36V y que puede entregar una potencia de hasta 500 W, se prevé que circule una corriente de 13A. Por lo tanto, los selectores tienen las dimensiones citadas en las Tablas 7 y 8.



*Figura 20:* Interruptor giratorio 2 posiciones.



*Figura 21:* Interruptor giratorio 3 posiciones.



***Interruptor giratorio 2 posiciones***

<i>Fabricante</i>	ABB	
<i>Número de posiciones</i>	2	
<i>Número de polos</i>	2	
<i>Ángulo de rotación</i>	90°	
<i>Tensión máxima DC de contacto</i>	60V	
<i>Corriente máxima DC de contacto</i>	20A	

Tabla 7: Especificaciones técnicas Interruptor giratorio 2 posiciones.

***Interruptor giratorio 3 posiciones***

<i>Fabricante</i>	ABB	
<i>Número de posiciones</i>	3	
<i>Número de polos</i>	1	
<i>Ángulo de rotación</i>	60°	
<i>Tensión máxima DC de contacto</i>	60V	
<i>Corriente máxima DC de contacto</i>	20 <sup>a</sup>	

Tabla 8: Especificaciones técnicas Interruptor giratorio 3 posiciones.



### 3.6 Pulsadores

La elección de habilitar / deshabilitar los motores del sistema mediante el driver es una decisión que toma el usuario y que se va a llevar a cabo mediante pulsadores.

El funcionamiento del pulsador consiste en cerrar un circuito, por lo que se necesita un montaje específico con resistencias pull-up o pull-down para que el pin digital del microcontrolador dsPIC pueda detectar un cambio de estado en el circuito. El montaje y el tipo de resistencia que se emplea depende de si al accionar el pulsador se quiere leer un valor bajo o alto. Se ha escogido una configuración pull-up como la que se muestra en la Figura 22 para los pulsadores que se han empleado. La resistencia pull-up fuerza un valor alto cuando el pulsador está abierto. Por el contrario, cuando el circuito está cerrado, el pin se pone a nivel bajo y la intensidad que circula se ve limitada por la resistencia.

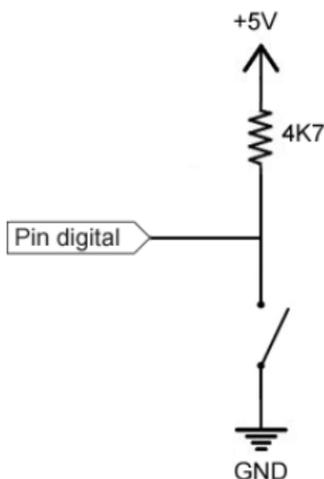


Figura 22: Configuración pull-up.



El valor de la resistencia escogida viene condicionado por la intensidad que pasa al accionar el pulsador. Una resistencia pequeña supondrá menos ruido en la medición, pero permitirá el paso de una mayor corriente, lo que supone mayor consumo. Por el contrario, una resistencia muy grande, dejará pasar poca corriente, pero será más susceptible al ruido.

En resumen, se necesitan 5 pulsadores que desempeñan las siguientes funciones:

- Pulsador 1: Pulsador de marcha del extensor de autonomía.
- Pulsador 2: Pulsador de STOP del extensor de autonomía.
- Pulsador 3: Sentido de giro 1 del motor de la toma de fuerza mecánica.
- Pulsador 4: Sentido de giro 2 del motor de la toma de fuerza mecánica.
- Pulsador 5: Pulsador de STOP de la toma de fuerza.

Asimismo, se ha optado por una configuración pull-up y un valor de resistencia de  $10k\Omega$  como se muestra en las Figura 23.

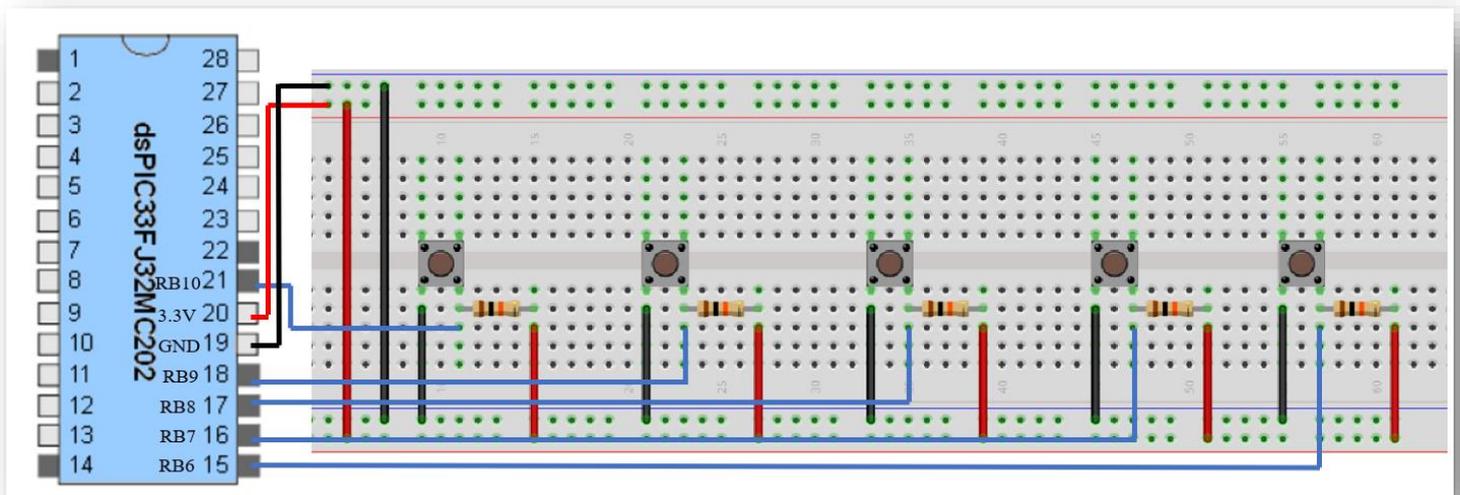


Figura 23: Esquema conexionado pulsadores.



### 3.7 Potenciómetros

El control de la velocidad de giro de ambos motores que se van a emplear se establece utilizando un potenciómetro. La importancia del control de velocidad de dichos motores de corriente continua por potenciómetro reside en que el usuario puede de esta manera regular directamente la velocidad de dichos motores, ajustándolo a sus necesidades.

Un potenciómetro consiste en un dispositivo formado por dos resistencias en serie, las cuales poseen valores que pueden ser modificados por el usuario. Existen múltiples tipos de potenciómetros, por lo que en la Figura 24 se presenta el modelo de potenciómetro que se emplea en este Proyecto.



Figura 24: Potenciómetro.

A nivel interno, la estructura de un potenciómetro es la siguiente:



Figura 25: Diagrama de un potenciómetro.



Como se ha mencionado antes, el potenciómetro es un dispositivo conformado de dos resistencias conectadas en serie. El nodo que se forma entre estas dos resistencias da lugar a un terminal, siendo este la pata central de un potenciómetro de tres patas.

Los extremos del potenciómetro se conectan a la alimentación del micro y a tierra, respectivamente. Por otro lado, el punto central, se conecta a una entrada analógica. Dado que los pines analógicos son manejados por un convertidor analógico/digital de 10 bits, estos entregan a su salida valores entre 0 y 1023. De esta forma, la tensión que entrega el potenciómetro a la entrada analógica varía entre 0 (cuando está a 0V) y 1023 (cuando está a 3.3V).

En el caso de este Proyecto, se tienen dos motores de corriente continua a los que es necesario controlar su velocidad, estos son, el motor que actúa como motor en el extensor de autonomía y el motor de toma de fuerza, por lo que se utilizan dos potenciómetros. El conexionado que se emplea se muestra en la Figura 26.

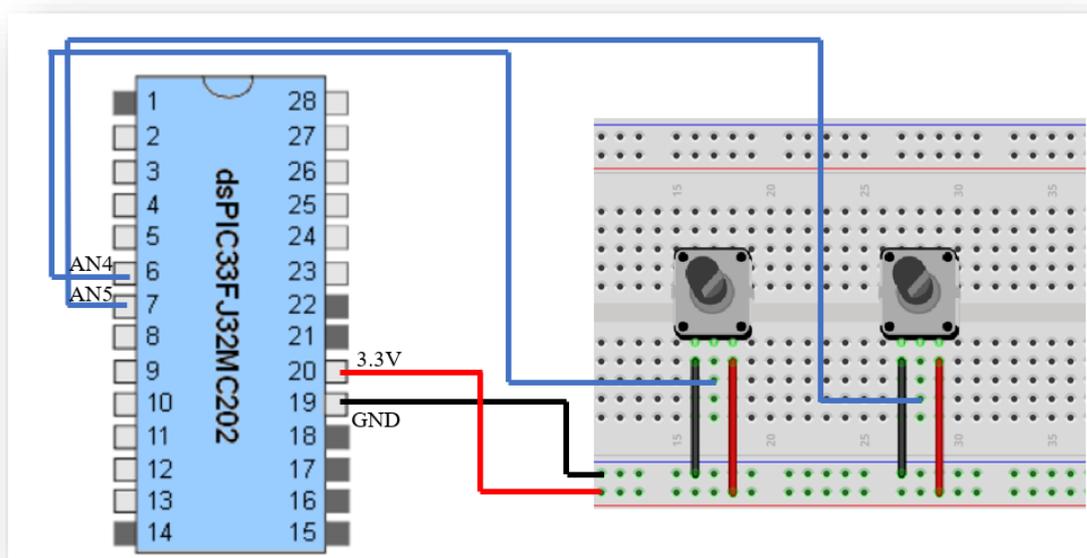


Figura 26: Esquema conexionado potenciómetros.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Procesador de señales

---



## Capítulo 4 PROCESADOR DE SEÑALES

Este capítulo hace referencia a la parte digital del circuito. En él se definen las características del microcontrolador y se desarrollan los conceptos utilizados para su configuración en función de los requisitos deseados para el proyecto. Para ello, el capítulo se ha dividido en tres bloques. En el primer bloque se especifica la configuración de los periféricos que se van a utilizar, mientras que en el segundo y tercer bloque se detalla la configuración de los pines y el esquema del circuito acondicionado, respectivamente.

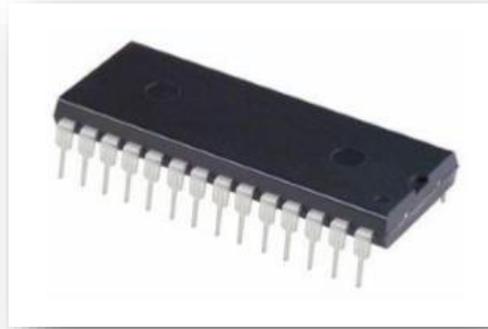
### *4.1 Microcontrolador dsPIC*

---

La familia de microcontroladores dsPIC son fabricados por la empresa Microchip y tienen una arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computing, en español Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas) [11]. Este tipo de diseño de CPU tiene las siguientes características fundamentales:

1. Instrucciones de tamaño fijo y presentadas en un reducido número de formatos.
2. Sólo las instrucciones de carga y almacenamiento acceden a la memoria de datos.

Por lo tanto, una de sus mayores ventajas es su tamaño reducido y su bajo consumo. No obstante, un inconveniente de un procesador dsPIC es la necesidad de emplear un programador aparte para poder cargar el software en el microcontrolador, como es, por ejemplo, el PICKit 3.



*Figura 27:* Microcontrolador dsPIC33FJ32MC202.

En este capítulo se especifican las características del microcontrolador y se desarrollan los conceptos desarrollados para su configuración según los requisitos deseados para el proyecto.

Para el procesamiento de las señales se utiliza el microcontrolador dsPIC33FJ32MC202. Éste permite controlar el entorno mediante una serie de periféricos que le permiten obtener información de dicho entorno y así, poder actuar sobre él. El modelo dsPIC que se va a utilizar es un avanzado microcontrolador de 16 bits del fabricante Microchip que destaca por su gran cantidad de periféricos asociados, entre los cuales se van a utilizar los mencionados a continuación:

- **Convertor A/D:** Permite obtener información analógica del entorno y pasarla a formato digital.
- **Puertos I/O:** Permite comunicarse con el entorno con dos estados (0 o 1).
- **Timers:** Permite llevar la gestión del tiempo.



- **Módulos de comunicaciones:** Permite comunicar el micro con otros dispositivos, como pueden ser otro micro o un ordenador. Se tienen los módulos UART (RS232), I2C y SPI, cada uno con su protocolo correspondiente.

Otras características por las que el dsPIC33FJ32MC202 destaca son:

- 28 pines que lo hacen ideal para aplicaciones modulares distribuidas.
- Frecuencia de trabajo de hasta 80 MHz, consiguiendo 40 millones de instrucciones por segundo.
- Micro de 16 bits, que puede incluso trabajar con datos de 32 bits.
- Memoria RAM de 2KBytes.

## ***4.2 Descripción del entorno del dsPIC***

---

---

A continuación, se presenta el patillaje del microcontrolador. Los pines del dsPIC están internamente configurados y divididos en 2 puertos: Puerto A y Puerto B.

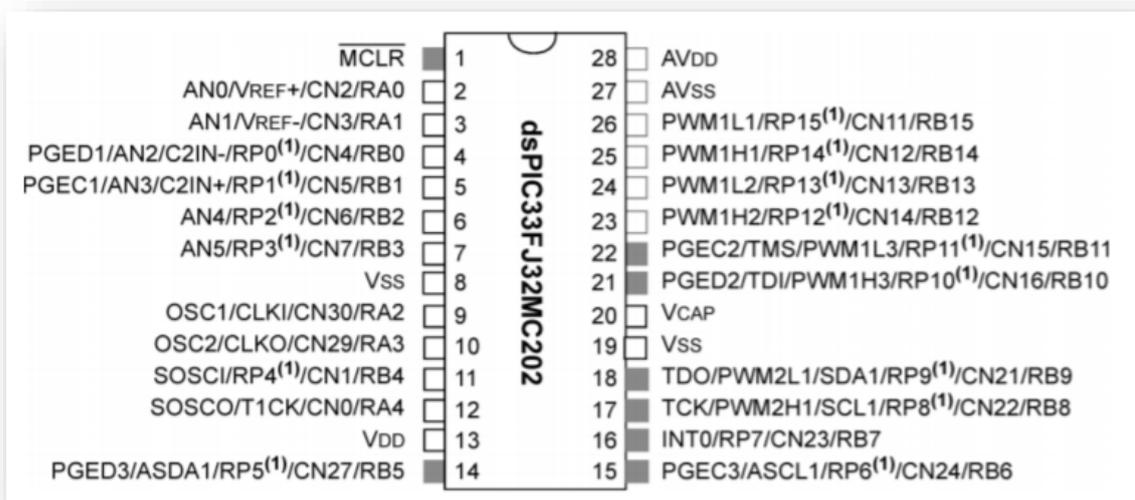


Figura 28: Patillaje microcontrolador dsPIC33FJ32MC202.

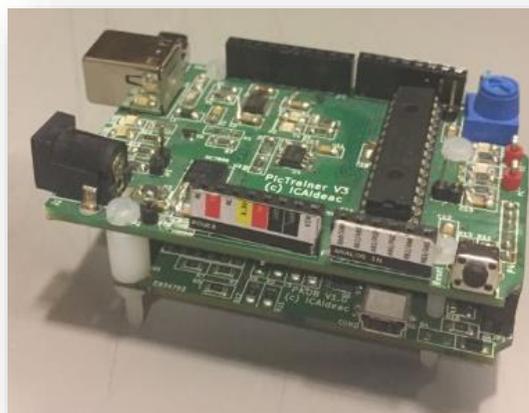
- **Pin 3.3V** (pin 13): Es la alimentación del micro. La placa suministra una tensión de 3.3V a 3.6V proporcionadas por la conexión USB del ordenador. Esta tensión se puede emplear como fuente de alimentación de cualquier componente externo o placa protoboard externa que se alimente a 3.3V.
- **GND** (pin 8 y 19): Es la masa de la placa.

Cada uno de los pines de entrada o salida puede proporcionar o recibir un máximo de 4 mA y 3.3V.

Como se ha mencionado anteriormente, el dsPIC tiene 6 entradas analógicas y cada pin analógico dispone de un convertidor analógico-digital, con un rango de operación de 0 a 3.3V. Cada pin tiene una resolución de 10 bits, por lo que el valor digital que corresponderá a dichas tensiones irá de 0 a  $2^{10} = 1023$ .



El dsPIC va montado en una placa de circuito impreso, más concretamente, la tarjeta de desarrollo *16 bit-28 pin Starter Development Board (ref DS-51656A)* como se muestra en la Figura 29.



*Figura 29:* Placa circuito impreso.

Por otro lado, un concepto introductorio que tener en cuenta antes de empezar a manejar el dsPIC es entender los puertos paralelos del mismo. Como se ha mencionado anteriormente, el micro tiene 28 pines. Asimismo, el dsPIC tiene 2 puertos paralelos, con un total de 21 líneas y cada una de estas líneas se corresponde a un pin del micro. De esta forma, se tiene el puerto B llamado PORTB y el puerto A, denominado PORTA. El puerto B tiene 16 líneas asociadas, mientras que el puerto A tiene únicamente las cinco restantes. La gestión de los puertos paralelos se hace a través del registro TRIS y del registro PORT. El registro TRIS es un registro de control que permite configurar los pines como entradas (1) o salidas (0). Por otra parte, el registro PORT es un registro de datos que permite leer un valor (0/1) en los pines configurados como entradas, o escribir un valor (0/1) si se trata de un pin configurado como salida.



### ***4.3 Herramientas de desarrollo***

---

---

La herramienta de desarrollo que se ha utilizado para desarrollar y probar los programas que se han creado es el MPLAB X. Con el objeto de programar el dsPIC, se usa un dispositivo hardware que conecta el ordenador y el microcontrolador, denominado PICKit3. Este último no sólo permite la programación sino también la depuración del programa en microcontroladores, esto incluye la depuración con breakpoints por hardware y el monitoreo de registros internos.

Además, MPLAB permite simular el programa sin necesitar ningún hardware y ni tan siquiera el micro. El MPLAB tiene internamente una herramienta que simula el comportamiento del micro con la que el usuario tiene la posibilidad de simular el comportamiento del micro.

El lenguaje que se va a usar para programar el microcontrolador es el lenguaje C dado que resulta ser un lenguaje de alto nivel más cercano a la máquina, por lo que a la hora de crear un proyecto se elige el compilador XC16, compilador dirigido para programas escritos en C y C++ [12].

### ***4.4 Módulos utilizados***

---

---

Para el procesado y tratado de datos, se utilizan los módulos ad, uart y timer. El conversor ad se encarga de leer el valor de una entrada analógica, convertirlo a valor digital y guardar el valor de la medida en una variable, que se usará posteriormente, como variable del fichero main del programa. Además, el módulo uart será necesario para simular valores de una entrada analógica, pero que, en ningún caso, formará parte del software final del sistema. Tanto la finalidad de utilizar estos módulos como los programas completos que se llevarán a cabo se desarrollarán en capítulos posteriores, puesto que este

---



capítulo se centra únicamente en mencionar las características que tienen que tener dichos módulos.

#### ***4.4.1 Configuración del conversor A / D***

---

El dsPIC33FJ32MC202 dispone de un módulo de conversión AD que consta de dos elementos fundamentales que son un canal y el conversor AD [13]. El conversor AD es un circuito que toma valores analógicos de tensión y los convierte en un número binario. La resolución del conversor queda determinada por la cantidad de bits que representan el resultado de la conversión. La resolución que se puede obtener del conversor implantado en el dsPIC33FJ32MC202 es de hasta 10 bits. Por lo tanto, el conversor devolverá un valor digital de hasta  $2^n - 1$ .

A continuación, se detallan los registros utilizados para la configuración del conversor con las características que interesan configurar.

#### **AD1CON**

---

Este registro engloba tres registros (AD1CON1, AD1CON2, AD1CON3) que controlan los parámetros de módulo AD.

