



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

**Implementación de un control de tracción  
2x2 en un vehículo prototipo**

**Autor:**

**JIMÉNEZ PERALTA, ROBERTO**

**Tutor:**

**DOMÍNGUEZ VÁZQUEZ, JOSÉ  
ANTONIO**

**Tecnología Electrónica**

**Valladolid, julio de 2017.**



A mi familia y mis amigos, pero en especial, quiero dedicárselo a una persona que se fue y sé que seguro que está muy orgullo de lo que ha dejado.

Por el apoyo en los momentos difíciles y su cariño.

*“El mejor guerrero no es el que triunfa siempre, sino el que vuelve sin miedo a la batalla”*



## RESÚMEN Y PALABRAS CLAVE:

---

Con este trabajo final de grado, lo que se ha conseguido, es retomar un proyecto anterior (Diseño eléctrico y electrónico de una motocicleta eléctrica infantil 2x2) para terminarlo, corrigiendo todos los aspectos mejorables que en la revisión se han detectado para poder construir dicho prototipo funcional.

Para su control se ha usado el microcontrolador Arduino basado en el ATmega 328, provisto de sensores hall para determinar la velocidad de las ruedas y la posición del acelerador.

Se ha llevado a cabo la placa de circuito impreso, el diseño de la envolvente donde contendrá dicha placa y además una corrección en el control del vehículo. Para el almacenamiento de energía se han usado ultracondensadores (se ha usado este tipo de almacenaje de energía por tenerlos ya comprados y así poder aprovecharlo).

**Palabras clave:** Control de tracción 2x2, interfaz hombre-máquina, HMI, vehículo eléctrico ligero, arduino.

## ABSTRACT AND KEYWORDS:

---

The aim of this final degree work is to complete a previous project (Electric and electronic design of a children's 2x2 electric motorcycle), correcting all errors and adding improvements that in the review were detected to build a functional prototype.

For the electric motorcycle's control, it was used the Arduino microcontroller which is based on the ATmega 328, equipped with HALL sensors to determine wheel speed and the throttle position.

We built the Printed Circuit Board (PCB), the design of the box which contain this PCB and an improvement in the software and hardware of control of the vehicle. Furthermore, for the energy storage has been used some ultra-capacitors (this kind of storage was used because the ultra-capacitors were already purchased).

**Keyword:** 2x2 traction control, Human-Machine Interface, HMI, Electric light vehicle, Arduino.





## ÍNDICE GENERAL:

---

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS:.....	17
1.1	INTRODUCCIÓN:.....	17
1.2	OBJETIVOS:.....	18
2	ESTADO DEL ARTE:.....	19
2.1	RESEÑA HISTÓRICA:.....	19
2.2	TÉCNICA ACTUAL EN LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS: .....	20
2.2.1	TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ACTUALIDAD: .....	22
2.3	HISTORIA DE LA MOTO ELÉCTRICA:.....	24
2.4	FUENTES DE ENERGÍA DE LA MOTO ELÉCTRICA:.....	26
2.5	MOTOS ELÉCTRICAS INFANTILES EXISTENTES: .....	26
2.6	VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS DE DOS RUEDAS: .....	27
2.6.1	SEGWAY: .....	27
2.6.2	MOTOS DE TRIAL/CROSS CON TRACCIÓN 2x2: .....	28
2.6.3	GIROCOCHES O MOTOS DE CARROCERÍA CERRADA:.....	30
2.6.4	PATINETES ELÉCTRICOS CON TRACCIÓN ELÉCTRICA:.....	32
2.7	VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS DE TRES RUEDAS:.....	33
2.7.1	VEHÍCULOS DESTINADOS A DRIFTING:.....	33
2.7.2	TRICICLOS ELÉCTRICOS PARA PERSONAS DE MOVILIDAD REDUCIDA:.....	34
2.8	INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA:.....	35
3	TEORÍA: .....	37
3.1	ULTRACONDENSADORES:.....	37
3.2	SENSORES HALL RUEDAS: .....	39
3.3	SENSOR HALL LINEAL: .....	40
3.4	MOTORES BRUSHLESS: .....	40
3.5	INVERSORES DC/AC:.....	42
3.6	CONTROL DEL SISTEMA:.....	43
4	DESARROLLO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO:.....	45
4.1	DISEÑO DE LA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO: .....	45
4.2	CÁLCULOS: .....	47
4.2.1	ALIMENTACIÓN:.....	47
4.2.2	SENSOR DE TENSIÓN: .....	51