- **AD1CON1:** 0x80E4



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Procesador de señales

---

<b>ADON</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
bit 15							bit 8
<b>SSRC</b>			-	<b>SIMSAM</b>	<b>ASAM</b>	<b>SAMP</b>	<b>DONE</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
bit 7							bit 0

**ADON:** Bit para la activación (1) o desactivación (0) del módulo AD. Para la configuración del módulo debe estar activado.

**SRRC:** Contador interno. La conversión comienza cuando finaliza el muestreo (auto-conversión) (1110).

**ASAM:** El muestreo comienza cuando finaliza la última conversión (conversión automática) (1).

**SAMP:** Bit para la activación de muestreo. Dado que ASAM=1, este bit se activa automáticamente.

**DONE:** Bit de lectura sobre el estado de la conversión.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Procesador de señales

---

- **AD1CON2:** 0x0400 | ( $n\_pines \ll 2$ )

-	-	-	-	-	<b>CSCNA</b>	<b>CHPS</b>	
0	0	0	0	0	1	0	0
bit 15						bit 8	
-	-	<b>SMPI</b>				-	-
0	0	0	0	0	0	0	0
bit 7						bit 0	

**CSCNA:** Escaneo de todas las entradas indicadas en el registro ADCSSL (1).

**CHPS:** Indica el canal usado en la conversión, canal 0.

**SMPI:** Número de conversiones hasta que salta la interrupción ( $n\_pines \ll 2$ ).

- **AD1CON3:** 0x0105

-	-	-	<b>SAMC</b>				
0	0	0	0	0	0	0	1
bit 15						bit 8	
<b>ADCS</b>							
0	0	0	0	0	1	0	1
bit 7						bit 0	

**SAMC:** Tiempo de muestreo automático. El muestreo dura un ciclo de reloj (1).

**ADCS:** Pre-escalado del reloj conversor. Si se quiere una velocidad de 500 ksp/s, es decir, una conversión cada 2 microsegundos, se necesita un periodo de conversión AD mínimo



de  $T_{AD} = \frac{2 \mu s}{13} = 153,85 \text{ ns}$ , dado que se requieren 13 periodos del AD. Suponiendo una velocidad de CPU de 40 MIPs ( $T_{CY} = 25 \text{ ns}$ ), la forma de obtener el ADCS viene dada por:

$$ADCS = \frac{T_{AD}}{T_{CY}} - 1 \approx 5$$

### AD1PCFGL

---

- **AD1PCFGL**: ~ pines

Este registro contiene los 6 bits asociados a cada uno de los pines del conversor AD. Si se pone un 0 el bit se configura ese pin como entrada analógica.

-	-	-	-	-	-	-	-
bit 15							bit 8
-	-	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
		0	0	0	0	0	0
bit 7							bit 0

---



## AD1CSSL

- **AD1CSSL**: pines

Este registro contiene los 6 bits asociados a cada uno de los pines del conversor AD. Si se pone a 1 la entrada ANx se configura como entrada a escanear.

-	-	-	-	-	-	-	-
bit 15						bit 8	
-	-	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
		1	1	1	1	1	1
bit 7						bit 0	

## ADC1BUF

La conversión se irá guardando en un registro de 10 bits, denominado ADC1BUF. Dado que SMPI toma un valor de 6, es decir, realiza 6 conversiones, 1 por cada pin, cada resultado se guardará en su registro correspondiente, ADC1BUF0, ADC1BUF1, ADC1BUF2 y así sucesivamente.

Por lo tanto, la configuración del conversor AD se resume en lo siguiente:

- El muestreo comienza cuando el bit SAMP se pone a 1.
- La conversión comienza automáticamente cuando finaliza el muestreo de las entradas analógicas (SSRC=1110).



- Se produce la interrupción cuando finaliza la conversión de las entradas analógicas (SMPI=1110).
- Se emplea el canal 0 para muestrear (CHPS=0).
- El muestreo dura un ciclo de reloj (SAMC=1).
- Se utiliza un ADCS=5 con el fin de conseguir conversiones de 500 ksp/s para una velocidad de CPU de 40 MIPS.

La función de inicialización del conversor AD recibe dos parámetros, el primero indica la cantidad de pines sobre los que se quiere hacer una conversión, mientras que el otro parámetro señala el número de pines sobre los que se quiere hacer una conversión. La función tiene la siguiente forma: *void init\_ad (int pines, int n\_pines).*

Además, el conversor AD se manejará por interrupción, por lo que la rutina de atención a interrupción del conversor AD tendrá el siguiente encabezado: *void \_\_attribute\_\_((\_\_interrupt\_\_)) \_ADCInterrupt(void).*

#### ***4.4.2 Configuración de la UART***

---

El dsPIC33FJ32MC202 dispone de un módulo UART que permite comunicarse con periféricos y ordenadores utilizando el protocolo RS-232 en las comunicaciones [13].

A continuación, se detallarán los registros que lleva asociados el módulo UART y su configuración.



## U1MODE

- **U1MODE:** 0x8000

Este registro contiene los bits que precisan el modo de funcionamiento del microcontrolador.

<b>UARTEN</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>1</b>							
bit 15							bit 8
-	-	<b>ABAUD</b>	-	-	<b>PSDEL</b>		<b>STSEL</b>
		<b>0</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
bit 7							bit 0

Para la configuración deseada, nos interesan los siguientes bits:

**UARTEN:** Bit para la activación y desactivación de la UART. Este bit se inicializa a 1.

**ABAUD:** Deshabilita (0) detección de velocidad automática.

**PSEL:** Selección para datos de 8 bits sin paridad (00).

**STSEL:** Selección para un bit de stop (0).



## U1STA

- **U1STA:** 0x8400

<b>UTXISEL1</b>	-	-	-	-	<b>UTXEN</b>	<b>UTXBF</b>	<b>TRMT</b>
<b>1</b>					<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
bit 15							bit 8
<b>URXISEL</b>		-	<b>RIDLE</b>	<b>PERR</b>	<b>FERR</b>	<b>OERR</b>	<b>URXDA</b>
<b>0</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
bit 7							bit 0

Para la configuración deseada, nos interesan únicamente los siguientes bits:

**UTXISEL1:** Selección del modo de interrupción en la transmisión. Se genera una interrupción cuando todos los buffers de transmisión están vacíos (1).

**URXISEL:** Selección del modo de interrupción en la recepción. La interrupción salta en cuanto hay un dato disponible en el buffer de la recepción (00).

**UTXEN:** Habilita la transmisión sólo si UARTEN vale 1 (1).

## U1BRG

- **U1BRG:**0x0040

Este registro contiene el valor para establecer los baudios requeridos en la comunicación. Este valor se calcular a partir de las siguientes fórmulas:



$$U1BRG = \frac{F_{CY}}{16 \times \text{BaudRate}} - 1$$

Dado que el oscilador interno del microcontrolador tiene una frecuencia de 40 MHz y se quiere una velocidad de transmisión de 38400 baudios, se tiene que:

$$U1BRG = \frac{40 \text{ MHz}}{16 \times 38400} - 1 \approx 64$$

## U1TXREG Y U1RXREG

---

Estos dos registros son el registro de transmisión y de recepción, respectivamente.

En resumen, la comunicación se establece de la siguiente manera:

- 8 bits de datos, 1 bit de stop y sin bit de paridad.
- La interrupción de recepción salta cuando hay al menos un dato en el registro de recepción y la interrupción de transmisión salta cuando se han vaciado todos los buffers de transmisión.
- Baud Rate de 34800 baudios.
- Se utilizan los pines U1TX y U1RX que se encuentran en el pin 11 y 14 respectivamente.

La recepción de datos, así como la transmisión de datos se gestiona mediante unas rutinas de atención a interrupción que tienen los siguientes encabezados:

- Interrupción recepción de datos:  
`void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _U1RXInterrupt(void)`
  - Interrupción transmisión de datos:  
`void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _U1TXInterrupt(void)`
-



## 4.5 Configuración de los pines

Los registros TRISA y TRISB permiten configurar los pines como puertos de entrada o salida. Introduciendo un 1 en el correspondiente TRISx el pin Rx se configurará como entrada, e introduciendo un 0 se configurará como salida.

A continuación, se muestra la Tabla 9 que indica los puertos que han sido configurados como entradas / salidas digitales y como entradas analógicas.

<i>Entradas analógicas</i>	AN0 AN1 AN4 AN5
<i>Entradas digitales</i>	RB6 RB7 RB8 RB9 RB10
<i>Salidas digitales</i>	RA2 RA3 RA4 RB11 RB12 RB13 RB14 RB15

Tabla 9: Configuración de puertos.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Procesador de señales

---

Los pines del dsPIC correspondientes a las entradas analógicas AN4 y AN5 van conectados a las salidas de los divisores de tensión que proporcionan el nivel de carga de la batería principal y de la batería del extensor, respectivamente. Por otro lado, las entradas analógicas AN0 y AN1 van conectadas a los potenciómetros que regulan la señal PWM de los motores. Las entradas digitales que se pueden observar en la Tabla 9 corresponden a los pulsadores que se requieren para el funcionamiento del extensor de autonomía y la toma de fuerza, por lo que se tiene:

- RB6: Habilita el extensor de autonomía.
- RB7: Deshabilita el extensor de autonomía.
- RB8: Sentido de giro 1 del motor de toma de fuerza.
- RB9: Sentido de giro 2 del motor de toma de fuerza.
- RB10: Deshabilita la toma de fuerza.

Con respecto a las salidas digitales, se tiene RB12 y RB13 que proporcionan las señales PWM que permiten regular la velocidad de los motores por lo que irán conectadas al driver. Además, RA2 y RA3 permiten escoger el sentido de giro del motor de toma de fuerza por lo que también irán conectadas al driver. Por último, las salidas RA4, RB11, RB14 y RB15 corresponden a los LEDs que se van a conectar para indicar el nivel de carga que les queda a las baterías.

Asimismo, en la Parte IV de este documento, se adjunta el plano del circuito completo que se ha implementado.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Desarrollo del software

---



## Capítulo 5 DESARROLLO DEL SOFTWARE

En este capítulo se detallan el proceso de diseño del algoritmo software del medidor de baterías y del control de velocidad de giro de los motores respectivamente debido a que tratan de herramientas fundamentales a la hora de implementar el algoritmo completo en el sistema.

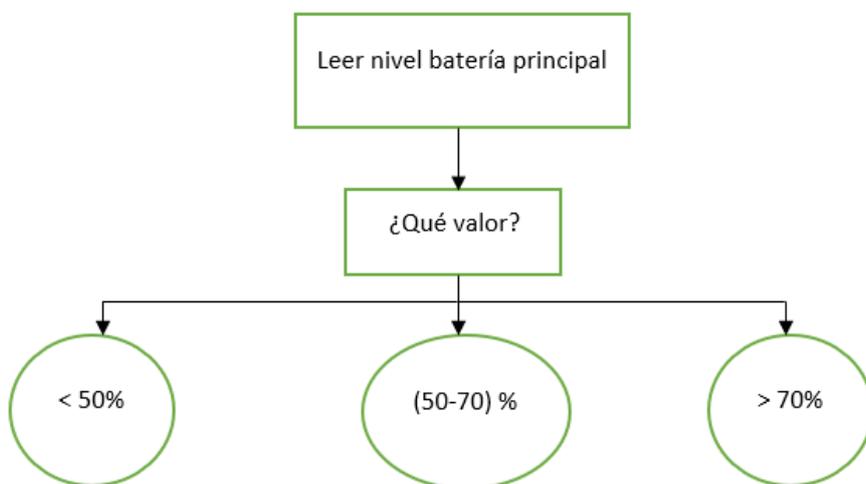
### *5.1 Diagrama de flujo del sistema*

---

---

Si bien los apartados anteriores se han fundado en desarrollar la parte hardware del sistema, en este punto se van a relacionar los componentes hardware con el código de programación diseñado para el extensor de autonomía y la toma de fuerza externa.

El microcontrolador se encarga de realizar las medidas y gestionar y monitorizar los resultados. Para ello, el código implementado sigue los diagramas de flujo que se muestran a continuación:



*Figura 30:* Niveles de carga batería.

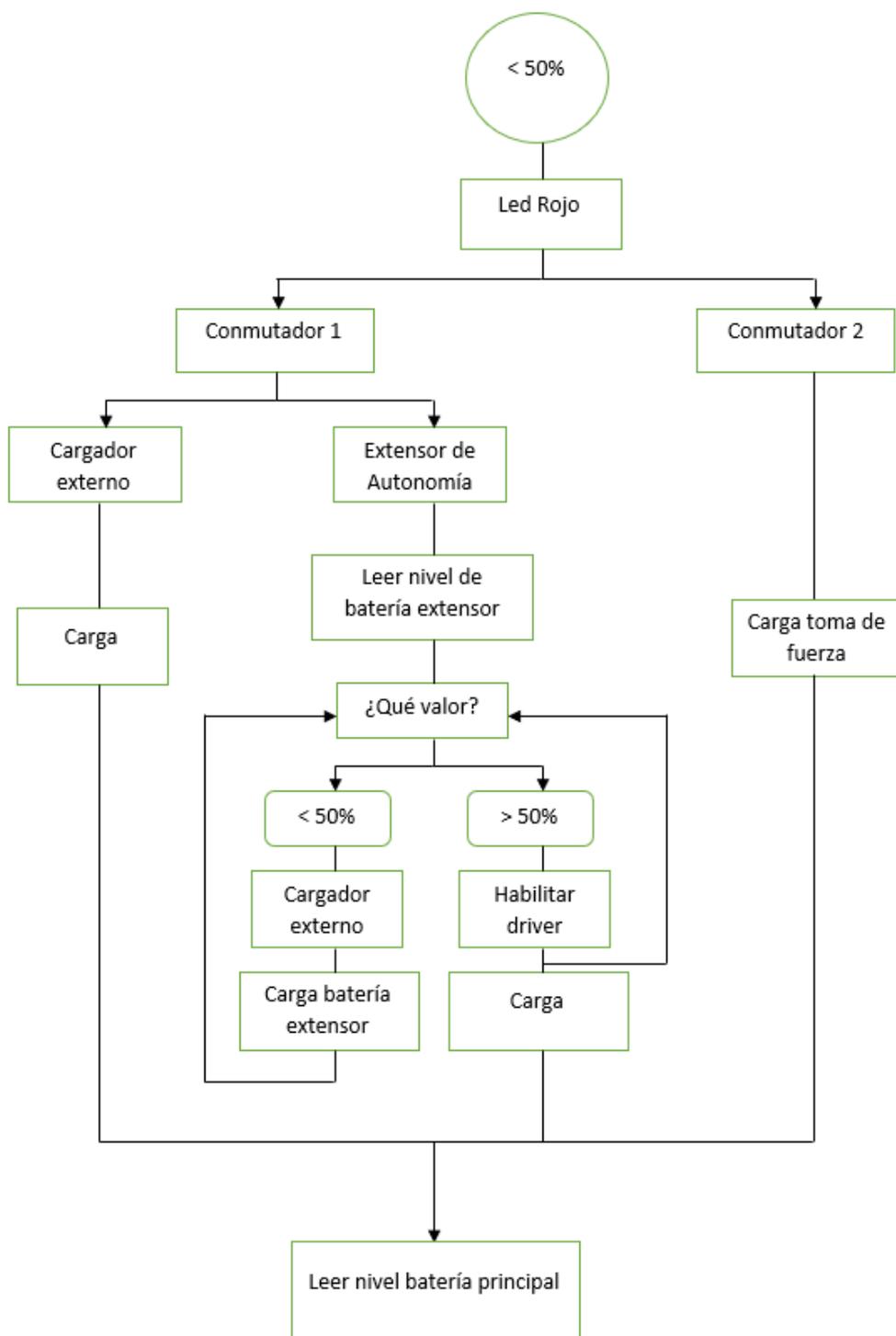


Figura 31: Diagrama de flujo para carga inferior al 50%.

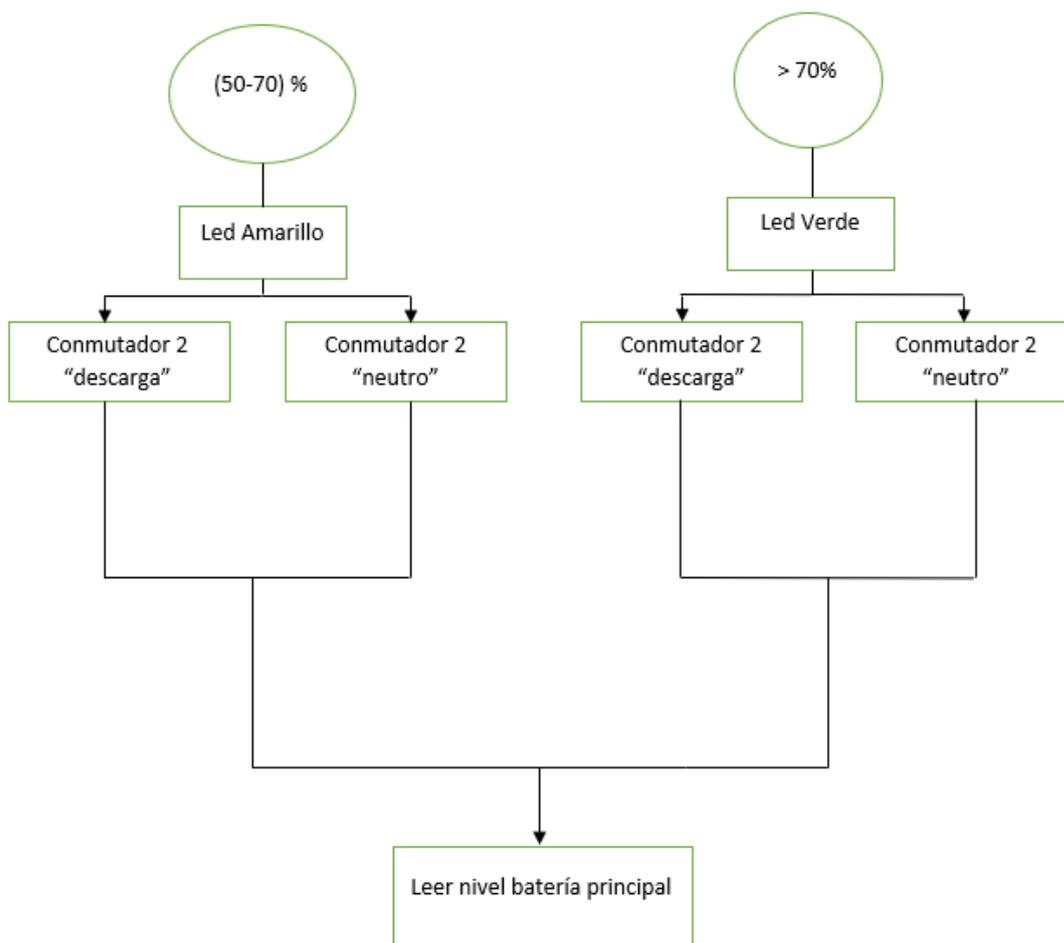


Figura 32: Diagrama de flujo para carga superior al 50%.

En definitiva, las funcionalidades que tiene que recoger el algoritmo del código son las siguientes:

- Leer el nivel de carga de la batería principal.
- En caso de que la carga sea inferior al 50%, habilitar el extensor de autonomía a través del driver del que se dispone.



- Es necesario leer el nivel de carga de la batería del extensor con el fin de asegurar que el nivel de carga es mayor que el 50% si se quiere hacer uso de él. En caso contrario, es imprescindible parar el vehículo y cargar la batería mediante un cargador externo.
- En caso de que se disponga de un nivel de carga de batería principal superior al 50%, se podrá hacer uso del motor correspondiente a la toma de fuerza con el objetivo de proporcionar un par al exterior.

## ***5.2 Medidor de batería***

---

El medidor de batería es fundamental puesto que es el instrumento que determina cuando hace falta poner en marcha el extensor de autonomía.

Este medidor de tensión está diseñado para medir la tensión de la batería principal y la tensión de la batería del extensor. Con respecto a la batería principal, teniendo en cuenta los rangos de tensión de la batería principal, será necesario medir una tensión de como mínimo 24 V. Por otro lado, en relación con el nivel de carga de la batería del extensor, será necesario medir una tensión de como mínimo 36 V. Por consiguiente, es inviable conectar las baterías directamente a la entrada analógica del dsPIC y se recurrirá a un divisor de tensión para conseguir la tensión máxima que se le puede suministrar a la placa, es decir, 3.3V.

Para empezar, se debe medir la tensión de la batería en carga máxima y descargada. Sabiendo estos datos, se puede proceder a calcular teóricamente el valor de las resistencias del divisor de tensión mediante la siguiente fórmula:

$$V_{AN} = \frac{R1}{R1 + R2} * V_{Batería}$$



Siendo:

$V_{AN} = 3.3V$ . Tensión máxima que entrará por el conversor AD.

$V_{Batería}$ : Valor de tensión máximo que se ha medido en la batería.

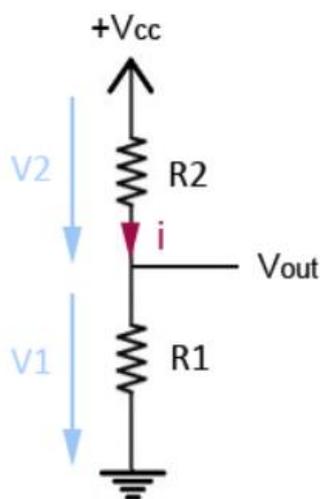


Figura 33: Divisor de tensión.

En definitiva, el divisor escogido para la batería principal es el formado por una resistencia R3 de 560 k $\Omega$  y otra R4 de 82 k $\Omega$  conectados como se indica en la Figura 27. Por otro lado, el divisor que se va a emplear para medir el nivel de carga del extensor de autonomía es el formado por una resistencia R1 de 6.2 M $\Omega$  y otra R2 de 470 k $\Omega$  (Figura 28).

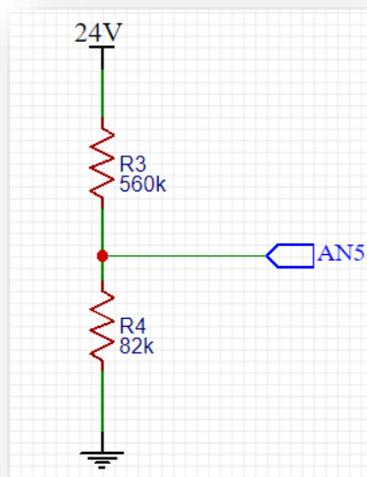


Figura 34: Esquema divisor de tensión batería principal.

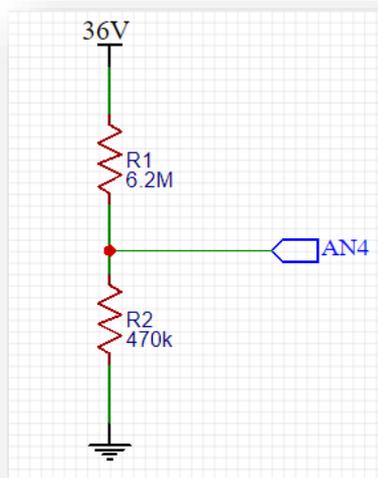


Figura 35: Esquema divisor de tensión batería extensor.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Desarrollo del software

---

Además, se utilizan unos LEDs para indicar el nivel del porcentaje de carga que les queda a las baterías. El motivo del diseño y realización de este medidor es completar el funcionamiento del sistema, dado que, tanto para esta maqueta como en una implementación real, es necesario conocer el nivel de carga de la batería.

- LED verde: Se ilumina cuando el nivel de la batería se encuentre entre el 100% y el 70% de su carga.
- LED amarillo: Se ilumina para indicar que la batería se encuentra entre el 70% y el 50%. Este rango se define como nivel intermedio.
- LED rojo: Se ilumina para avisar de que el nivel de la batería es bajo, más concretamente por debajo del 50%. Se ha establecido que el valor mínimo de tensión admisible es de 18V para evitar descargas completas y que termine dañándose la batería.
- LED verde parpadeante: Este LED informa sobre el nivel de carga de la batería del extensor. Mientras que el nivel de carga sea superior al 50 % el LED permanece encendido. En cuanto el nivel sea inferior al 50%, este LED empieza a parpadear permanentemente.

Dado que no es recomendable someter a las baterías a descargas superiores al 50% de la batería, es por esta razón por la que se activa el extensor de autonomía mediante el microcontrolador cuando la batería llegue a dicho nivel.

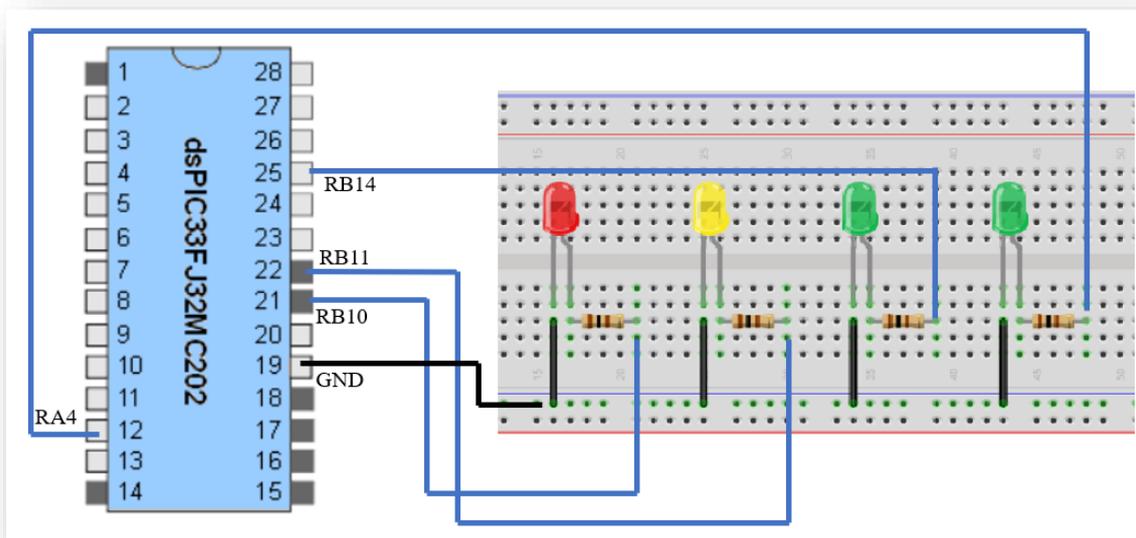


Figura 36: Distribución de los LEDs.

Al igual que la conexión de la batería a la entrada analógica del dsPIC, la conexión de los LEDs a las salidas del microcontrolador tampoco es directa, por lo que es necesario disponer una resistencia entre la salida del dsPIC y el propio LED. Esto es debido a que el LED tiene una corriente máxima de diseño y si se excede este límite el dispositivo se quemará. Los LEDs de los que disponemos tienen una corriente límite de 20 mA. Para no sobrepasar dicho valor y que el LED ilumine notablemente, se tomará un valor de intensidad de 17 mA.

Para limitar la corriente que pasa a través del LED, se utilizará una resistencia conectada en serie, esto es, el ánodo del LED se conecta a uno de los terminales de la resistencia, y el otro terminal de la resistencia a la salida del dsPIC. Por otro lado, el cátodo del LED se conecta a masa. La fórmula  $R = \frac{V_s - V_d}{I}$  permite calcular la resistencia exacta que se debe conectar, siendo R la resistencia en ohmios,  $V_s$  la tensión de alimentación del



microcontrolador (3.3V),  $V_d$  la caída de tensión del LED e  $I$  la corriente que circula por dicho LED y cuyo valor es 17 mA.

Se debe de tener en cuenta que la caída de tensión en los diodos depende del color y del brillo del LED. El LED rojo tiene una tensión umbral de 1.9V, mientras que el LED amarillo una tensión de 1.7V a 2V y el LED verde una tensión de 2.4V. Por consiguiente, se decide sacar el valor de la resistencia con una tensión umbral del LED de 2V para todos los casos. Aplicando la fórmula anterior se obtiene un valor de 76.47  $\Omega$ , cuyo valor comercial más próximo es 100  $\Omega$ .

A continuación, en la Figura 37 se muestra el conexionado de los LEDs que se van a emplear.

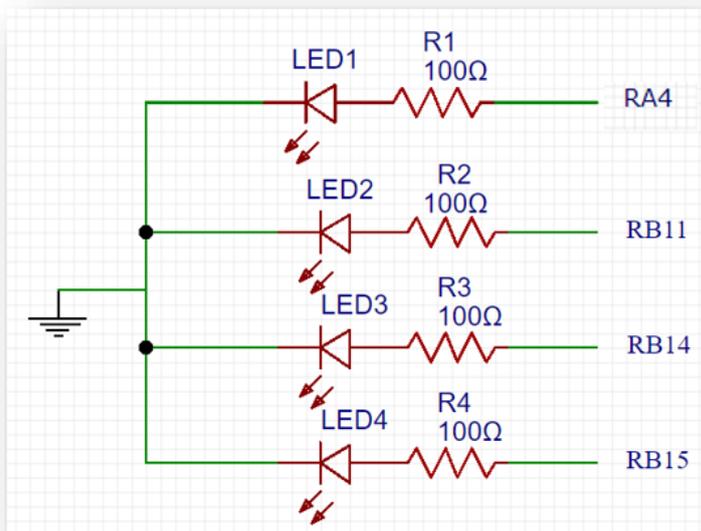


Figura 37: Esquema conexionado LEDs.



### 5.2.1 Algoritmo medidor de batería

---

---

Tal y como se ha configurado el módulo AD, detallado en el Capítulo 4 y cuyo programa se adjunta en la parte IV, el conversor AD es el encargado de leer el valor de la entrada analógica y convertirlo a valor digital. Este valor de la medida se guarda en una variable, que se usa como variable de entrada en distintos bucles *while* dependiendo del resultado de la comparación con los umbrales de carga definidos anteriormente. A continuación, se tiene el fragmento de código correspondiente a este método:

```
valor=medida(5); // Se obtiene el valor de la batería principal
voltaje_principal=valor*factor; // Factor= 0.003226
voltaje_principal_escalado=voltaje_principal*escala_principal; // Escala_principal=8.34

valor_extensor=medida(4); // Se obtiene el valor del extensor
voltaje_extensor=valor_extensor*factor;
voltaje_extensor_escalado=voltaje_extensor*escala_extensor; // Escala_extensor=21.58
```

Para saber la parte de tensión que corresponde a cada entrada analógica, hay que dividir la tensión de referencie entre 1023. Este cociente cuyo valor es 0.003226 se multiplica por el valor adquirido de la lectura analógica.

Como se ha podido observar en el flujograma de niveles de carga, dependiendo del nivel de tensión en el que el sistema se encuentre, el programa estará en un bucle o en otro. A continuación, se muestra las sentencias referidas al apagado y encendido de los LEDs según el bucle *if*.



```
if (porcentaje_principal_escalado >= 21) {  
    salidaB(15);  
    puestaaunoB(15);  
    puestaaceroB(14);  
    puestaaceroA(4);  
}  
if (porcentaje_principal_escalado < 21 && porcentaje_principal_escalado >= 18) {  
    salidaB(14);  
    puestaaunoB(14);  
    puestaaceroB(15);  
    puestaaceroA(4);  
}  
if (porcentaje_principal_escalado > 0 && porcentaje_principal_escalado < 18) {  
    salidaA(4);  
    puestaaunoA(4);  
    puestaaceroB(15);  
    puestaaceroB(14);  
}  
if (voltaje_extensor_escalado >= 32) {  
    salidaB(11);  
    deshabilita_parpadeo(11);  
}
```



```
if(voltaje_extensor_escalado > 0 && voltaje_extensor_escalado < 32) {  
  
    salidaB(11);  
    habilita_parpadeo(11);  
  
}
```

Se puede observar que se llaman a distintas funciones en el código expuesto anteriormente, siendo estas:

- salidaB(int pin): Configura pin del registro B como salida.
- puestaaunoB(int pin): Pone a 1 el pin.
- puestaaceroB(int pin): Pone a 0 el pin.
- deshabilita\_parpadeo(int pin): Deshabilita el parpadeo del pin.
- habilita\_parpadeo(int pin): Habilita el parpadeo del pin.

El código completo de cada una de estas funciones se detalla en la parte IV de esta memoria.

Volviendo al funcionamiento del conversor AD, una vez que este realiza el escaneo de los pines, se ejecuta la función de interrupción *\_ADCInterrupt*. Esta función tiene declarado un puntero que se le ha denominado *\*p* y que apunta a la dirección de memoria 0x300 que corresponde a AD1CBUF0. Además, la función guarda los resultados en un vector llamado “*resultado*” que se ha definido como variable global puesto que también se utiliza en la función *medida*. Esta nueva función devuelve el valor de conversión de cada pin al programa principal *main*. También se puede observar que dentro de la función *\_ADCInterrupt*, IFS0 vuelve a ponerse a 0 para borrar la bandera de interrupción y así indicar que se ha atendido la interrupción.



Ya que la función *medida* proporciona la dirección en la que se almacena las digitalizaciones de los seis pines analógicos, la posición *i* del puntero *p*, *p[i]*, está referido al registro ADC1BUFx, donde se encuentra el dato de la entrada analógica.

El driver del convertidor AD que se ha empleado se muestra a continuación:

```
void init_ad (int pines, int n_pines) {  
    TRISB |= (pines & 0x3F)>>2;  
    TRISA |= pines & 3;  
    AD1PCFGL = ~pines;  
    AD1CSSL = pines;  
    AD1CON3 = 0x105;  
    AD1CON2 = 0x0400 | (n_pines <<2);  
    AD1CON1 = 0x80E4;  
    IFS0 &=~0x2000;  
    IEC0 |=0x2000;  
}  
int resultado[2]={0,0,0,0,0,0};  
void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _ADC1Interrupt(void) {  
    IFS0&=~0x2000;  
    int* p;  
    int i;  
    p=0x300;  
    for (i=0; i<2; i++) {  
        resultado[i] = p[i];  
    }  
}
```



```
int medida (int pin) {  
    return resultado[pin];  
}
```

### ***5.3 Control de velocidad de un motor CC***

---

---

Para controlar la potencia que se va a destinar al motor de corriente continua, tanto para el del extensor como el de la toma de fuerza, se va a utilizar la modulación por ancho de pulso, PWM (pulse-width modulation). La modulación por ancho de pulso de una señal es un método mediante el cual se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica con el fin de controlar la cantidad de energía que se le envía a la carga (motor CC como es en este caso).

El ciclo de trabajo de una señal periódica viene dado por la siguiente fórmula:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

Siendo:

**D:** Ciclo de trabajo.

**$\tau$ :** Tiempo en el que la función es positivo. Corresponde al ancho de pulso.

**T:** Periodo de la función.

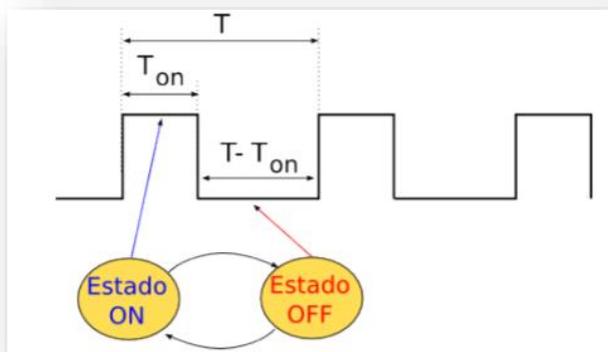


Figura 38: Funcionamiento del PWM según el ancho de pulso.

Como se puede observar en la Figura 34, a mayor ciclo de trabajo, mayor es el valor medio de la señal. El objetivo de esta técnica es que mediante una señal digital se puedan conseguir valores de señal medios analógicos.

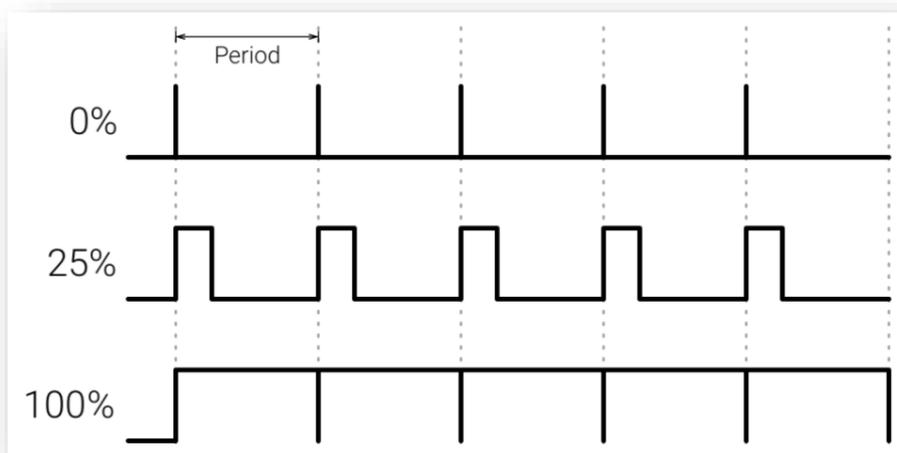


Figura 39: Ciclo de trabajo de una señal PWM.



### ***5.3.1 Algoritmo control de velocidad de un motor CC***

---

---

Con el objetivo de regular la velocidad de los motores se utilizan los potenciómetros de la tarjeta conectados a los pines 0 y 1 y que corresponden a las entradas analógicas AN0 y AN1. Por lo tanto, cuando el potenciómetro está en un extremo, el motor va a su máxima velocidad siempre y cuando la batería esté dando su máxima tensión, mientras que, en las posiciones intermedias del potenciómetro, la velocidad del motor varía de forma lineal.

Se define un periodo máximo de 0x03FF, dado que este valor digital corresponde al máximo valor de la digitalización del valor analógico del potenciómetro. Luego, se define el ancho de pulso de este periodo durante el cual se da tensión. Este ancho de pulso viene dado por la lectura del potenciómetro, que se trata de una señal analógica y se procesa de la manera descrita en el apartado anterior.

La señal cuadrada se genera mediante interrupciones y se controla desde el timer 1 que se inicializa para una cuenta de una centésima de milisegundo, de forma que el cambio de velocidad sea suave e imperceptible. El programa que genera una señal PWM en función del valor que marca el potenciómetro viene definido a continuación:



```
void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _T1Interrupt(void) {  
IFS0&=~8;  
tick++;  
static int cont=0;  
int i=0;  
for (i=0; i<2; i++) {  
  
if (cont<(PWM[i] &0x03FF)) {  
PORTB|=(1<<(12+i));  
}  
else {  
PORTB&= ~ (1<<(12+i));  
}  
cont++;  
if (cont >= 0x03FF) {  
cont=0;  
}  
}
```



## Capítulo 6 IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA

En este capítulo se explica el diseño del algoritmo software y el montaje del sistema completo. Para ello, el capítulo se ha dividido en tres bloques. En el primer bloque se presenta el montaje del extensor de autonomía, mientras que en el segundo bloque se explica el montaje de la toma de fuerza externa mecánica. El último bloque se centra en desarrollar el montaje del sistema completo. Además, dichos bloques incluyen la implementación del algoritmo de ambos sistemas y las pruebas de funcionamiento pertinentes.

### *6.1 Montaje extensor de autonomía*

---

---

Como se ha especificado en capítulos anteriores, el extensor de autonomía se compone de dos motores de corriente continua. El primero desempeña la labor de motor, arrastrando al segundo motor que, por el contrario, realiza la tarea de generador, entregando así, energía a la batería principal y recargándola (Figura 40).