---

---



4.2.3	VÚMETRO PARA VER EL NIVEL DE CARGA DE LOS ULTRACONDENSADORES:.....	52
4.3	SIMULACIONES: .....	55
4.3.1	REGULADOR DE TENSIÓN LM7808C:.....	55
4.3.2	VÚMETRO PARA VER EL NIVEL DE CARGA DE LOS ULTRACONDENSADORES:.....	57
4.3.3	SENSOR DE TENSIÓN PARA LOS ULTRACONDENSADORES:.....	61
4.3.4	RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL FILTRO DE ENTRADA AL VÚMETRO: .....	62
4.4	ARCHIVOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA PCB: .....	63
4.5	MODIFICACIÓN DEL CÓDIGO:.....	65
4.5.1	MUESTRA VELOCIDAD: .....	67
4.5.2	MUESTRA TENSIÓN: .....	68
4.5.3	SELECTOR DE MODO:.....	69
4.5.4	MOSTRAR POTENCIA: .....	73
4.5.5	LECTURA DE VOLTAJE:.....	74
4.5.6	CAMBIO DE LOS VALORES DEL PID:.....	77
4.6	CONSTRUCCION DE LAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO: .....	78
4.7	ERRORES OBSERVADOS/COMETIDOS:.....	80
4.7.1	BOBINA DE FILTRADO:.....	80
4.7.2	FILTRADO DE LA SEÑAL DE ACELERACIÓN DEL CONVERTIDOR DELANTERO:.....	81
4.7.3	FILTRADO DE LA SEÑAL DE TENSIÓN DEL DIVISOR DE LOS ULTRACONDENSADORES:.....	82
4.8	MEDIDAS REALIZADAS: .....	83
4.9	DISEÑO DE LA ENVOLVENTE:.....	85
4.9.1	CAJA: .....	85
4.9.2	TAPA DE LA BASE:.....	86
4.9.3	ENGANCHE BASE-MANILLAR: .....	87
4.9.4	LOGO DEL VEHÍCULO:.....	89
4.9.5	CAJA DE CONEXIONES:.....	89
5	COSTE DEL EQUIPO: .....	91
6	CONCLUSIÓN:.....	93
6.1	MEJORAS DEL PROYECTO: .....	93
7	BIBLIOGRAFÍA: .....	95





8	ANEXOS:	99
8.1	MANUAL DE USUARIO:	99
8.1.1	SEGURIDAD:	100
8.1.2	UTILIDAD:	101
8.1.3	MEDIO AMBIENTE:	103
8.1.4	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:	104
8.1.5	MONTAJE Y CONEXIÓN ELÉCTRICA:	105
8.1.6	PUESTA EN SERVICIO:	109
8.1.7	ERRORES FRECUENTES:	112
8.2	CÓDIGO:	113
8.2.1	CÓDIGO PRINCIPAL:	114
8.2.2	CODIGO CABECERA:	118
8.2.3	SELECCIÓN DEL MODO DE FUNCIONAMIENTO:	123
8.2.4	CALCULO DE LA DIFERENCIA DE PULSOS:	127
8.2.5	TOMA DE DECISIONES:	128
8.2.6	PID:	130
8.2.7	REGULACIÓN DE POTENCIA:	132
8.2.8	COMPENSAR ESFUERZO:	133
8.2.9	TRACCIÓN PROPORCIONAL:	134
8.2.10	INICIALIZAR:	135
8.2.11	MANDAR AL CONTROLADOR:	136
8.2.12	LEER TENSIÓN:	137
8.2.13	MUESTRA VELOCIDAD:	139
8.2.14	MUESTRA TENSIÓN:	140
8.2.15	MUESTRA POTENCIA:	141
8.3	PLANOS:	143
8.3.1	PLANOS CONTROL:	143
8.3.2	PLANOS CONECTOR:	146
8.3.3	PLANOS ENVOLVENTE:	154