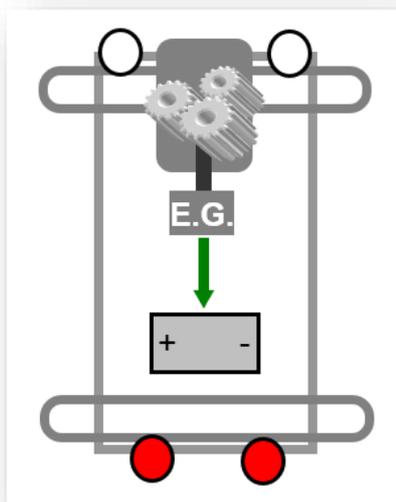


Figura 40: Funcionamiento extensor de autonomía.

A continuación, se presenta el montaje que seguir con el fin de realizar el montaje del extensor de autonomía:

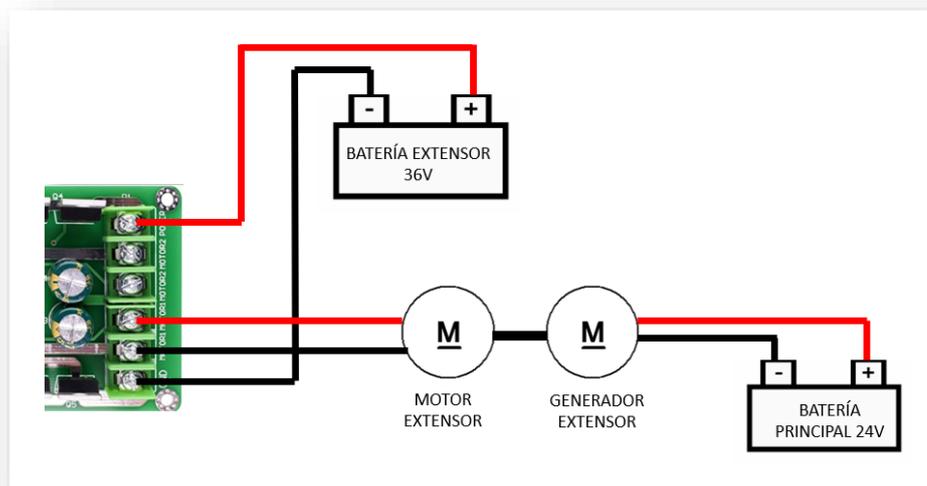


Figura 41: Esquema eléctrico del extensor de autonomía.



### ***6.1.1 Transmisión de potencia entre ejes***

---

---

La manera más sencilla de transmitir la energía de un motor a otro es el acoplamiento, ya que opera uniendo los extremos de ambos ejes, transmitiendo de esta forma la rotación del uno al otro, y, por lo tanto, la potencia.

Los acoplamientos tienen por función conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí. El propósito fundamental de los acoplamientos es transmitir el par precisado desde el eje impulsor al impulsado. Existen diferentes tipos de acoples que pueden absorber y compensar el desalineamiento entre ambos ejes, así como proporcionar numerosas funciones complementarias para mejorar la transmisión. Fundamentalmente los acoplamientos se clasifican en dos tipos, los rígidos y los flexibles.

Los acoplamientos rígidos están diseñados para unir dos ejes en forma apretada de manera que no se origine movimiento relativo entre ellos. Este tipo de acoplamiento se recomienda emplearlo sólo cuando los ejes están alineados de manera precisa. A continuación, la Figura 42 muestra un tipo de acoplamiento rígido.



*Figura 42: Acoplamiento rígido de manguito.*



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

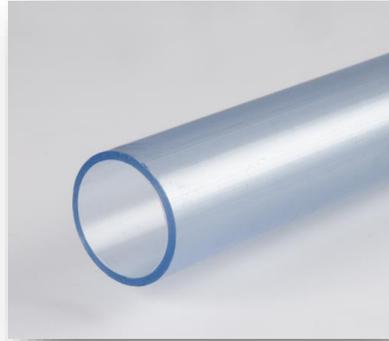
Implementación y montaje del sistema

Por otro lado, los acoplamientos flexibles están diseñados de forma que puedan transmitir torque con suavidad, por lo que permiten cierta desalineación entre ejes. La Figura 43 muestra un tipo de acoplamiento flexible, de los numerosos que se pueden encontrar en el mercado.



*Figura 43:* Acoplamiento flexible de rejilla de acero.

Dado que este Proyecto tiene por objeto fabricar un modelo a escala del vehículo real, y no se requiere de cálculos precisos para escoger el acoplamiento que se debe emplear, se ha optado por utilizar un tubo rígido de PVC (Figura 44) con el fin de transmitir el par requerido de un eje a otro puesto que dicho material posee resistencia, rigidez y dureza mecánicas elevadas.



*Figura 44:* Tubo PVC transparente.

Este sistema podrá utilizarse en el vehículo real siempre y cuando los ejes pudieran alinearse perfectamente. No obstante, no sería recomendable usar este tipo de sistema debido a que los ejes son la parte que más sufre del sistema y el acoplamiento sería demasiado endeble. Además, a través de una selección del acoplamiento apropiada en el vehículo de dimensiones reales se podrían evitar altos costos de mantenimiento.

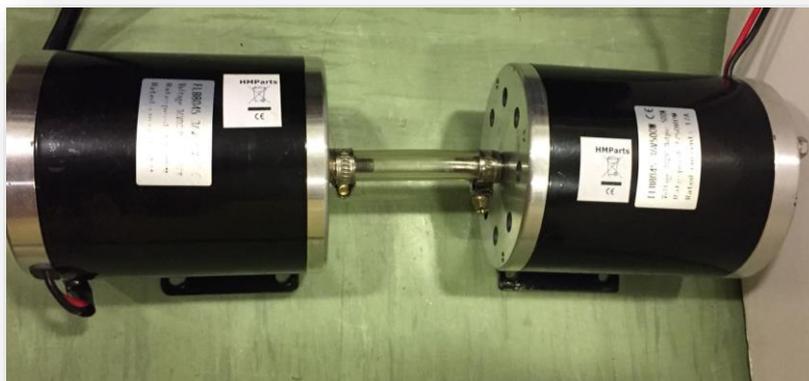
En relación con la sujeción del tubo PVC a los extremos de los dos ejes, se opta por unas abrazaderas de apriete de acero inoxidable como la que se muestra en la Figura 45.



*Figura 45:* Abrazadera de apriete de tornillo de acero inoxidable.

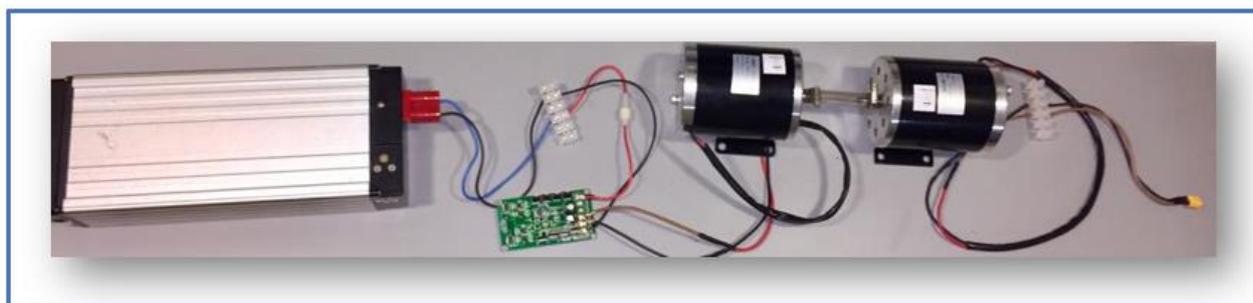


A continuación, se presenta el sistema de unión de ejes por el que se ha optado con el propósito de transmitir el movimiento y la potencia entre ambos motores.



*Figura 46:* Sistema de transmisión entre ejes.

A continuación, se adjunta una fotografía del conexionado real del sistema extensor de autonomía que se ha llevado a cabo.



*Figura 47:* Conexionado real extensor de autonomía.



## 6.1.2 Algoritmo extensor de autonomía

Como se ha observado en el flujograma del Capítulo 5, dependiendo del nivel de tensión que se tenga de la batería principal, se activará o no el extensor de autonomía. De esta forma, el extensor de autonomía se pondrá únicamente en marcha en el instante en el que el nivel de carga de la batería principal sea inferior al 50% como se muestra en la captura de código que se adjunta a continuación:

```
if (voltaje_principal_escalado >0 && voltaje_principal_escalado <18 ){  
  
    salidaA(4);  
  
    puestaaunoA(4);  
  
    puestaaceroB(15);  
  
    puestaaceroB(14);  
  
    habilita_pwm(0);  
  
}
```

También es imprescindible conocer el nivel de carga de la batería del extensor, por lo que se mide su tensión continuamente siguiendo el mismo procedimiento que el que se emplea para medir la carga de la batería principal:

```
if (voltaje_extensor_escalado > 0 && voltaje_extensor_escalado < 32){  
  
    salidaB(11);  
  
    habilita_parpadeo(11);  
  
    para_pwm(0);  
  
}
```



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Implementación y montaje del sistema

Además, como se ha especificado en el Capítulo 3, se tienen tanto un pulsador que permite deshabilitar el extensor de autonomía en el momento en el que el usuario lo desee, como un pulsador que permite habilitar el extensor de autonomía de nuevo una vez que se ha presionado el pulsador de paro.

```
if (hay_flanco(0) == 1){  
  
    para_pwm(0);  
  
    salidaB(12);  
  
    }  
  
if (hay_flanco(4) ==1){  
  
    habilita_pwm(0);  
  
    salidaB(12);  
  
    salidaA(3);  
  
    puestaaceroA(3);  
  
    }
```

Se puede observar que se llaman a distintas funciones en el código expuesto anteriormente, siendo estas:

- hay\_flanco(int pin): Se recibe un 1 si se presiona el pulsador “pin”.
- para\_pwm(int pin): Deshabilita la señal PWM de pin.
- habilita\_pwm(in pin): Habilita la señal PWM de pin.
- salidaB(int pin): Configura pin del registro B como salida.
- salidaA(int pin): Configura pin del registro A como salida.
- puestaaceroA(int pin): Pone a cero pin.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Implementación y montaje del sistema

---

El código completo de cada una de estas funciones se detalla en la parte IV de esta memoria.

Como se ha detallado en el capítulo anterior, el control de la velocidad de giro de los motores que componen el extensor de autonomía se realiza con un potenciómetro mediante el cual el usuario puede regular directamente la potencia que se desea entregar a los motores. El microcontrolador dsPIC hace uso de la medida del potenciómetro para generar una señal PWM que se conecta al driver que se muestra en la Figura 47 y cuyo conexionado se ha detallado en el Capítulo 3.

En la parte IV se muestra el conjunto de drivers y funciones que se requieren para el correcto funcionamiento de dicho sistema.

Todo lo mencionado anteriormente se incorpora en una máquina de estados que gestiona la actividad del extensor de autonomía. Una máquina de estados es un sistema secuencial cerrado en el cual se realizan acciones, una después de otra. De esta forma, la máquina de estados nos sirve para determinar el comportamiento de algo en base al estado en el que se encuentre. Por lo tanto, para cada estado se tiene un comportamiento diferente. La máquina de estados se compone de 2 elementos fundamentales: estados y transiciones. El primero representa el comportamiento de un elemento que hace algo durante un cierto tiempo, mientras que la transición está asociada a una condición que da paso de un estado a otro.

En definitiva, el diagrama de la máquina de estados (Figura 48) que se encarga del funcionamiento del extensor de autonomía incluye las siguientes características:

- Leer el nivel de carga de la batería principal.
- En caso de que la carga sea inferior al 50% y asegurando que el nivel de carga del extensor es mayor al 50%, habilitar el extensor de autonomía.
- Si se presiona el pulsador de paro, deshabilitar el extensor de autonomía.



- Si, por el contrario, se presiona el pulsador de marcha, habilitar el extensor de autonomía.

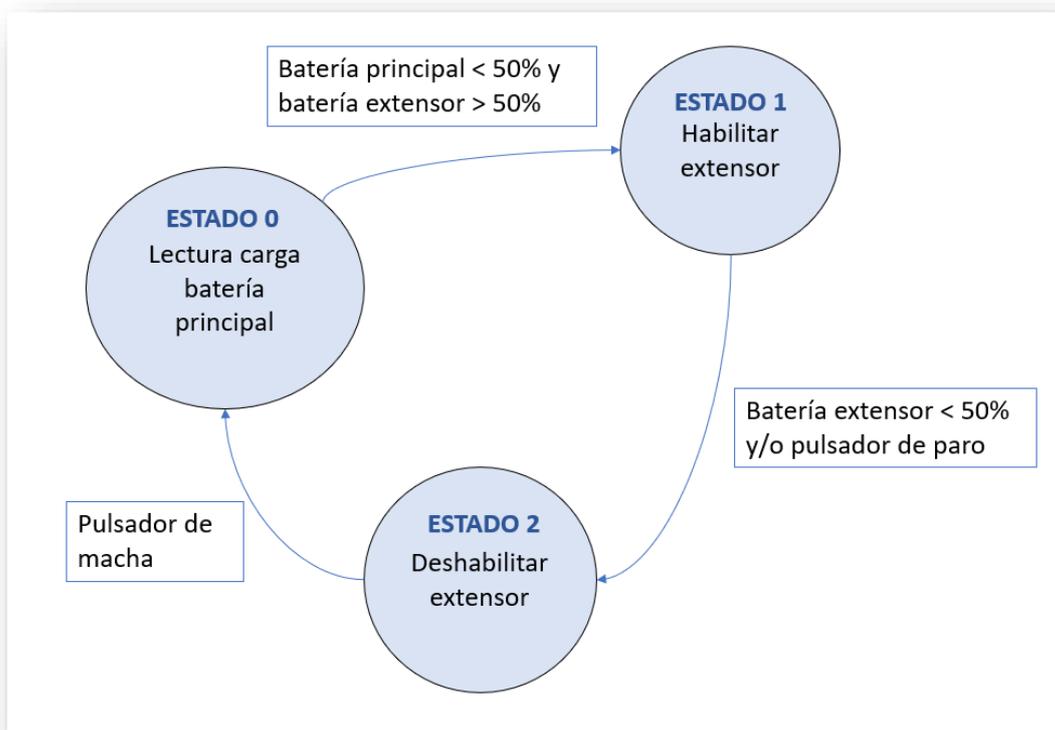


Figura 48: Diagrama máquina de estados extensor de autonomía.

El código completo de la máquina de estados se encuentra en la parte IV.



### 6.1.2.1 Implementación algoritmo extensor

A continuación, se realizan unas pruebas de funcionamiento del extensor de autonomía.

El primer ensayo consiste en obtener las medidas de tensión en bornes del motor que actúa como generador eléctrico, así como en bornes de la batería principal con el fin de comprobar que dicho motor alimenta y recarga a la batería con unos valores de tensión adecuados.

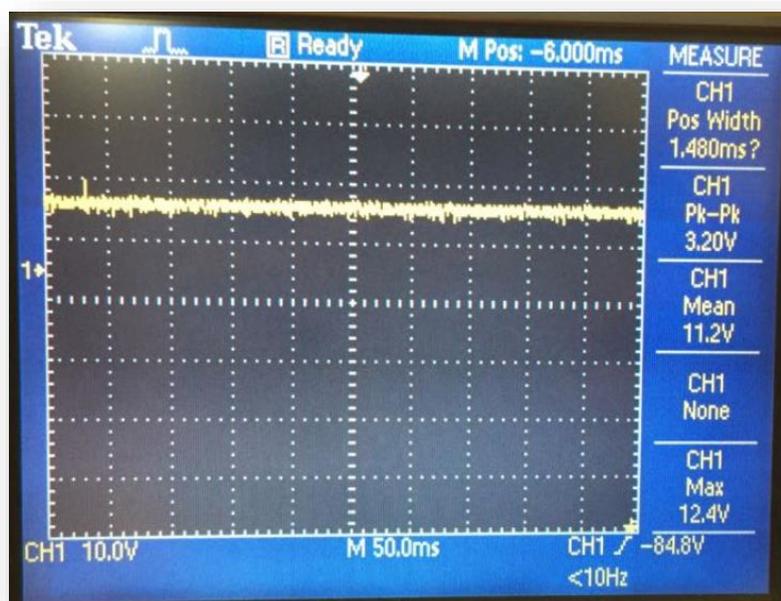


Figura 49: Tensión en bornes del motor generador.

En segundo lugar, se lleva a cabo una prueba mediante el módulo UART del microcontrolador con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del extensor en función de los diferentes porcentajes de carga que se tienen. Para ello, se envía un valor



de tensión a través de la UART mediante el programa *comDebug de WindMill* el cual permite la comunicación vía RS-232 entre el microcontrolador y el ordenador.

El primer paso que realizar es establecer el puerto de trabajo. En nuestro caso se trata del puerto COM4.

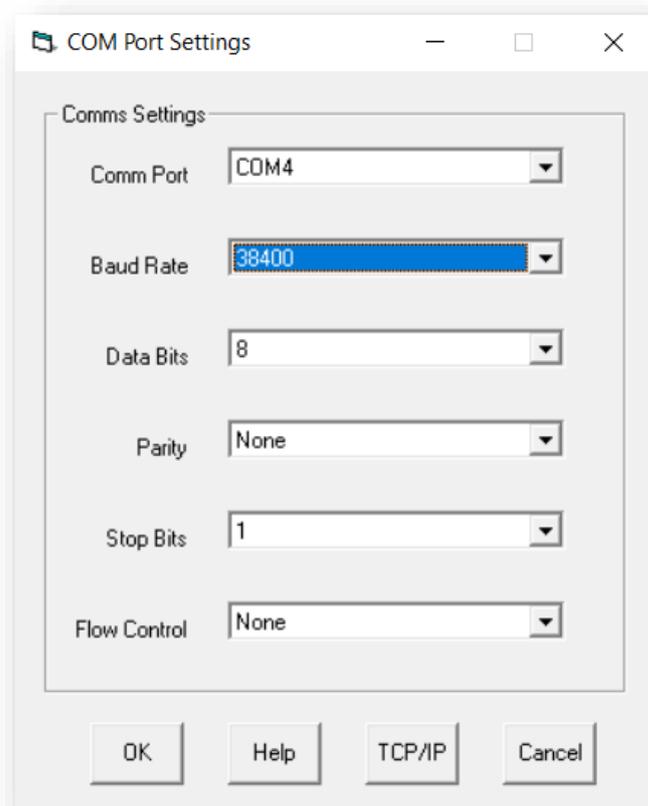


Figura 50: Ventana para indicar el puerto de conexión.

Luego, se configura dicho puerto COM4. Se indican las siguientes características en la ventana de configuración del puerto (Figura 50):

- Bits por segundo: 38400
- Bits de datos: 8



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Implementación y montaje del sistema

- Paridad: ninguna
- Bits de parada: 1
- Control de flujo: Ninguno

A continuación, se presentan las funciones y variables fundamentales que se deben emplear para dicha prueba de funcionamiento. No obstante, para realizar este ensayo se debe hacer un pequeño cambio con respecto al código real que se implementa en el sistema, por lo que, en este caso, no se hace uso de la máquina de estados. En la parte IV de la memoria se muestra el algoritmo completo tanto del ensayo mediante la uart como el código completo experimental del sistema.

```
InicializarUART();

unsigned char mensaje;

unsigned int dato=0;

unsigned int porcentaje=0;

    while(1){

        if (HayAlgoRecibido()) {

            mensaje = SacarDeColaRecepcionUART();

            dato = (((int)mensaje)&0x00FF);

            porcentaje= (int)(((dato-30)*100)/(36-30)) ;

            PonerEnColaTransmisionUART((char)porcentaje);

            Transmite();

...

...
```



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Implementación y montaje del sistema

```
// Dependiendo del porcentaje de carga que se tenga, el programa se encuentra
// en un bucle o en otro
}

return 0;
}
```

Se escoge enviar los valores que se muestran en la ventana del programa ComDebug de la Figura 51. El valor 1F hexadecimal corresponde a un valor de tensión de 31V, y como bien indica la recepción del dato correspondiente a dicho valor, pertenece a un porcentaje de carga inferior al 60%. Por el contrario, el valor 23 hexadecimal corresponde a un valor de tensión de 35V, perteneciente a un porcentaje superior al 80%.

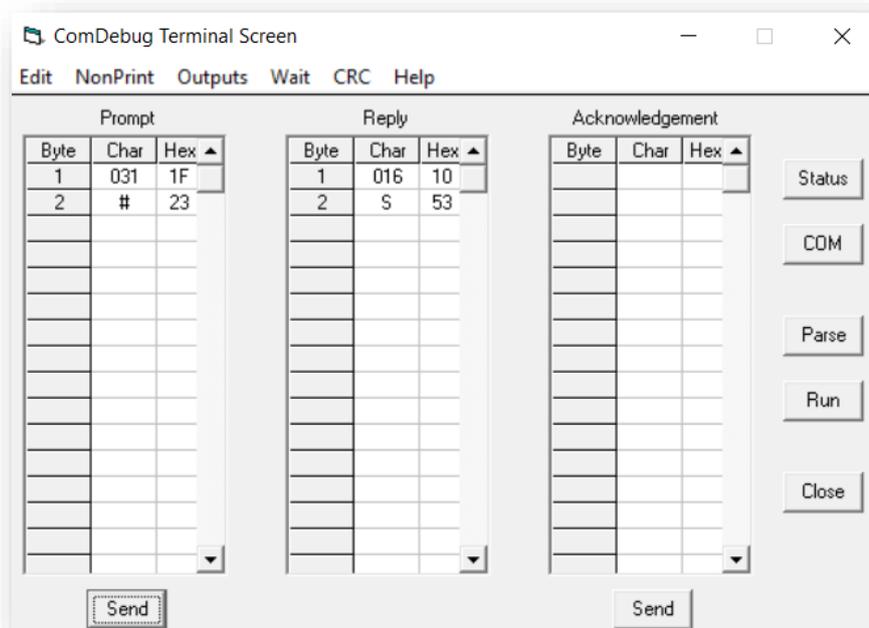


Figura 51: Recepción nivel de carga de la batería con comDebug.



Por consiguiente, en el caso en el que se obtiene un porcentaje de carga bajo, se verifica que luce el LED rojo, mientras que en el caso en el que se tiene un nivel de carga superior al 80%, se compruebe que el LED verde está iluminado.



Figura 52: Nivel de carga inferior al 50%.



Figura 53: Nivel de carga superior al 80%.



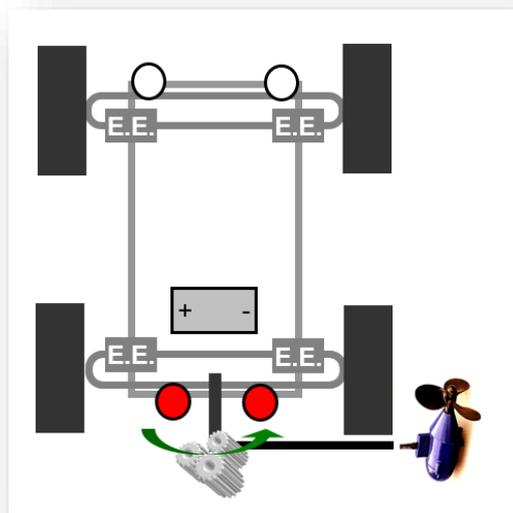


Figura 55: Funcionamiento de la toma de fuerza como generador.

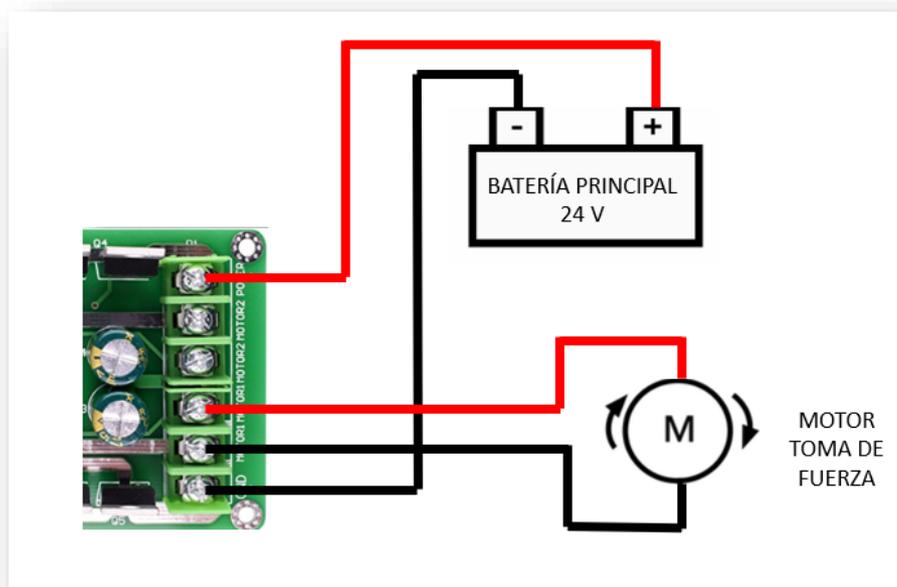


Figura 56: Esquema eléctrico toma de fuerza externa mecánica.



En la Figura 57 se adjunta una fotografía del conexionado real del sistema de la toma de fuerza externa mecánica que se ha realizado. Como se puede observar el motor está alimentado por una fuente de tensión a 24 V mediante una placa protoboard y una clema. Esto es debido a que el pedido de la batería principal no llegó a tiempo y hubo que simularla con una fuente. Este pequeño percance se explicará con más detalle en el apartado de los resultados.

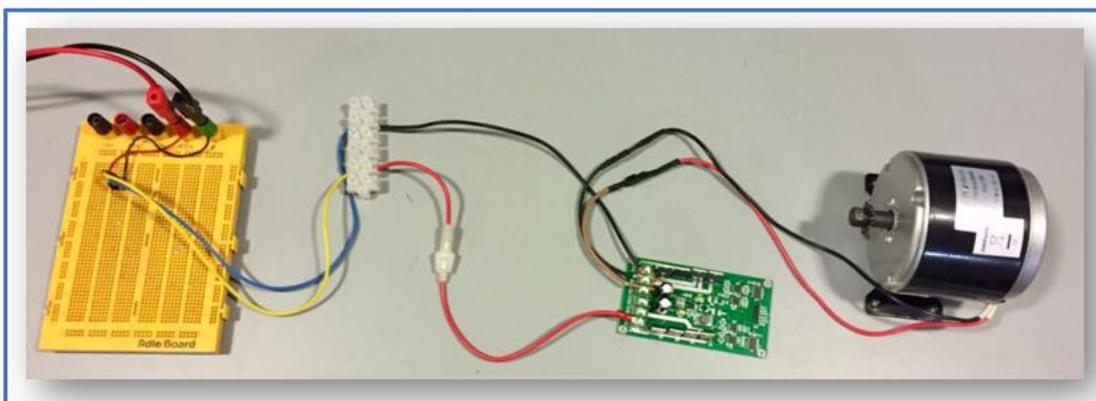


Figura 57: Conexionado real toma de fuerza externa mecánica.

### ***6.2.2 Algoritmo toma de fuerza externa mecánica***

---

Como se ha detallado en el Capítulo 3, se tienen varios pulsadores que el usuario puede presionar en función de la acción que se desee llevar a cabo. Dichos pulsadores desempeñan las siguientes funciones:

- Pulsador 1: Sentido de giro 1 del motor de la toma de fuerza.
- Pulsador 2: Sentido de giro 2 del motor de la toma de fuerza.
- Pulsador 3: Pulsador de STOP de la toma de fuerza.



```
if ( hay_flanco(1) == 1){  
    habilita_pwm(1);  
    salidaB(13);  
    salidaA(2);  
    puestaaunoA(2); // Sentido de giro 1  
}  
else if ( hay_flanco(2) == 1){  
    para_pwm(1);  
    salidaB(13);  
}  
else if (hay_flanco(3)==1){  
    habilita_pwm(1);  
    salidaB(13);  
    salidaA(2);  
    puestaaceroA(2); // Sentido de giro 2  
}
```

Se puede observar que se llaman a distintas funciones en el código expuesto anteriormente, siendo estas:

- `hay_flanco(int pin)`: Se recibe un 1 si se presiona el pulsador “pin”.
- `para_pwm(int pin)`: Deshabilita la señal PWM de pin.



- `habilita_pwm(int pin)`: Habilita la señal PWM de pin.
- `salidaB(int pin)`: Configura pin del registro B como salida.
- `salidaA(int pin)`: Configura pin del registro A como salida

El código completo de cada una de estas funciones se detalla en la parte IV.

Tal y como se ha especificado en el apartado del extensor de autonomía, el control de la velocidad de giro del motor de la toma de fuerza también se realiza con un potenciómetro. El microcontrolador dsPIC hace uso de la medida del potenciómetro para generar una señal PWM que se conecta al driver y así poder poner en marcha el motor.

### ***6.2.2.1 Implementación algoritmo toma de fuerza***

---

En este apartado, se realizan unos ensayos de funcionamiento de la toma de fuerza mecánica externa con el fin de comprobar que dicho motor actúa como se requiere.

La primera prueba consiste en comprobar que existe una relación directa proporcional de la lectura analógica y la velocidad del motor. Para ello, se van a obtener las medidas de tensión que entrega el potenciómetro a la entrada analógica mediante la función *medida(int pin)*. La tensión en bornes del motor correspondiente a cada medida del potenciómetro se observa en el osciloscopio como se indica en la Figura 58.

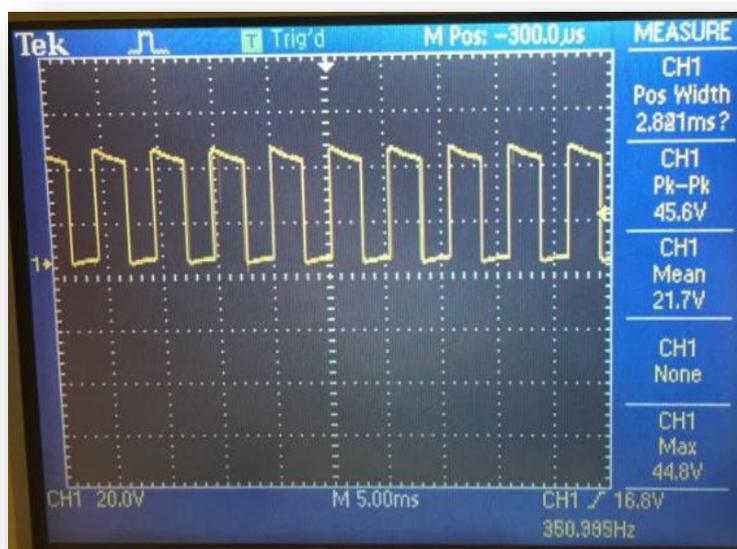


Figura 58: Tensión en bornes del motor toma de fuerza.

La Tabla 10 que se adjunta a continuación relaciona los valores de lectura analógica con los valores correspondientes de tensión y velocidad del motor de la toma de fuerza.



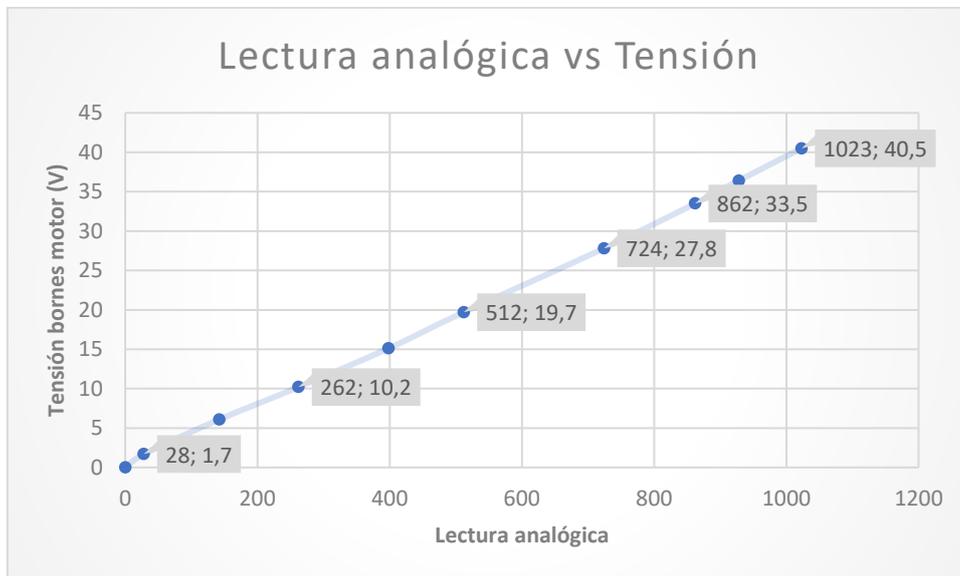
**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Implementación y montaje del sistema

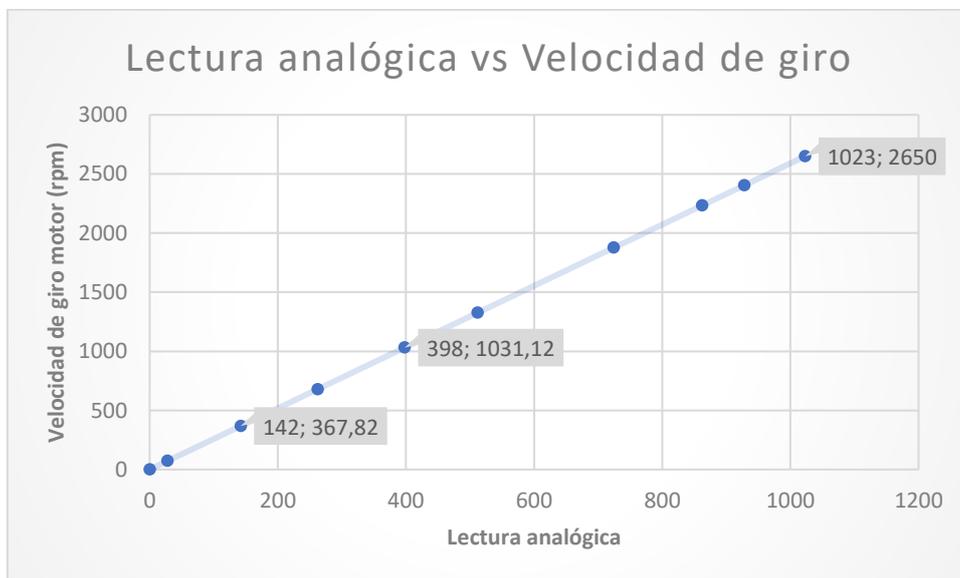
<i>Lectura analógica</i>	<i>Tensión (V)</i>	<i>Velocidad de giro (%)</i>	<i>Velocidad de giro (rpm)</i>
0	0	0	0
28	1,7	2,74	72,61
142	6,08	13,88	367,82
262	10,2	25,61	678,67
398	15,1	38,91	1031,12
512	19,7	50,05	1326,33
724	27,8	70,77	1875,41
862	33,5	84,26	2232,89
928	36,4	90,71	2403,82
1023	40,5	100	2650

*Tabla 10:* Valores analógicos y velocidad del motor.

Para tener una valoración más clara, se presenta el comportamiento los siguientes gráficos:



Gráfica 5: Tensión vs Lectura analógica.



Gráfica 6: Velocidad del motor vs Lectura analógica.



Como se puede observar, ambas gráficas muestran una relación directamente proporcional de la lectura analógica del potenciómetro con relación a la velocidad y la tensión del motor respectivamente, por lo que se puede confirmar que existe un correcto funcionamiento en el control de la velocidad de giro del motor.

Además, se va a comprobar que el motor puede girar en los dos sentidos posibles de giro (derecha e izquierda).

El motor cambia de sentido de giro cuando cambia la polaridad en sus bornes como se percibe en la Figura 59.

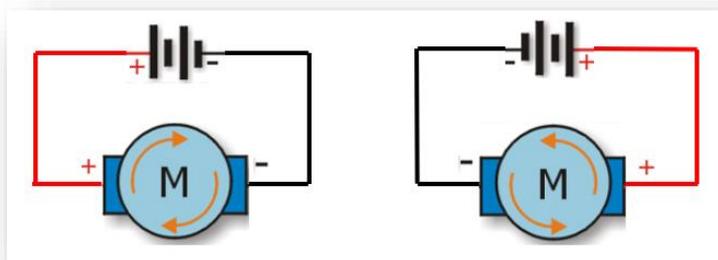


Figura 59: Sentido horario / antihorario motor CC.

De esta forma se tendría que cambiar la instalación para que el motor pudiese girar en un sentido o en otro. Sin embargo, el driver permite realizar dicho cambio de sentido sin necesidad de cambiar la instalación, de forma que el driver dispone de dos pines denominados DIR1 y DIR2 que sirven para controlar el giro del motor como se cita en el Capítulo 3. Por lo tanto, si se tiene DIR=1 el motor gira en un sentido (Figura 60) , y si por el contrario DIR=0 (Figura 61), lo hace en el otro.

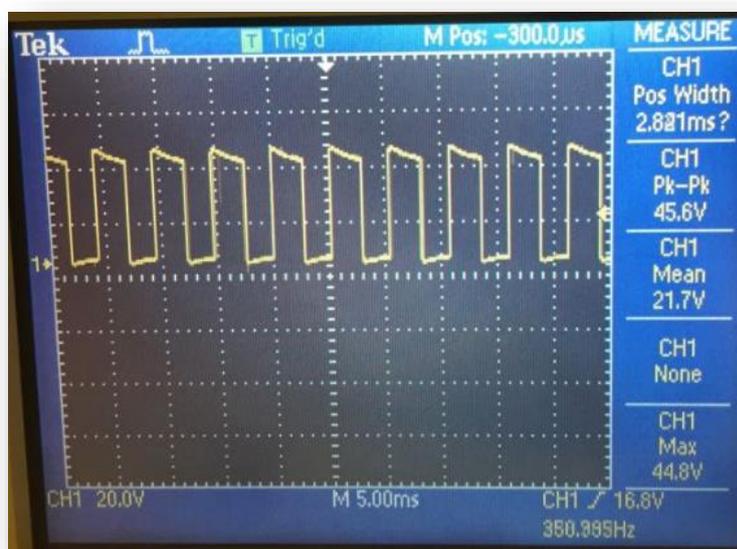


Figura 60: Sentido de giro positivo.

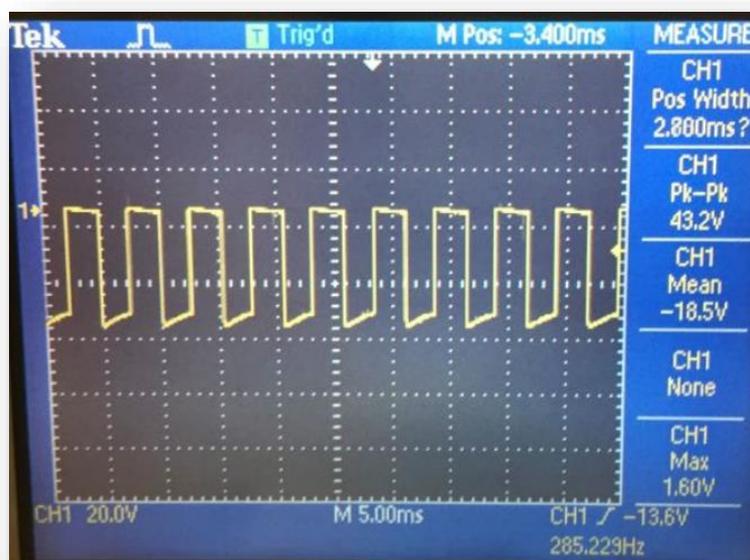


Figura 61: Sentido de giro negativo.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Resultados

---



## Capítulo 7 RESULTADOS

En este apartado se contempla el resultado final del sistema completo implementado en la maqueta y se detallan los desafíos encontrados durante la realización del proyecto.