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

<i>Ilustración 1: Vehículos híbridos de Porsche.</i>	19
<i>Ilustración 2: Owen Magnetic Model 60 de 1921.</i>	20
<i>Ilustración 3: Generación de electricidad en 2014 en España.</i>	21
<i>Ilustración 4: Principales partes de un vehículo eléctrico.</i>	21
<i>Ilustración 5: Esquema de un vehículo eléctrico de baterías.</i>	22
<i>Ilustración 6: Esquema de un vehículo eléctrico híbrido.</i>	23
<i>Ilustración 7: Esquema de un vehículo eléctrico híbrido enchufable.</i>	23
<i>Ilustración 8: Esquema de un vehículo eléctrico de pila de combustible.</i>	24
<i>Ilustración 9: Segway i2 SE.</i>	28
<i>Ilustración 10: BMW R1200GS híbrida.</i>	29
<i>Ilustración 11: Yamaha WR450F.</i>	29
<i>Ilustración 12: Sistema de tracción delantera de Christini Technologies.</i>	30
<i>Ilustración 13: Ford Gyron de 1961.</i>	31
<i>Ilustración 14: Gyro-X de Alex Tremulis.</i>	31
<i>Ilustración 15: Girocoche C1.</i>	32
<i>Ilustración 16: Urban Fox Volt Brushless.</i>	32
<i>Ilustración 17: Motor eléctrico para Skate.</i>	33
<i>Ilustración 18: Vehículo verrado.</i>	34
<i>Ilustración 19: E-Worker S80.</i>	34
<i>Ilustración 20: HMI de una estación meteorológica.</i>	35
<i>Ilustración 21: Boceto del vehículo eléctrico.</i>	37
<i>Ilustración 22: Ultracondensadores empleados en el prototipo.</i>	37
<i>Ilustración 23: Tiempo de carga-descarga de un ultracondensador.</i>	39
<i>Ilustración 24: Sensores hall de las ruedas.</i>	39
<i>Ilustración 25: Sensor hall lineal del acelerador.</i>	40
<i>Ilustración 26: Motores BLDC en los cubos de las ruedas.</i>	40
<i>Ilustración 27: Par-velocidad motor brushless.</i>	41
<i>Ilustración 28: Convertidor para el control de los motores BLDC.</i>	42
<i>Ilustración 29: Señal de control del motor BLDC.</i>	42
<i>Ilustración 30: Tensión generada en el frenado.</i>	43
<i>Ilustración 31: Microcontrolador Arduino UNO.</i>	43
<i>Ilustración 32: Boceto del cuadro de instrumentos.</i>	45
<i>Ilustración 33: Esquema del circuito electrónico.</i>	46
<i>Ilustración 34: Circuito recomendado por el fabricante para el buck.</i>	47
<i>Ilustración 35: Circuito recomendado por el fabricante para el regulador lineal.</i>	47
<i>Ilustración 36: Modelo térmico del regulador lineal.</i>	48
<i>Ilustración 37: Cálculo de la corriente inactiva.</i>	50
<i>Ilustración 38: Cálculo de la tensión de saturación (amarillo para el prototipo, rojo con luces incluidas).</i>	50
<i>Ilustración 39: Circuito para comprobar la tensión de los ultracondensadores.</i>	52
<i>Ilustración 40: Circuito recomendado por el fabricante para el LM3914.</i>	53
<i>Ilustración 41: Circuito para simular el regulador de tensión.</i>	55
<i>Ilustración 42: Tensión de salida del regulador lineal.</i>	56
<i>Ilustración 43: Corriente que proporciona el regulador lineal.</i>	56
<i>Ilustración 44: Circuito para la simulación del LM3914.</i>	57
<i>Ilustración 45: Tensión en el pin 5 del LM3914.</i>	57
<i>Ilustración 46: Corriente de consumo total del integrado apagado.</i>	58
<i>Ilustración 47: Corriente por el LED 1 apagado.</i>	58
<i>Ilustración 48: Corriente por el LED 1 encendido.</i>	59
<i>Ilustración 49: Consumo total de la parte del vumetro.</i>	59
<i>Ilustración 50: Modelo térmico de un componente con su radiador.</i>	60
<i>Ilustración 51: Línea roja, tensión de A1, línea verde tensión de los ultracondensadores.</i>	61