### *7.1 Resultados*

---

---

En este apartado se presentan los resultados que se han obtenido de todo el desarrollo hardware y software detallado a lo largo de esta memoria. Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema completo compuesto por el extensor de autonomía y la toma de fuerza externa mecánica, se recogen varias fotografías que testifican su funcionalidad.

En primer lugar, se muestra el bastidor en el que se implementa el sistema, siendo este una simplificación de vehículo eléctrico real (Figura 62). El bastidor y los soportes de las ruedas están compuestos de metacrilato incoloro. Los soportes de las ruedas tienen unas dimensiones de 120x60x40mm. Además, las piezas blancas que se pueden observar en la Figura 62 denominadas ballestas están fabricadas con polietileno de alta densidad de 6mm y si bien el vehículo que se ha fabricado es un prototipo, dichas ballestas ilustran el concepto de bastidor flexible con el que destacaría el vehículo real. Con respecto al vehículo real, la suspensión se encontraría integrada en el propio bastidor por lo que se emplearía diversos materiales y un diseño adecuado para lograr su flexión del modo deseado y prescindiendo así de un gran número de elementos mecánicos rígidos.

---



Figura 62: Bastidor y soporte de las ruedas.

A continuación, se añaden unas fotografías del montaje completo del sistema (Figura 63) durante las pruebas realizadas con una protoboard y una fuente de alimentación que simula la batería principal de 24 V.

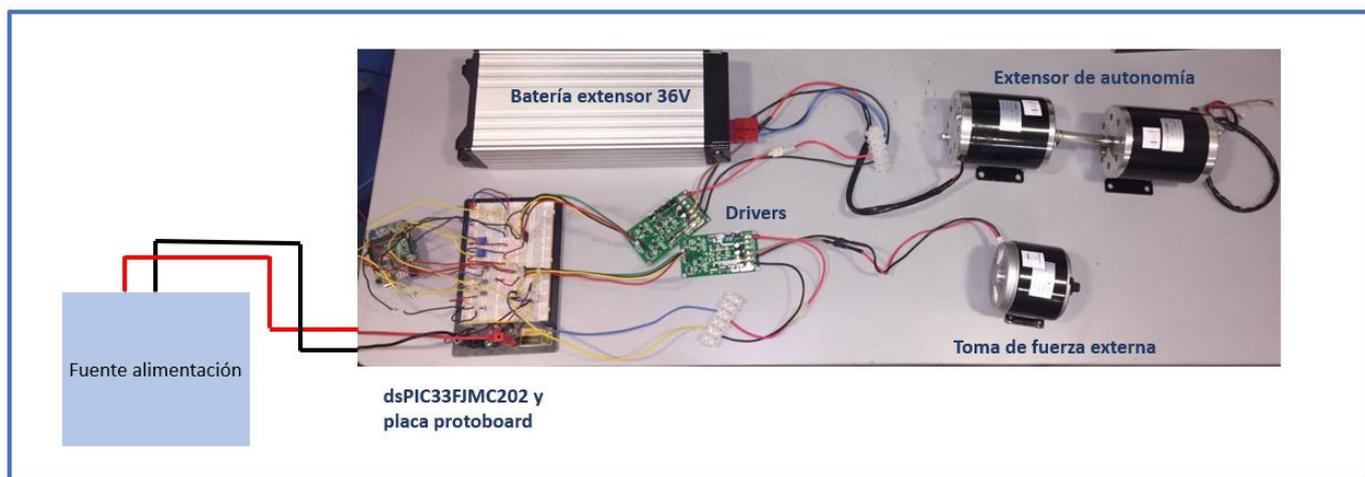
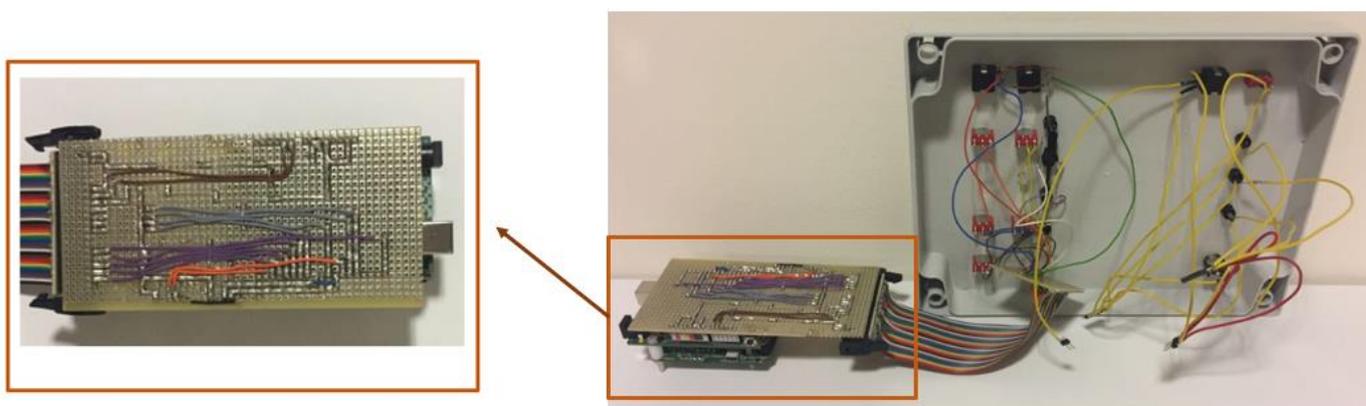


Figura 63: Conexionado real del sistema completo.



La Figura 64 refleja el conexionado real de los componentes electrónicos requeridos para el funcionamiento del sistema completo. Con el fin de garantizar la sujeción de los componentes en su posición y asegurar la circulación de corriente entre los diferentes componentes del circuito, se ha utilizado la soldadura con estaño. Luego, todos los elementos se han incluido en una caja como se muestra en la Figura 65.



*Figura 64:* Conexionado real componentes electrónicos.

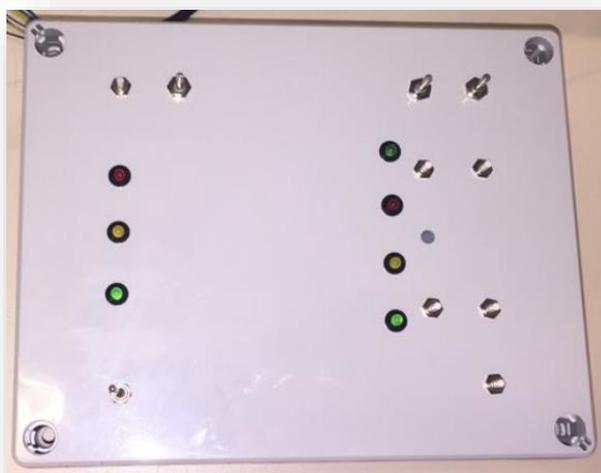


Figura 65: Caja componentes electrónicos.

Posteriormente, se añaden fotografías tomadas durante el proceso de funcionamiento del sistema extensor de autonomía instalado. En ellas se observa, por ejemplo, como lucen los LEDs dependiendo del nivel de carga en el que se encuentre el sistema.



Figura 66: Nivel de carga inferior al 50%.



Figura 67: Nivel de carga entre el 50 y 70%.



Figura 68: Nivel de carga superior al 80%.

Además, la caja que incorpora los elementos electrónicos se ha diseñado con la finalidad de que se pueda interactuar con ella por lo que se comprueba que los distintos modos de funcionamiento del motor de toma de fuerza se cumplen accionando los pulsadores correspondientes.

Otro de los objetivos a cumplir en este proyecto es tener constancia del nivel de carga de las baterías en todo momento. Para comprobar la funcionalidad y la precisión del medidor de batería se decide confirmar que la diferencia en la medida de tensión de la fuente de



alimentación (que se utiliza como batería principal) y el dato obtenido por el microcontrolador es mínima.

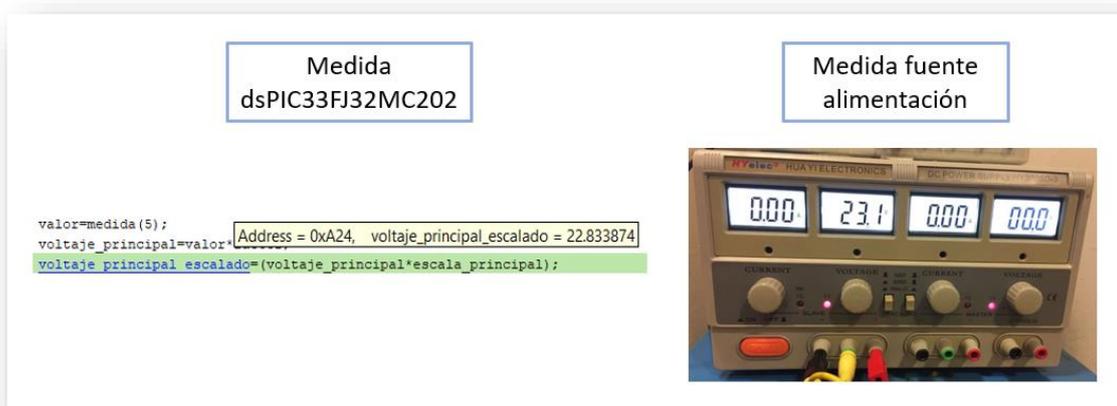


Figura 69: Comparación medida con fuente de alimentación.

No obstante, se han encontrado algunos desafíos durante la realización del proyecto como es el no haber conseguido una batería principal para el vehículo eléctrico y haber tenido que simular el sistema con una fuente de alimentación regulada a 24 V. Por este motivo, no se han podido incluir los conmutadores que se habían determinado inicialmente dado que ambos estaban relacionados directamente con la carga y descarga de la batería principal. Por esta razón, no se ha podido, por ejemplo, remarcar el punto de recarga de la batería principal según la posición del conmutador.

Otro desafío que ha tenido también lugar es que el pedido del cargador de la batería del extensor no llegase a tiempo por lo que las pruebas han tenido que realizarse con una batería de repuesto que tuviese una tensión nominal de 36V. La única diferencia entre estas dos baterías que afectaba a la hora de ensamblar el sistema en el bastidor es que al ser la batería que se había decidido utilizar inicialmente más pequeña el montaje en el



bastidor resultaba más eficiente y estable. A continuación, se adjunta una tabla que compara las dimensiones y características centrales de ambas baterías.

	<i>2P10S SAMSUNG 22P</i>	<i>SUNCARRY</i>
<i>Tipo</i>	 Litio-Ion	 Litio-Ion
<i>Capacidad</i>	4.4 Ah	10 Ah
<i>Potencia</i>	158.4 W	360 W
<i>Voltaje</i>	36V	36V
<i>Dimensiones</i>	133x60x85 mm	365x150x70 mm
<i>Peso</i>	1,5 kg	4 kg

Tabla 11: Comparación de baterías extensor de autonomía.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Conclusiones y futuros desarrollos

---



## Capítulo 8 CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

En este capítulo se definen las conclusiones obtenidas de la elaboración del proyecto y se establecen posibles líneas futuras de trabajo.

### *8.1 Conclusiones*

---

---

Durante el desarrollo del proyecto se han ido completando los diferentes objetivos que se habían establecido. En los apartados de montaje y verificación del sistema y de resultados se puede constatar mediante gráficos y fotografías el correcto funcionamiento tanto del extensor de autonomía como el de la toma de fuerza externa a pesar de no tener batería principal y simularla con una fuente de alimentación. La implementación de este proyecto muestra el gran potencial que posee la tecnología V2G y queda representada a pequeña escala en el vehículo todoterreno eléctrico que se ha fabricado y montado. Por este motivo, este TFG puede emplearse como punto de partida en la investigación y desarrollo de sistemas relacionados con la generación de la energía eléctrica a través de sistemas de almacenamiento.

Se concluye que la decisión de emplear el dsPIC como microcontrolador ha sido acertada puesto que el comportamiento con respecto al tiempo de detección de cambios en señales procedentes del sistema es apropiado para una aplicación de estas características. El dsPIC se trata también de un microcontrolador versátil puesto que proporciona numerosas

---



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Conclusiones y futuros desarrollos

---

entradas y salidas, algo fundamental para la realización de este proyecto. Además, se ha comprobado que las medidas de carga que se obtienen de la batería del extensor se realizan con precisión y de forma dinámica.

Este proyecto también ha contribuido a desarrollar una mayor capacidad y habilidad para estudiar en profundidad diversos problemas electrónicos que han ido apareciendo durante la realización del trabajo. Esto ha permitido estudiar dichos problemas y encontrar la mejor solución a los mismos.

Por otro lado, el punto de vista dado a la implementación final de este proyecto hace que un sistema revolucionario como es la tecnología V2G quede representado a pequeña escala en la maqueta que se ha desarrollado con el fin de que pueda ser utilizado en sectores de investigación.

Además, desde el enfoque de la utilización de un vehículo eléctrico como medio de transporte y como forma de almacenamiento de energía, este ofrece numerosas ventajas como son, por ejemplo, el cuidado del medio ambiente y el potencial de desarrollo de la tecnología V2G, la cual empezará a estar muy presente en la sociedad en un futuro cercano.

Debido a las diferentes tomas de energía y de los distintos mecanismos de conversión de energía electromecánica del vehículo construido, este será capaz de proporcionar energía en cualquier lugar y en cualquier momento, ofreciendo así la posibilidad de llevar suministro eléctrico a lugares con problemas de infraestructuras eléctricas.



## ***8.2 Líneas futuras de trabajo***

---

---

Dado que se trata de un vehículo robusto y estable, se cree en el potencial de este, no solo para ayudar a mejorar la eficiencia energética en países en vía de desarrollo, sino que también para funcionar como equipo de emergencia en catástrofes naturales que suman a gran parte de la población afectada a cortes prolongados de luz durante varios días. Por lo tanto, dado la gran versatilidad y potencial del vehículo, por su simplicidad, robustez y facilidad a la hora de manejarlo, se cree que este vehículo podría ser de gran utilidad para organizaciones no gubernamentales con el fin de ayudar en zonas sin acceso a la energía y que están geográficamente aisladas para mejorar su calidad de vida.

Es por este motivo por el que una posible ampliación del proyecto sería convertir dicho vehículo en anfibia u oruga mediante un añadido de superficie en las ruedas para que el vehículo puede desplazarse por todo tipo de superficies.

Otra posible mejora sería aprovechar la incorporación del microcontrolador dsPIC con el fin de incluir una pantalla LCD que permita la visualización directa de los datos, como es, por ejemplo, el nivel de carga de ambas baterías del sistema.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Impacto medioambiental

---



## Capítulo 9 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El impacto ambiental del proyecto puede ser relevante, por lo que correspondería realizar su estudio.

Los elementos electrónicos y eléctricos utilizados en este proyecto pueden llegar a ser residuos que formen parte de la chatarra electrónica, conocida como RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) [14]. Se definen los aparatos eléctricos y electrónicos como aquellos que necesitan para funcionar corriente eléctrica o campos magnéticos, destinados a ser utilizados con una tensión superior a 1500V en corriente continua. La obligación de tratar estos residuos de un modo especial viene dada por el Real Decreto 110/2015 que marca las obligaciones y responsabilidades de todos los agentes implicados, ya que los RAEE pueden ser factores nocivos para el medio ambiente y, por tanto, poner en riesgo la salud del ser humano. Estos contienen sustancias tóxicas y metales pesados, de manera que resulta imprescindible reutilizarlos en la medida de lo posible y reciclarlos.

Con respecto a la elección de fabricar un vehículo eléctrico en vez de uno de combustión en el proyecto, esta es debida a que el vehículo eléctrico es una herramienta eficaz que permite la posibilidad de empezar a controlar las emisiones de CO<sub>2</sub> y otras partículas contaminantes producidas por el sector del transporte.

No obstante, recientemente, un estudio de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología ha puesto en duda las hasta ahora irrefutables ventajas medioambientales de los vehículos eléctricos. Este estudio recoge que las fábricas de vehículos eléctricos



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Impacto medioambiental

emiten una mayor cantidad de desechos tóxicos en comparación con las fábricas de coches convencionales [15]. Además, aseguran que los componentes utilizados para la producción de las baterías y motores eléctricos son altamente tóxicos de forma que cuando se termina de fabricar el vehículo, este ha contaminado más que un automóvil de combustión.

Además, las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementan si el origen de la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los vehículos tiene como origen los combustibles fósiles, dado que un 60% del total de la electricidad que se genera a nivel mundial procede del carbón y derivados el petróleo o el gas natural [16].

Sin embargo, una gran ventaja que el uso del vehículo eléctrico puede reportar es la no emisión de ningún contaminante a la atmósfera durante su funcionamiento, por lo que esto conllevaría a reducir los niveles de contaminación del aire y repercutiría en una mejor salud de las habitantes de las ciudades. Lo ideal sería ciertamente reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> netos a la atmósfera, empleando energías renovables para la carga de los vehículos. De esta manera, el transporte podría ser totalmente alimentado por energía renovable y con prácticamente cero emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Con lo que respecta al proyecto, se ha escogido una batería de Litio-Ion puesto que los beneficios ambientales de la propulsión de coches eléctricos mediante este tipo de baterías han demostrado ser mayores de acuerdo con una investigación llevada a cabo por un centro de investigación suizo llamado Empa.

Está científicamente comprobado que el tamaño de la huella ambiental de un vehículo depende directamente de las fuentes de energía que se utilizan como combustible. Los resultados de esta investigación recogen que las baterías de Litio-Ion presentan en todo su ciclo de vida un efecto limitado sobre la contaminación causada por los vehículos eléctricos. Además, la eficiencia carga/descarga de este tipo de batería es del 80 al 90% por lo que las pérdidas en forma de calor que la batería puede experimentar son poco relevantes.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Impacto medioambiental

Este estudio muestra que las consecuencias medioambientales generadas por la actividad del transporte están dominadas por la fase de fabricación, con independencia de que se utilicen vehículos de combustión interna o eléctricos. Empa asegura que el nivel de impacto medioambiental total causado por la batería de Litio-Ion es de un 15%, según el Eco-indicador 99, siendo este un método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de un producto. Asimismo, según dicho Eco-indicador, el impacto causado por la extracción de litio para los componentes de la batería es menor del 2.3%. Sorprendentemente, la mayor contribución en la carga medioambiental causada por este tipo de baterías se encuentra en la utilización de cobre y aluminio necesario para la producción de ánodos y cátodos, junto con los cables requeridos para el ensamblaje del sistema [17].

Por lo tanto, en aplicaciones futuras, a la hora de diseñar, fabricar y montar el vehículo eléctrico todoterreno a escala real, el objetivo sería igualmente elegir componentes lo menos perniciosos posible, como lo es, por ejemplo, la batería de Litio-Ion. Otro propósito sería también aportar ideas para mejorar la eficiencia energética a través de la mejora de procesos de fabricación y de generación de energía eléctrica, dado que está comprobado que, en países como Noruega donde la mayoría de la energía eléctrica se genera de forma limpia, a través de sistemas de energías renovables, el vehículo eléctrico representa una ventaja enorme respecto al vehículo convencional, siendo el nivel de contaminación un 10% menos [15].