Ilustración 52: Tensión en A1 con un valor de potenciómetro mayor.....	61
Ilustración 53: Respuesta en frecuencia del filtro del vúmetro.....	62
Ilustración 54: Respuesta para un ciclo de trabajo del 50 %.....	62
Ilustración 55: Distancias entre pistas según la norma IPC-2221.....	63
Ilustración 56: Aspecto final de la cara de soldadura.....	64
Ilustración 57: Aspecto final de la cara de componentes.....	64
Ilustración 58: Aspecto final del conector por la cara de soldadura.....	65
Ilustración 59: Aspecto final del conector por la cara de componentes.....	65
Ilustración 60: Taladrado con la máquina de control numérico.....	78
Ilustración 61: Colocación del fotolito (izquierda) e insolado (derecha).....	78
Ilustración 62: Acabado de la PCB después del atacado con sosa.....	79
Ilustración 63: Proceso de atacado del cobre.....	79
Ilustración 64: Acabado final de la PCB.....	79
Ilustración 65: Bobinas de filtrado.....	80
Ilustración 66: tensión de rizado del buck con 5V/div.....	80
Ilustración 67: Bobina de filtrado después del condensador de filtrado del buck.....	81
Ilustración 68: Tensión de salida del convertidor buck con 2V/div.....	81
Ilustración 69: Voltaje de salida del divisor de tensión.....	82
Ilustración 70: Voltaje de salida del divisor de tensión filtrado.....	83
Ilustración 71: Base de la envolvente.....	86
Ilustración 72: Muesca para la bola de 5 mm de diámetro.....	86
Ilustración 73: Tapa de la envolvente.....	87
Ilustración 74: Parte posterior de la tapa.....	87
Ilustración 75: Enganche entre la base y el manillar.....	88
Ilustración 76: Detalle del habitáculo del muelle con la bola.....	88
Ilustración 77: Enganche al manillar.....	88
Ilustración 78: Logo del vehículo.....	89
Ilustración 79: Caja de conexiones.....	90
Ilustración 80: Serigrafía en la caja de conexiones.....	90
Ilustración 81: Definiciones de valores numéricos IP.....	101
Ilustración 82: Aspecto de la bola con el muelle montado.....	105
Ilustración 83: Tornillos de fijación para el enganche y el soporte.....	106
Ilustración 84: Tornillos de fijación de la PCB.....	106
Ilustración 85: Conexión de los botones, llave y selector de potencia.....	107
Ilustración 86: Tornillos de fijación de la tapa.....	107
Ilustración 87: Tornillos de fijación de la PCB.....	108
Ilustración 88: Indicación de la conexión de los sensores.....	108
Ilustración 89: Tornillos para la fijación de la tapa de la caja de conexiones.....	108
Ilustración 90: Información pantalla LCD.....	109
Ilustración 91: Testigo de la batería.....	109
Ilustración 92: Indicación de poner a cargar el aparato.....	109
Ilustración 93: Ubicación el potenciómetro de ajuste.....	110
Ilustración 94: Array de leds encendido.....	110
Ilustración 95: Led de tracción encendido.....	111



## ÍNDICE DE TABLAS:

---

<i>Tabla 1: Historia de la moto eléctrica.</i>	26
<i>Tabla 2: Cronografía de la empresa Segway.</i>	28
<i>Tabla 3: Consumos de los componentes alimentados por el regulador lineal.</i>	48
<i>Tabla 4: Consumos de los componentes alimentados por el buck.</i>	49
<i>Tabla 5: Estados de los botones.</i>	69
<i>Tabla 6: Codificación en bits de la batería.</i>	76
<i>Tabla 7: Comparación de valores medidos/ valores calculados.</i>	83
<i>Tabla 8: Presupuesto de ejecución material.</i>	91
<i>Tabla 9: Presupuesto honorarios trabajadores.</i>	92
<i>Tabla 10: Presupuesto final.</i>	92
<i>Tabla 11: Significado de las letras adicionales a los números IP.</i>	102
<i>Tabla 12: Significado de los números del código IK.</i>	102
<i>Tabla 13: Características técnicas del producto.</i>	104
<i>Tabla 14: Errores frecuentes.</i>	112



## ÍNDICE DE ECUACIONES:

---

Ecuación 1.....	38
Ecuación 2.....	48
Ecuación 3.....	48
Ecuación 4.....	49
Ecuación 5.....	49
Ecuación 6.....	51
Ecuación 7.....	51
Ecuación 8.....	51
Ecuación 9.....	51
Ecuación 10.....	51
Ecuación 11.....	51
Ecuación 12.....	52
Ecuación 13.....	52
Ecuación 14.....	52
Ecuación 15.....	53
Ecuación 16.....	53
Ecuación 17.....	54
Ecuación 18.....	54
Ecuación 19.....	54
Ecuación 20.....	55
Ecuación 21.....	55
Ecuación 22.....	55
Ecuación 23.....	59
Ecuación 24.....	60
Ecuación 25.....	60
Ecuación 26.....	60
Ecuación 27.....	60
Ecuación 28.....	60
Ecuación 29.....	61
Ecuación 30.....	61
Ecuación 31.....	63
Ecuación 32.....	68







# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS:

---

## 1.1 INTRODUCCIÓN:

En la actualidad, con el gran cambio que se está produciendo en el ámbito del transporte, debido a la inserción del vehículo eléctrico, se ha decidido escoger este trabajo final de grado para ayudar a realizar un medio de transporte limpio y sin emisiones locales de CO<sub>2</sub>.

Este vehículo, contiene tracción a las dos ruedas, con posibilidad de selección del tipo de tracción que se quiere en todo momento, de esta forma, hay cuatro posiciones distintas:

1. **2x1 OFF:** El vehículo funciona con tracción trasera y en la rueda delantera se manda una pequeña tensión para evitar el frenado regenerativo que produciría dicha rueda.
2. **2x1 ON:** De igual forma que en el caso anterior, pero en este si la diferencia de velocidad entre la rueda trasera y la delantera supera un cierto umbral, la rueda delantera se pone a girar a una velocidad regulada por el selector de potencia, hasta que las velocidades se igualan.
3. **2x2 OFF:** En este modo, el control PID intenta que la diferencia entre las dos ruedas sea cero, por lo que las dos ruedas están traccionando a la vez.
4. **2x2 ON:** Al igual que el modo anterior, las dos ruedas traccionan y cuando la trasera pierde adherencia, la rueda delantera se pone a girar a la potencia regulada por el potenciómetro, hasta que las velocidades se igualan.

Debido a la potencia de los motores insertados en los cubos de las ruedas, esta moto va dirigida al sector infantil. Puede alcanzar una velocidad máxima de 25 Km/h en llano con un tiempo de funcionamiento de aproximadamente 3 min (1,31 km) con convertidor buck-boost bidireccional y funcionando a máxima potencia en el modo 2x2 ON, si se seleccionase el modo 2x1 OFF, circulando en las mismas condiciones, el tiempo de funcionamiento aumentaría hasta los 6 min (2,63 km) aproximadamente.

Inicialmente, esta moto se va a probar en adultos con un diseño comprendido entre un patinete y una pit-bike. La elección de los ultracondensadores es debido a la facilidad de carga y la falta de mantenimiento en un vehículo prototipo.

Mediante una interface HMI (Human-Machine Interface), el piloto sabrá a qué velocidad circula, el estado de carga de los ultracondensadores, el modo que está seleccionado, la posición del acelerador, si entra la tracción delantera y el selector de potencia en la rueda delantera.



El control del vehículo y de la interface se ha hecho mediante el microcontrolador Arduino, por ya estar implementado, es decir, puede realizar la tarea encomendada sin ningún problema y además de su facilidad para modificar el código.

## 1.2 OBJETIVOS:

El objetivo del presente proyecto es realizar un vehículo completamente eléctrico y funcional para poder circular por las calles con él.

Se realizará un diseño de una placa de circuito impreso, por si en algún momento se tiene pensado construir en serie dicho vehículo y de la facilidad de realizar pruebas con dicho aparato fuera del laboratorio, además de la envolvente para su posterior impresión en 3D.

El diseño de la placa está pensado para que sea universal, es decir, si se quisiera usar motores con mayor potencia, solo habría que cambiar los convertidores con su correspondiente potencia y conectarlos al sistema de control.

Lo mismo ocurre con los ultracondensadores, tienen una gran capacidad comparada con condensadores normales y tiene grandes ventajas en lo referente a vehículos de ocio, se podrían cambiar por baterías de ácido-plomo (que no es el mejor caso debido a su baja densidad energética) o cualquier otro tipo de batería como puede ser de NiMH (níquel metal hidruro), siempre respetando el máximo voltaje de 48 V. Realmente, se va a trabajar a 36 V debido a el cargador diseñado.

Dicho vehículo facilita bastante la investigación ya que es barato, ligero con un control polivalente.

## 2 ESTADO DEL ARTE:

A continuación, se va a llevar a cabo una investigación sobre los vehículos eléctricos, se va a partir de un resumen del TFG anterior, y posteriormente, se va a exponer un análisis más extenso de los vehículos ligeros eléctricos de dos ruedas.

### 2.1 RESEÑA HISTÓRICA:

A diferencia de lo que se cree, en el siglo XIX el vehículo eléctrico predominaba frente a los vehículos de combustión interna. El primer automóvil eléctrico fue construido en 1835, por el profesor Sibrandus Strating en la ciudad Groninberg (Alemania).

Este vehículo funcionaba con baterías que no eran recargables puesto que este tipo de batería no se inventó hasta 1881.

El record de velocidad mundial de la época lo consiguió un Camille Jenatzy con el coche llamado “La Jamais Contente”, completamente eléctrico y con el interior del vehículo lleno de baterías, en el que el cuerpo del piloto iba completamente fuera.

Los vehículos eléctricos se usaron para principalmente como taxis o coches para moverse dentro de entornos industriales para no emitir gases nocivos que perjudicasen a la vida de los trabajadores, al igual que se usó en los campos de golf ya que estos vehículos no producen contaminación acústica y que por lo tanto es perfecto para el entorno relajante de esas zonas.

Uno de los principales innovadores en este campo fue el famoso Ferdinand Porsche, que realizó vehículos híbridos, sobre todo en serie, de todo tipo como berlinas, trenes de carretera y tanques.