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Bibliografía

---



## Capítulo 10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «El País,» Septiembre 2017. [En línea]. Available: [https://elpais.com/elpais/2017/09/22/ciencia/1506075705\\_547083.html](https://elpais.com/elpais/2017/09/22/ciencia/1506075705_547083.html). [Último acceso: 2018].
- [2] «Ecoembes,» Enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/nueve-actividades-humanas-que-generan-gases-de-efecto-invernadero>. [Último acceso: 2018].
- [3] «Endesa,» Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.endesa.com/es/prensa/news/d201503-endesa-y-nissan-se-alan-para-dar-un-nuevo-impulso-a-la-movilidad-elctrica-en-europa.html>. [Último acceso: 2018].
- [4] «Wikipedia,» Noviembre 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Lunar\\_Roving\\_Vehicle](https://es.wikipedia.org/wiki/Lunar_Roving_Vehicle). [Último acceso: 2018].
- [5] «Factor Energía,» Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/tipos-de-vehiculo-electrico/>. [Último acceso: 2018].
- [6] «Nobbot,» Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.nobbot.com/general/socket-ball-balon-futbol-genera-energia/>. [Último acceso: 2018].
- [7] «Nuru Energy,» Enero 2018. [En línea]. Available: <http://www.nuruenergy.org/products/>. [Último acceso: 2018].
- [8] «Eco inventos,» Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://ecoinventos.com/watt-r-solar/>. [Último acceso: 2018].
- [9] E. Unidos and J. D. Power, «Autos híbridos,» 2015.
- [10] «Wikipedia,» Abril 2018. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_corriente\\_continua](https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua). [Último acceso: 2018].



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Bibliografía

---

- [11] «Microchip dsPIC33FJ32MC202 Data Sheet.» Microchip Technology Inc, 2008 . [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70141e.pdf>. [Último acceso: 2018].
- [12] «Microchip MPLAB C30 Compiler User's Guide,» 2008. [En línea]. Available: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB%20C30%20UG\\_DS-51284f.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB%20C30%20UG_DS-51284f.pdf). [Último acceso: 2018].
- [13] A. S. Miralles, Sistemas Electrónicos Digitales.
- [14] «Gobierno de España,» Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/aparatos-electr/>. [Último acceso: 2018].
- [15] «Inesem,» Octubre 2012. [En línea]. Available: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/los-coches-electricos-y-su-impacto-sobre-el-medioambiente/>. [Último acceso: 2018].
- [16] «Energía solar,» Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles>. [Último acceso: 2018].
- [17] «Empa,» Agosto 2010. [En línea]. Available: <https://www.empa.ch/web/s604/batterien>. [Último acceso: 2018].



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

---

# **PARTE II**

# ***PRESUPUESTO***



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

---



## Capítulo 1 MEDICIONES

### 1.1 Componentes

---

<i>Componente</i>	<i>Cantidad [Uds.]</i>
Motor 36V, 500W	2
Motor 36V, 300W	1
Batería 36V, 158Wh	1
Cargador 42V, 2ª	1
Caja electrónica ABS	1
Conmutador 2 posiciones	1
Conmutador 3 posiciones	1
Driver Puente H, 36VDC, 15A	2
Cable [m]	2
Abrazadera apriete de tornillo	2
Tubo PVC transparente	1
Pulsador	5
Potenciómetro	2
Resistencia 100 $\Omega$	4
Resistencia 10 K $\omega$	5
Resistencia 560 k $\Omega$	1
Resistencia 82 k $\Omega$	1
Resistencia 6.2 M $\Omega$	1
Resistencia 470 k $\Omega$	1
LED verde	2



---

LED rojo	1
LED amarillo	1
Bastidor	1
Ballestas	4
Soporte ruedas	4

*Tabla 12:* Mediciones de componentes.

## ***1.2 Equipos y herramientas***

---

<b><i>Componente</i></b>	<b><i>Cantidad [Uds.]</i></b>
Ordenador	1
Estación de soldadura	1
Tenazas y otras herramientas	1
Polímetro	1
Cable USB	2
Protoboard	1
Fuente de alimentación	1

*Tabla 13:* Mediciones de equipo y herramientas.



### 1.3 Software

---

---

<i>Programa</i>	<i>Horas de proyecto</i>
MPLAB X IDE v4.01	50
KiCad	15
Microsoft Office	90

Tabla 14: Mediciones de software.

### 1.4 Mano de obra

---

---

<i>Tarea</i>	<i>Horas</i>
Anteproyecto	65
Diseño	100
Montaje	20
Programación	60
Documentación	90

Tabla 15: Mediciones de la mano de obra.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Precios unitarios

---



## Capítulo 2 PRECIOS UNITARIOS

### 2.1 Componentes

<i>Componente</i>	<i>Precio unitario [€/ud.]</i>
Motor 36V, 500W	102,45
Motor 36V, 300W	109,79
Batería 36V, 158Wh	59,00
Cargador 42V, 2 <sup>a</sup>	18,86
Caja electrónica ABS	13,49
Conmutador 2 posiciones	10,25
Conmutador 3 posiciones	10,25
Driver Puente H, 36VDC, 15A	19,99
Cable [m]	0,23
Abrazadera apriete de tornillo	1,22
Tubo PVC transparente	0,87
Pulsador	0,22
Potenciómetro	0,27
Resistencia 100 $\Omega$	0,03
Resistencia 10 k $\Omega$	0,03
Resistencia 560 k $\Omega$	0,03
Resistencia 82 k $\Omega$	0,03
Resistencia 6.2 M $\Omega$	0,03
Resistencia 470 k $\Omega$	0,03
LED verde	0,13



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Precios unitarios

---

LED rojo	0,13
LED amarillo	0,13
Bastidor	251,52
Ballestas	20,96
Soporte ruedas	89,61

Tabla 16: Precios unitarios de componentes.

## 2.2 Equipos y herramientas

---

<i>Componente</i>	<i>Precio unitario [€/ud.]</i>
Ordenador	1049,00
Estación de soldadura	88,86
Tenazas y otras herramientas	8,14
Polímetro	8,95
Cable USB	1,00
Protoboard	24,95

Tabla 17: Precios unitarios de equipo y herramientas.



## 2.3 Software

<i>Programa</i>	<i>Precio unitario [€/ud.]</i>
MPLAB X IDE v4.01	Software libre
KiCad	Software libre
Microsoft Office	99,00

Tabla 18: Precios unitarios de software.

## 2.4 Mano de obra

<i>Tarea</i>	<i>Precio unitario [€/hora]</i>
Anteproyecto	20
Diseño	30
Montaje	15
Programación	25
Documentación	20

Tabla 19: Precios unitarios de la mano de obra.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Sumas parciales

---



## Capítulo 3 SUMAS PARCIALES

### 3.1 Componentes

<i>Componente</i>	<i>Cantidad [Uds.]</i>	<i>Precio unitario [€/ud.]</i>	<i>Total [€]</i>
Motor 36V, 500W	2	102,45	204,9
Motor 36V, 300W	1	109,79	109,79
Batería 36V, 158Wh	1	59,00	59,00
Cargador 42V, 2ª	1	18,86	18,86
Caja electrónica ABS	1	13,49	13,49
Conmutador 2 posiciones	1	10,25	10,25
Conmutador 3 posiciones	1	10,25	13,49
Driver Puente H, 36VDC, 15A	2	19,99	39,98
Cable [m]	2	0,23	0,46
Abrazadera apriete de tornillo	2	1,22	2,44
Tubo PVC transparente	1	0,87	0,87
Pulsador	5	0,22	1,10
Potenciómetro	2	0,27	0,54
Resistencia 100 $\Omega$	4	0,03	0,12
Resistencia 10 k $\Omega$	5	0,03	0,15
Resistencia 560 k $\Omega$	1	0,03	0,03
Resistencia 82 k $\Omega$	1	0,03	0,03
Resistencia 6.2 M $\Omega$	1	0,03	0,03



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Sumas parciales

Resistencia 470 kΩ	1	0,03	0,03
LED verde	2	0,13	0,26
LED rojo	1	0,13	0,13
LED amarillo	1	0,13	0,13
Bastidor	1	251,52	251,52
Ballestas	4	20,96	83,84
Soporte ruedas	4	89,61	358,44
		<b>TOTAL</b>	<b>1169,88</b>

*Tabla 20: Sumas parciales de los componentes.*

### ***3.2 Equipos y herramientas***

<b><i>Componente</i></b>	<b><i>Cantidad [Uds.]</i></b>	<b><i>Precio unitario [€/ud.]</i></b>	<b><i>Total [€]</i></b>
Ordenador	1	1049,00	1049,00
Estación de soldadura	1	88,86	88,86
Tenazas y otras herramientas	1	8,14	8,14
Polímetro	1	8,95	8,95
Cable USB	2	1,00	2,00
Protoboard	1	24,95	24,95
		<b>TOTAL</b>	<b>1181,9</b>

*Tabla 21: Sumas parciales de los equipos y herramientas.*



### 3.3 Software

<i>Programa</i>	<i>Precio unitario [€/ud.]</i>
MPLAB X IDE v4.01	Software libre
KiCad	Software libre
Microsoft Office	99,00
<b>TOTAL</b>	<b>99,00</b>

Tabla 22: Sumas parciales del software.

### 3.4 Mano de obra

<i>Tarea</i>	<i>Horas</i>	<i>Precio unitario [€/hora]</i>	<i>Total [€]</i>
Anteproyecto	65	20	1300
Diseño	100	30	3000
Montaje	20	15	300
Programación	60	25	1200
Documentación	90	20	1800
		<b>TOTAL</b>	<b>7600</b>

Tabla 23: Sumas parciales de la mano de obra.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

---



## Capítulo 4 PRESUPUESTO GENERAL

<i>Concepto</i>	<i>Coste [€]</i>
Componentes	1169,88
Equipos y herramientas	1181,9
Software	99,00
Mano de obra	7600,00
<b><i>TOTAL</i></b>	<b><i>10.050,80</i></b>

*Tabla 24:* Presupuesto general.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

---



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

---

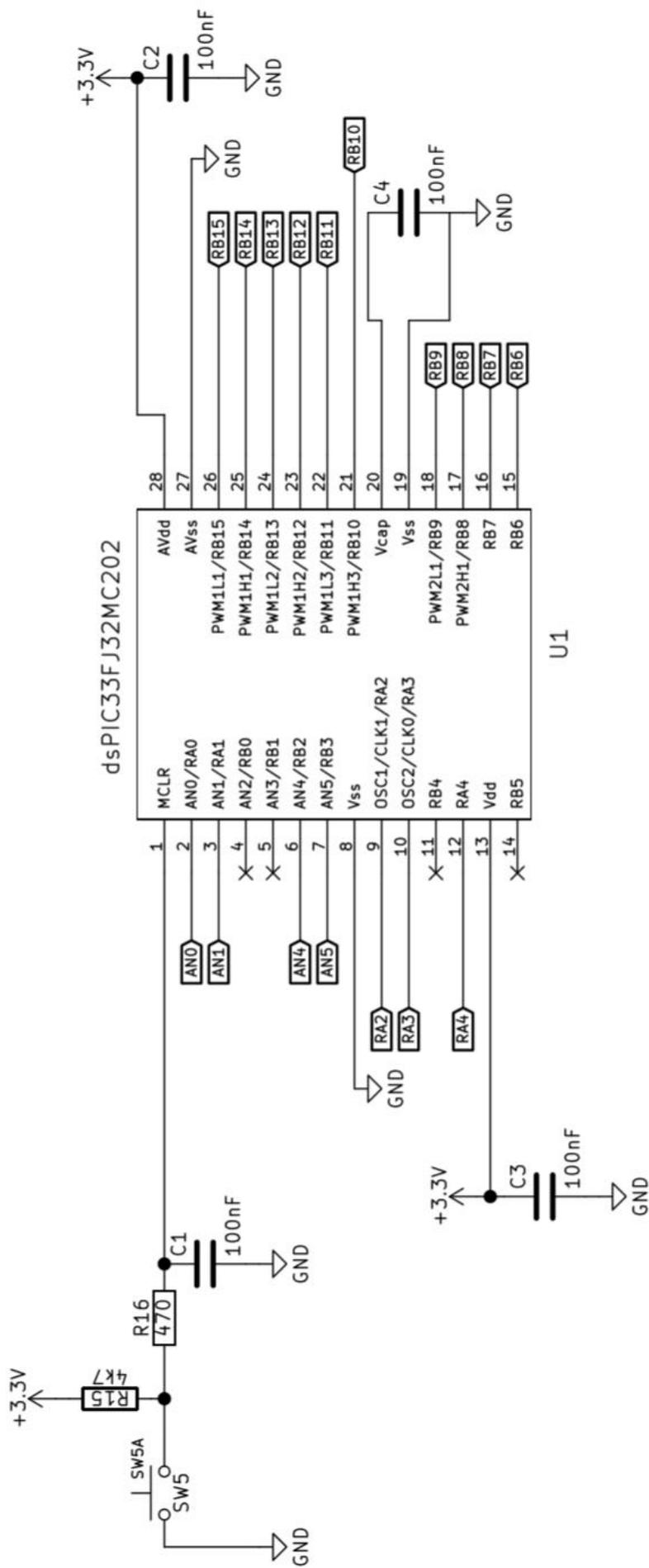
# **PARTE III**

# ***PLANOS***



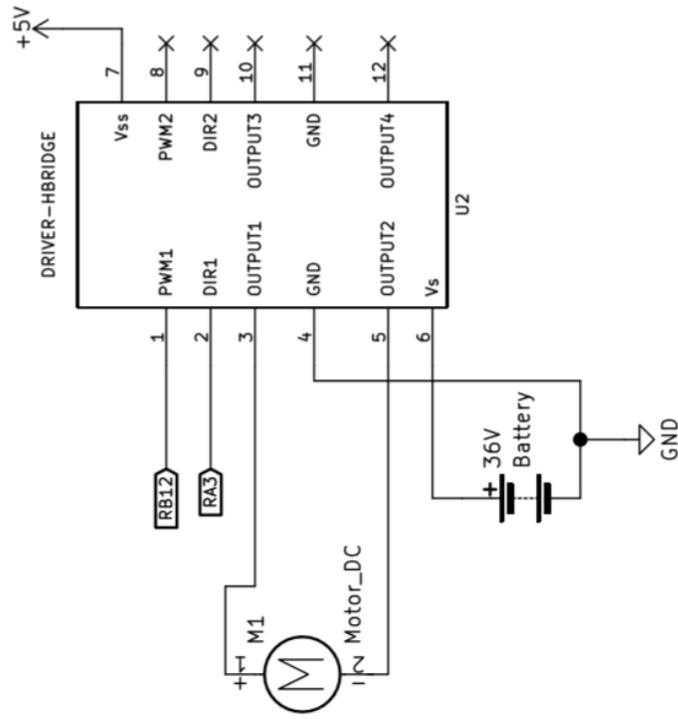
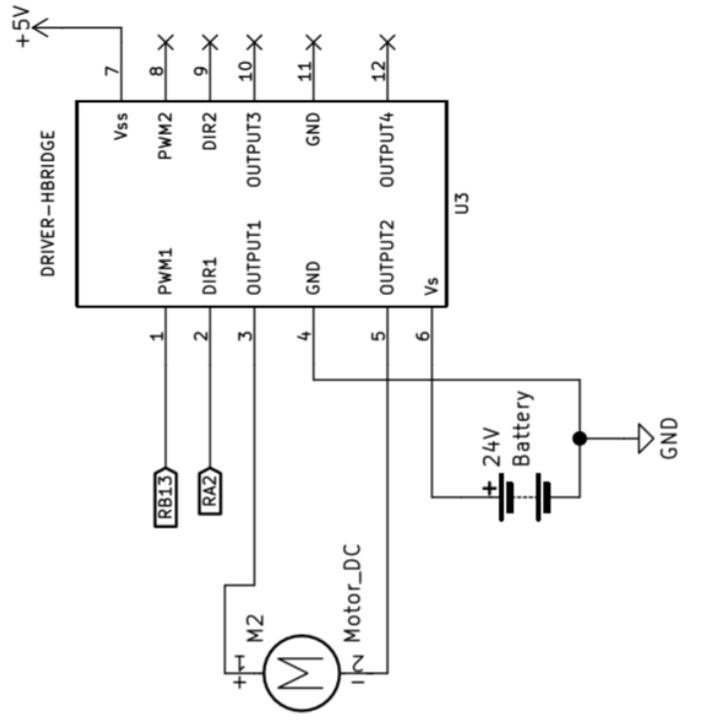
**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

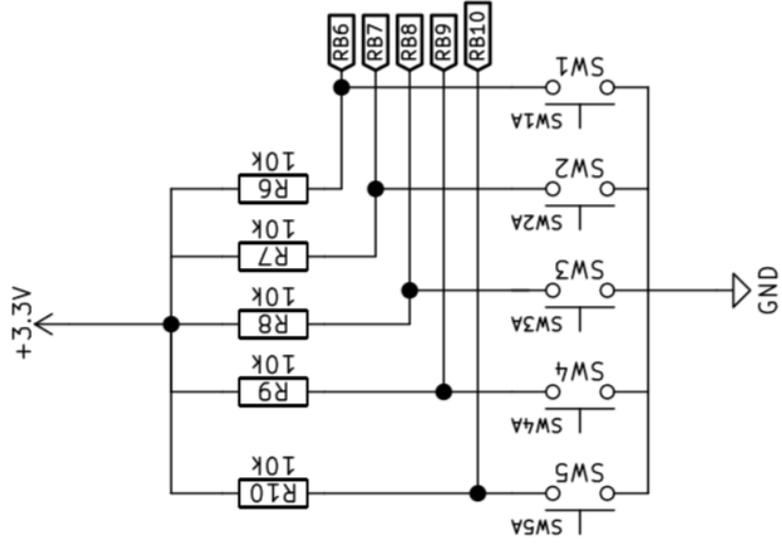


TÍTULO: Conexión de dsPIC33FJ32MC202

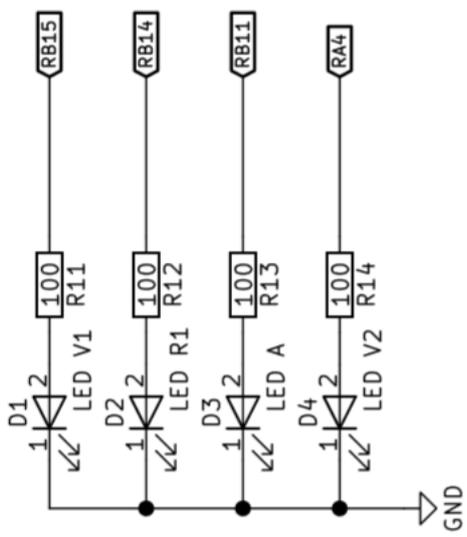




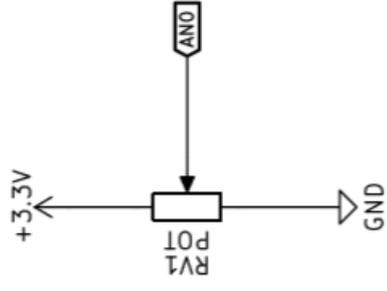
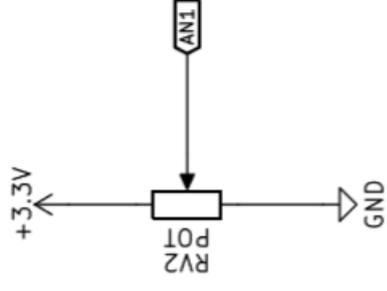
**TÍTULO:** Conexionado drivers



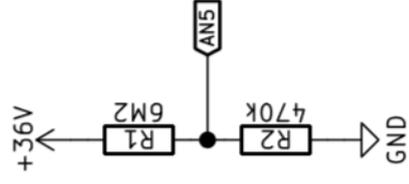
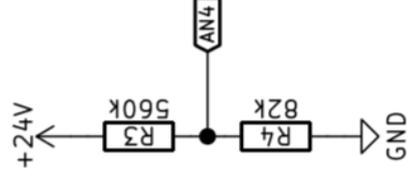
**TÍTULO:** Conexionado pulsadores