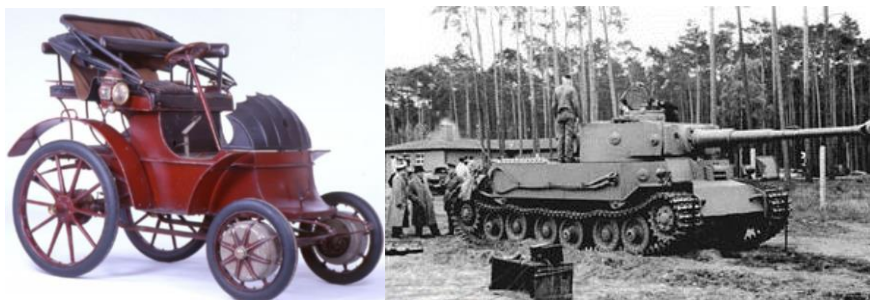


Ilustración 1: Vehículos híbridos de Porsche.

También, se crearon vehículos eléctricos de lujo, que no eran accesibles a todo el mundo de la época como ocurre con el Owen Magnetic Model 60, también apodado como “El coche de las mil marchas”, esto es debido a que este vehículo no contiene caja de cambios.



Ilustración 2: Owen Magnetic Model 60 de 1921.

Con el paso de los años, los vehículos eléctricos o los híbridos, en vez de prosperar fueron perdiendo fama, debido a que los motores de combustión interna eran mejores en lo referente a prestaciones (velocidad máxima y potencia).

## 2.2 TÉCNICA ACTUAL EN LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS:

Actualmente, el mayor problema de los vehículos eléctricos es la autonomía de estos comparada con la de los vehículos de combustión interna Otto o diésel, este problema está relacionado directamente con la capacidad de las baterías y su peso.

Este problema se puede ver reducido gracias a las nuevas tecnologías como las baterías de Lipo (litio-polímero) que tienen una densidad energética alrededor de 180 Wh/Kg, pero esto puede mejorar gracias a las baterías de grafeno<sup>1</sup> que pueden tener una densidad energética de 1000 Wh/Kg.

Actualmente, la autonomía media de un vehículo eléctrico, llega hasta el orden de los 160 Km, que es mucho mayor de lo que se recorre diariamente con un turismo, y más que suficiente para andar por ciudad.

Las ventajas de los vehículos eléctricos son muy superiores a los de combustión interna, alguna de las cuales son: inmediata respuesta del motor, par en la rueda constante, no producen contaminación acústica y tampoco producen contaminación por CO<sub>2</sub> local (esto quiere decir que, en España, la mayor parte de la energía eléctrica que se produce no es de energías renovables y que por lo tanto contamina). En la imagen Ilustración 3:

---

<sup>1</sup> El grafeno es un material bidimensional, que consiste en una sola capa de átomos de carbono dispuestos en una retícula hexagonal. Es 200 veces más fuerte que el acero estructural y conduce hasta 1000 veces mejor que el cobre la electricidad. El grafeno en estas baterías forma parte del electrodo positivo y permite unas descargas de hasta 100C sin efecto memoria.

Generación de electricidad en 2014 en España se puede ver qué tipo de tecnología generó electricidad en el año 2014.

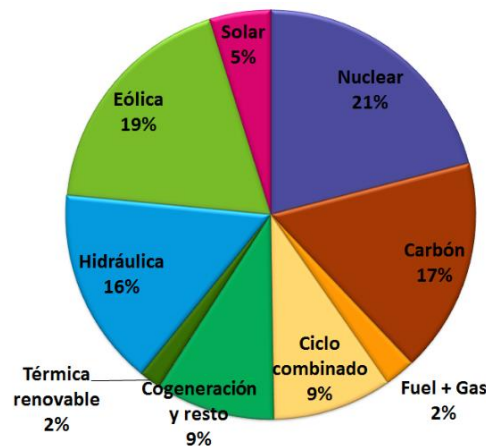


Ilustración 3: Generación de electricidad en 2014 en España.

A continuación, se va a mostrar una imagen en la cual muestra los principales componentes del vehículo eléctrico.

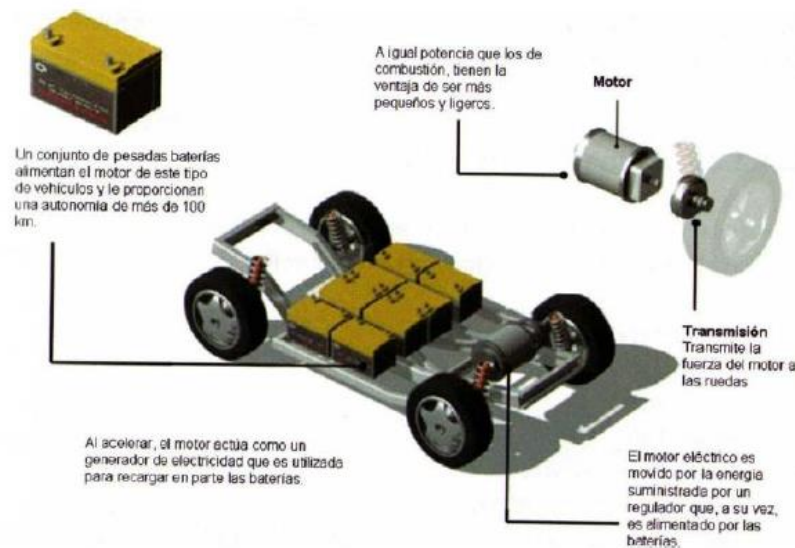


Ilustración 4: Principales partes de un vehículo eléctrico.

Las baterías suelen ir en el centro del chasis, para equilibrar el peso y no interferir en la conducción, ya que está mejor repartido el peso. Con respecto a los motores, estos pueden distribuirse de diferentes formas, pueden alojarse en el cubo de las cuatro ruedas, consiguiendo una tracción 4x4, un solo motor con un diferencial en las ruedas traseras o delanteras... La ventaja de esto es que la potencia es aditiva, es decir, se suman todas las potencias de los motores que se instalen.

Actualmente, el vehículo totalmente eléctrico que se comercializa más vendido es el Nissan Leaf y el coche de lujo con mejores prestaciones es el Tesla Model S.



### 2.2.1 TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ACTUALIDAD:

Los vehículos eléctricos se pueden clasificar de varias formas, por su peso, por su tipo de motor (eléctrico puro o híbrido).

Atendiendo a las características del peso, estos se pueden clasificar en:

1. **Vehículos eléctricos ligeros (VEL):** Generalmente pequeños de dos plazas, hechos de fibra de vidrio, termoplásticos o materiales compuestos, con un peso inferior a los 600 Kg. Tienen una demanda entre los 9-20 KWh/100 Km.
2. **Vehículos eléctricos con carrocería convencional:** Dentro de esta categoría, se puede subdividir en dos:
  - Convertidos a partir de coches de combustión interna: Forma fácil de probar motores, baterías y demás componentes.
  - Diseñados desde cero como VE: Son más eficientes y tienen mayor autonomía que los anteriores.
3. **Automóviles solares:** Son vehículos provistos de células solares y una pequeña batería. Llevan acoplados células solares de unos 8-10 m<sup>2</sup>.

Atendiendo al abastecimiento, estos se pueden clasificar en:

1. **Vehículos eléctricos de baterías:** Estos vehículos usan la energía almacenada en baterías para poder proporcionar energía al motor conectado a la transmisión del vehículo. Son totalmente eléctricos y se pueden recargar.

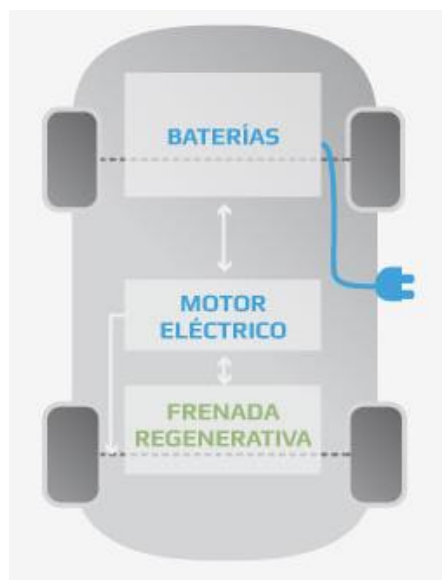


Ilustración 5: Esquema de un vehículo eléctrico de baterías.

2. **Vehículos eléctricos híbridos:** En este tipo de vehículo, la propulsión puede venir de dos sitios diferentes, de un motor eléctrico o de un motor de combustión interna.

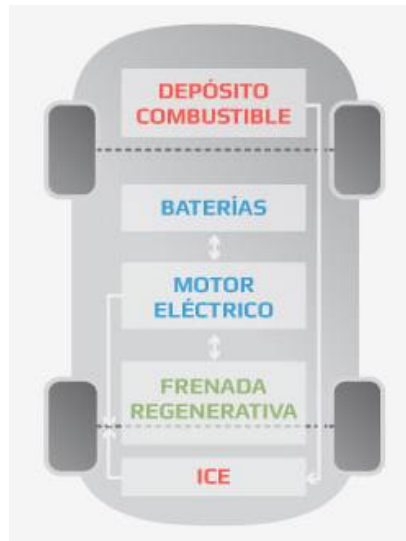


Ilustración 6: Esquema de un vehículo eléctrico híbrido.