**TÍTULO:** Conexionado LEDs



**TÍTULO:** Conexión de potenciómetros



**TÍTULO:** Conexión de divisores de tensión





UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

---

# PARTE IV

# *CÓDIGO FUENTE*



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Código fuente

---



## Capítulo 1 CÓDIGO FUENTE

### 1.1 AD.c

```
#include "ad.h"
#include "config.h"

//Inicialización del convertidor AD
void init_ad(int pines,int n_pines){

    TRISB |= (pines & 0x3F)>>2;
    TRISA |= pines & 3;
    AD1PCFGL = ~pines;
    AD1CSSL = pines;
    AD1CON3 = 0x105;
    AD1CON2 = 0x0400 | (n_pines <<2);
    AD1CON1 = 0x80E4;
    IFS0 &=~0x2000;
    IEC0 |=0x2000;

}

int resultado[6]={0,0,0,0,0,0};

void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _ADC1Interrupt(void){

    IFS0&=~0x2000;
    int* p;
    int i;
    p=0x300;
    for(i=0;i<6;i++){
        resultado[i]=p[i];
    }

}

//Función que devuelve el valor de la entrada medida
int medida(int pin){

    return resultado[pin];
}
```



## 1.2 Pwm.c

---

```
#include "config.h"  
#include "ad.h"  
#include "encendidoapagado.h"  
#include "pwm.h"
```

```
int PWM[2]={0,0};  
int pinB=0;  
int activo[2]={0,0};  
int res[2]={0,0};  
int tick=0;
```

```
//Inicialización timer PWM
```

```
void init_PWM() {
```

```
    TMR1=0;  
    PR1 = 400;  
    IFS0 &= ~8;  
    IEC0 &= ~8;  
    T1CON = 0x8000;
```

```
}
```

```
//Función que habilita el PWM
```

```
void habilita_pwm(int pin) {
```

```
    IEC0|=8;  
    res[pin]=medida(pin);  
    PWM[pin]=0;  
    activo[pin]=1;
```

```
}
```



```
//Función que deshabilita el PWM
```

```
void para_pwm(int pin){
```

```
    if (activo[pin]==1){  
        PWM[pin]=medida(pin);  
        activo[pin]=0;  
    }
```

```
}
```

```
//Función que gestiona la puesta en marcha y paro de los PWM
```

```
void actua_pwm(int pin){
```

```
    if (activo[pin]==1) { //Si se habilita el PWM, entra en este bucle
```

```
        if (PWM[pin]<res[pin]) { //En el caso de que el potenciómetro no este a cero,  
            //el motor se pone en marcha de manera gradual
```

```
            if (tick>=1000){  
                PWM[pin]++;  
                tick=0;
```

```
            }
```

```
        }
```

```
        if(PWM[pin]>=res[pin]){  
            res[pin]=0;  
            PWM[pin]=medida(pin);
```

```
        }
```

```
    }
```



```
if (activo[pin]==0) { //Si se deshabilita el PWM, entra en este bucle

    while(PWM[pin]>0) { //El motor disminuye de velocidad de manera gradual
        //hasta pararse
    }
    if (tick>=1000) {
        PWM[pin]--;
        tick=0;
    }
}
PORTB&=~(1<<(12+pin));
}

}

//Rutina de interrupción que gestiona las señales de PWM
void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _T1Interrupt(void) {

    IFS0&=~8; //Limpieza de flag
    tick++;
    static int cont=0;
    int i=0;

    for (i=0; i<2; i++){

        if(cont<(((PWM[i])&0x03FF))){
            PORTB|=(1<<(12+i)); //Señales en RB12 y RB13

        }
        else{
            PORTB&=~(1<<(12+i));

        }
        cont++;

        if(cont>=0x03FF){
            cont=0;
        }
    }
}
```



### 1.3 *Toma\_de\_fuerza.c*

---

```
#include "config.h"
#include "ad.h"
#include "pulsador.h"
#include "encendidoapagado.h"
#include "pwm.h"
#include "toma_de_fuerza.h"

void funcionamiento_toma(){

    if(hay_flanco(1)==1){ //Giro 1 motor

        habilita_pwm(1);
        salidaB(13); //PWM en RB13

        salidaA(2);
        puestaaunoA(2); //DIR 1
    }

    else if (hay_flanco(2)==1){ //Paro motor

        para_pwm(1);
        salidaB(13);

    }

}
```



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**(ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

Código fuente

---

```
else if (hay_flanco(3)==1){ //Giro 2 motor
```

```
    habilita_pwm(1);  
    salidaB(13); //PWM en RB13
```

```
    salidaA(2);  
    puestaaceroA(2); //DIR 2
```

```
}
```

```
}
```



---

## 1.4 Pulsador.c

---

```
#include "config.h"
#include "pulsador.h"

static int ant[5] = {1, 1, 1, 1, 1};

int hay_flanco(int pin){

    int act[5];
    int pulso;

    if (pin == 0) {
        act[pin] = ((PORTB & 0x40) >> 6);
    } else if (pin == 1) {
        act[pin] = ((PORTB & 0x80) >> 7);
    } else if (pin == 2) {
        act[pin] = ((PORTB & 0x100) >> 8);
    }
    else if (pin == 3) {

        act[pin] = ((PORTB & 0x0200) >> 9);
    }
    else if (pin == 4) {
        act[pin] = ((PORTB & 0x0400) >> 10);
    }

    if (ant[pin] != act[pin] && act[pin] == 0) {
        pulso = 1;
    }
    else {
        pulso = 0;
    }

    ant[pin] = act[pin];

    return pulso;
}
```



## 1.5 *Parpadeo.c*

---

```
#include "config.h"

int pinB1;

void init_parpadeo(int pin){

    TRISB&= ~(1<<pin); //Configura salida
    pinB1=pin;
    TMR2 = 0; //Configura el timer
    PR2 = 40000;
    IFS0 &= ~0x0080;
    IEC0 &= ~0x0080;
    T2CON = 0x8000;
}

void habilita_parpadeo(int pin){

    IEC0 |= 0x0080; //Se habilita la interrupción
}

void deshabilita_parpadeo(int pin){

    IEC0 &= ~0x0080;
    PORTB&= ~(1<<pin);

}

int n_seg=0;
void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _T2Interrupt(void){
    IFS0 &= ~0x0080;
    int n_seg=0;
    n_seg++;

    if(n_seg ==1000){
        PORTB ^=(1<<pinB1); //Parpadeo cada segundo
        n_seg=0;
    }
}
```



---

## 1.6 Puertos.c

---

```
#include "config.h"
#include "puertos.h"

void puestaaunoB(int pin){
    PORTB |= (1<<pin);
}

void puestaaceroB(int pin){
    PORTB &=~(1<<pin);
}

void salidaB(int pin){
    TRISB&=~(1<<pin); //Configura salida en el registro B
}

void entradaB(int pin){
    TRISB |= (1<<pin); //Configura entrada en el registro B
}

void puestaaunoA(int pin){
    PORTA |= (1<<pin);
}

void puestaaceroA(int pin){
    PORTA &=~(1<<pin);
}

void salidaA(int pin){
    TRISA &=~(1<<pin); //Configura salida en el registro A
}

void salidaA(int pin){
    TRISA &=~(1<<pin); //Configura salida en el registro A
}

void entradaA(int pin){
    TRISA |= (1<<pin); //Configura entrada en el registro A
}
```



## 1.7 Uart.c

```
#include "uart.h"
#include "encendidoapagado.h"

static char uc_cola_transmision[TAM_TR_UART];
static char uc_cola_recepcion[TAM_REC_UART];
static unsigned int ui_icabeza_tr = 0;
static unsigned int ui_icola_tr = 0;
static unsigned int ui_icabeza_rec = 0;
static unsigned int ui_icola_rec = 0;

// Inicialización de la UART
void InicializarUART(void) {
    entradaB(14);
    salidaB(11);
    U1BRG = (FCY/BAUDRATE)/16 - 1;
    U1MODEbits.STSEL = 0;
    U1MODEbits.PDSEL = 0;
    U1MODEbits.ABAUD = 0;
    U1MODEbits.UARTEN = 1;
    U1STAbits.UTXISEL1 = 1;
    U1STAbits.URXISEL = 0;
    U1STAbits.UTXEN = 1;
    IPC3bits.U1TXIP = PR_INT_TX_UART;
    IPC2bits.U1RXIP = PR_INT_RX_UART;
    IFS0bits.U1TXIF = 0;
    IFS0bits.U1RXIF = 0;
    IEC0bits.U1TXIE = 1;
    IEC0bits.U1RXIE = 1;
}

// Función que coloca un dato en la cola de transmisión
void PonerEnColaTransmisionUART(unsigned char uc_caracter) {
    uc_cola_transmision[ui_icabeza_tr] = uc_caracter;
    ui_icabeza_tr++;
    if (ui_icabeza_tr == TAM_TR_UART)
        ui_icabeza_tr = 0;
}
```



```
// Función que obtiene un dato de la cola de transmisión
// y gestiona el rebose del índice
unsigned char SacarDeColaTransmisionUART(void){
    unsigned char uc_caracter;
    uc_caracter = ucColaTransmision[uiColaTr]; uiColaTr++;
    if (uiColaTr == TAM_TR_UART)
        uiColaTr = 0;
    return uc_caracter;
}
```

```
// Función que coloca un dato en la cola de recepción
// y gestiona el rebose del índice
void PonerEnColaRecepcionUART(unsigned char uc_caracter) {
    ucColaRecepcion[uiIcabezaRec] = uc_caracter;
    uiIcabezaRec++;
    if (uiIcabezaRec == TAM_REC_UART)
        uiIcabezaRec = 0;
}
```

```
//Función que obtiene un dato de la cola de recepción
// y gestiona el rebose del índice
unsigned char SacarDeColaRecepcionUART(){
    unsigned char uc_caracter;
    uc_caracter = ucColaRecepcion[uiColaRec];
    uiColaRec++;
    if (uiColaRec == TAM_REC_UART)
        uiColaRec = 0;
    return uc_caracter;
}
```



```
// Función que envía a la cola de transmisión
void Transmite(void) {
    IFS0bits.U1TXIF = 1; // Borrar la bandera de la interrupción
}

// Rutina de atención a interrupción de transmisión
void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _U1TXInterrupt(void) {
    IFS0bits.U1TXIF = 0; // Borrar la bandera de la interrupción
    if (ui_icola_tr != ui_icabeza_tr)
        U1TXREG = SacarDeColaTransmisionUART();
}

//Rutina de atención a interrupción de recepción
void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _U1RXInterrupt(void){
    IFS0bits.U1RXIF = 0; // Borrar la bandera de la interrupción
    PonerEnColaRecepcionUART(U1RXREG);
}

// Función que indica si hay algo disponible en la cola de recepción
int HayAlgoRecibido(void) {
    return (ui_icola_rec != ui_icabeza_rec);
}
```



## 1.8 Fichero main máquina de estados

```
#include "config.h"
#include "ad.h"
#include "pulsador.h"
#include "puertos.h"
#include "pwm.h"
#include "toma_de_fuerza.h"
#include "uart.h"
#include "parpadeo.h"
// -----
// ----- BITS DE CONFIGURACION -----
// -----

// 1. Eliminar el segmento de arranque flash
// 2. Permitir la escritura del segmento de arranque flash
_FBS(BSS_NO_BOOT_CODE & BWRP_WRPTECT_OFF);

// 1. No proteger la memoria de programa contra escritura
// 2. No proteger el código
_FGS(GWRP_OFF & GCP_OFF);

// 1. Utilizar el oscilador interno (FRC) en el arranque
// 2. Arrancar directamente con el oscilador seleccionado
_FOSCSEL(FNOSC_FRC & IESO_OFF);

// 1. Permitir la conmutación del reloj y deshabilitar la monitorización de fallos
// 2. Desactivar el oscilador primario
// 3. Utilizar el oscilador secundario como entrada y salida digital
// 4. Permitir múltiples remapeos de los pines
_FOSC(FCKSM_CSECMD & POSCMD_NONE & OSCIOFNC_ON & IOL1WAY_OFF);

// 1. Permitir la deshabilitación del watchdog timer
// poniendo a 0 el bit SWDTEN del registro RCON
_FWDT(FWDTEN_OFF);
```



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Código fuente

```
// 1. Esperar 128 ms y resetear el microcontrolador al enchufar la alimentación
// 2. Controlar los pines de PWM desde el registro PORT al arrancar
// 3. Los pines PWM high están activos a nivel alto
// 4. Los pines PWM low están activos a nivel alto
// 5. Utilizar los pines estándar (SDA1 y SCL1) para el I2C
_FPOR(FPWRT_PWR128 & PWMPIN_ON & HPOL_ON & LPOL_ON & ALTI2C_OFF);

// 1. Programar y depurar a través de los pines PGC1 y PGD1
// 2. Desactivar el interfaz para JTAG
_FICD(ICS_PGD1 & JTAGEN_OFF);

#define FCY 39613750

int main(void){

    InicializarReloj();
    RemapeaPerifericos();

    ADPCFG = 0xFFFF;
    TRISB=0xFFFF;
    PORTB=0x00FF;

    salidaB(12);
    salidaB(13);

    init_PWM();
    init_ad(0x3F,6);
    init_parpadeo(11);

    int estado=0;
    int valor=0;
    int valor_extensor=0;
```



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Código fuente

---

```
float voltaje_principal=0;
float voltaje_principal_escalado=0;

float factor=0.003226;
float escala_principal=8.34483;

float voltaje_extensor=0;
float voltaje_extensor_escalado=0;
float escala_extensor= 21.5873;

while(1){

actua_pwm(0);
actua_pwm(1);

funcionamiento_toma();

valor=medida(5);
voltaje_principal=valor*factor;
voltaje_principal_escalado=voltaje_principal*escala_principal;

valor_extensor=medida(4);
voltaje_extensor=valor_extensor*factor;
voltaje_extensor_escalado=voltaje_extensor*escala_extensor;
```



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Código fuente

---

```
if(estado==0){  
  
if(voltaje_principal_escalado>=21){  
  
salidaB(15);  
puestaaunoB(15);  
  
puestaaceroB(14);  
puestaaceroA(4);  
}  
  
if (voltaje_principal_escalado<21 && voltaje_principal_escalado >=18){  
  
salidaB(14);  
puestaaunoB(14);  
  
puestaaceroB(15);  
puestaaceroA(4);  
}  
  
if(voltaje_principal_escalado>0 && voltaje_principal_escalado<18 && voltaje_extensor_escalado >=32){  
  
salidaB(11);  
deshabilita_parpadeo(11);  
  
salidaA(4);  
puestaaunoA(4);  
  
puestaaceroB(15);  
puestaaceroB(14);  
  
habilita_pwm(0);  
estado=1;  
}  
}
```



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Código fuente

---

```
if(voltaje_extensor_escalado > 0 && voltaje_extensor_escalado < 32){  
    salidaB(11);  
    habilita_parpadeo(11);  
    estado=2;  
}  
  
}  
  
else if(estado==1){  
    salidaA(4);  
    puestaaunoA(4);  
  
    salidaA(3);  
    puestaaunoA(3);  
  
    if (hay_flanco(0)== 1){  
        estado=2;  
    }  
}
```



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Código fuente

---

```
if(voltaje_extensor_escalado > 0 && voltaje_extensor_escalado < 32){  
  
    salidaB(11);  
    habilita_parpadeo(11);  
    estado=2;  
}  
  
if (voltaje_principal_escalado>=21){  
  
    para_pwm(0);  
    estado=0;  
}  
  
}  
  
else if (estado==2){  
  
    para_pwm(0);  
    salidaB(12);  
  
    if(hay_flanco(4)==1){  
  
        estado=0;  
    }  
  
}  
  
}  
  
return 0;  
}
```



## 1.9 Fichero main UART

```
#include "config.h"
#include "ad.h"
#include "pulsador.h"
#include "puertos.h"
#include "pwm.h"
#include "toma_de_fuerza.h"
#include "uart.h"
#include "parpadeo.h"
// -----
// ----- BITS DE CONFIGURACION -----
// -----

// 1. Eliminar el segmento de arranque flash
// 2. Permitir la escritura del segmento de arranque flash
_FBS(BSS_NO_BOOT_CODE & BWRP_WRPROTECT_OFF);

// 1. No proteger la memoria de programa contra escritura
// 2. No proteger el código
_FGS(GWRP_OFF & GCP_OFF);

// 1. Utilizar el oscilador interno (FRC) en el arranque
// 2. Arrancar directamente con el oscilador seleccionado
_FOSCSEL(FNOSC_FRC & IESO_OFF);

// 1. Permitir la conmutación del reloj y deshabilitar la monitorización de fallos
// 2. Desactivar el oscilador primario
// 3. Utilizar el oscilador secundario como entrada y salida digital
// 4. Permitir múltiples remapeos de los pines
_FOSC(FCKSM_CSECMD & POSCMD_NONE & OSCIOFNC_ON & IOL1WAY_OFF);

// 1. Permitir la deshabilitación del watchdog timer
// poniendo a 0 el bit SWDTEN del registro RCON
FWDT(FWDTEN OFF);
```



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Código fuente

---

```
// 1. Esperar 128 ms y resetear el microcontrolador al enchufar la alimentación
// 2. Controlar los pines de PWM desde el registro PORT al arrancar
// 3. Los pines PWM high están activos a nivel alto
// 4. Los pines PWM low están activos a nivel alto
// 5. Utilizar los pines estándar (SDA1 y SCL1) para el I2C
_FPOR(FPWRT_PWR128 & PWMPIN_ON & HPOL_ON & LPOL_ON & ALTI2C_OFF);

// 1. Programar y depurar a través de los pines PGC1 y PGD1
// 2. Desactivar el interfaz para JTAG
_FICD(ICS_PGD1 & JTAGEN_OFF);

#define FCY 39613750

int main(void){

    InicializarReloj();
    RemapeaPerifericos();

    ADPCFG = 0xFFFF;
    TRISB=0xFFFF;
    PORTB=0x00FF;

    salidaB(12);
    salidaB(13);

    init_PWM();
    init_ad(0x3F,6);
    InicializarUART();

    int estado=0;
    unsigned char mensaje;
    unsigned int dato=0;
    unsigned int porcentaje_principal=0;
```



```
while(1){  
  
actua_pwm(0);  
actua_pwm(1);  
  
funcionamiento_toma();  
  
if(estado==0){  
  
    if (HayAlgoRecibido()) {  
  
        mensaje = SacarDeColaRecepcionUART();  
  
        dato = (((int)mensaje)&0x00FF);  
  
        porcentaje_principal= (int)((((dato-30)*100)/(36-30)) ;  
  
        PonerEnColaTransmisionUART(porcentaje_principal);  
        Transmite();  
  
    }  
  
    if(porcentaje_principal>=70){  
  
        salidaB(15);  
        puestaaunoB(15);  
  
        puestaaceroB(14);  
        puestaaceroA(4);  
    }  
}
```



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

Código fuente

---

```
if (porcentaje_principal<70 && porcentaje_principal >=50){  
  
    salidaB(14);  
    puestaaunoB(14);  
  
    puestaaceroB(15);  
    puestaaceroA(4);  
}  
  
    if(porcentaje_principal>0 && porcentaje_principal<50){  
  
        salidaA(4);  
        puestaaunoA(4);  
  
        puestaaceroB(15);  
        puestaaceroB(14);  
  
        habilita_pwm(0);  
        estado=1;  
    }  
  
}
```



```
else if(estado==1){  
  
    if (HayAlgoRecibido() {  
  
        mensaje = SacarDeColaRecepcionUART();  
  
        dato = (((int)(mensaje))&0x00FF);  
  
        porcentaje_principal= (int)((((dato-30)*100)/(36-30)) ;  
  
        PonerEnColaTransmisionUART(porcentaje_principal);  
        Transmite();  
    }  
  
    salidaB(12);  
    salidaA(3);  
    puestaaceroA(3);  
  
    salidaA(4);  
    puestaaunoA(4);  
  
    if (hay_flanco(0)== 1){  
  
        estado=2;  
    }  
}
```



```
if (porcentaje_principal >= 70) {  
  
    para_pwm(0);  
    estado = 0;  
}  
  
}  
  
else if (estado == 2) {  
  
    para_pwm(0);  
    salidaB(12);  
  
    if (hay_flanco(4) == 1) {  
  
        estado = 0;  
    }  
  
}  
  
}  
  
return 0;  
  
}
```