3. **Vehículo eléctrico híbrido enchufable:** Son similares a los anteriores, salvo que estos pueden recargar las baterías mediante la conexión a la red.

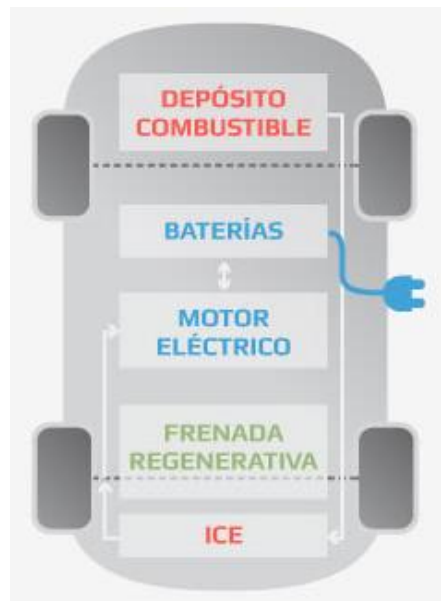


Ilustración 7: Esquema de un vehículo eléctrico híbrido enchufable.

4. **Vehículo eléctrico de pila de combustible:** Vehículo totalmente eléctrico que disponen de una pila de combustible de hidrógeno que genera la electricidad a partir de ese gas almacenado.





Año	Acontecimientos
1985	Surgen primeras patentes de motos eléctricas
1911	Popular Mechanics publica un artículo sobre la moto eléctrica
1919	Ransomes, Sims y Jefferies crean un prototipo de moto eléctrica
1936	Se funda Socovel, empresa de motos eléctricas
1946	Se funda una empresa de marketing, basada en una moto eléctrica creada por Mere Williams
1967	Karl Kordesch realizó una moto eléctrica con pila de hidrogeno El prototipo de ciclomotor eléctrico "Papoose" es creado por Indian Motorcycle Company
1970	Se vendió el primer cargador de motos eléctricas ligeras
1974	Mike corbin Quick estableció el record de velocidad con una motocicleta eléctrica con una velocidad de 266,16 km/h Corbin-Gentry Inc. Comienza a vender motos eléctricas legales
1978	La Harley Davidson MK2 fue creada por Transitron Manufactured
1988	Se crea la moto eléctrica Kawashocki
1996	Se produce la primera producción masiva de scooters eléctricas lanzada por Peugeot
Finales 90	Scott Cronk y EMB crean la motocicleta EMB Lectra VR24 que utiliza motores de reluctancia variable y se comienza a comercializar
2000	El desarrollo de las baterías de ion-litio y de potentes motores eléctricos hizo que la incorporación de las motos sea más factible
2007	La moto eléctrica Kikkacycle recorre un cuarto de milla en 7,824 segundos con una velocidad máxima de 270 km/h
2008	Se crea la moto Electra Green en Nebraska, la primera moto eléctrica creada en ese estado
2009	California acoge las "24 horas de motocross eléctrico", seleccionada por Zero Motorcycles. Se realiza el primer Time Trial Xtreme Grand Prix, se trata de una carrera de motos de calle eléctricas
2011	Chip Yates establece el record Guines de velocidad con una moto eléctrica con 316,89 km/h
2013	FIM anunció un evento llamado E-MX que se celebró en Bélgica, se trata de la primera carrera de motocross eléctrica.

2014	Bultaco, empresa española anuncia su regreso y presenta dos prototipos de motos eléctricas Rapitan y Rapitan Sport, presentadas como Bultaco brinco.
2015	Se presenta en el CES de Las Vegas GOGORO, un scooter eléctrico diseñada por ingenieros de la empresa HTC. En Barcelona se incluyen 30 scooters eléctricas a la guardia urbana de la empresa BMW. La empresa Bultaco recibe el premio a la "Iniciativa+D+i" gracias a la vuelta al mercado con el desarrollo de motos eléctricas. Sale a la venta el modelo Wmpulse TT que es la primera motocicleta eléctrica de la marca Victory Motorcycles.
2016	Se celebra la "VIVE Tenerife". Se trata de un circuito en vehículo eléctrico a lo largo de la isla de Tenerife. Torrelodones adquiere dos motos eléctricas para su servicio de Protección Civil, de la marca XR MOTORS La empresa Cooltra lanza el motosharing en Barcelona, se trata de un sistema de renting de vehículos eléctricos. Harley-Davidson produce la LiveWire, motocicleta eléctrica en fase de desarrollo. Goodyear presenta el e-Go2, un scooter de tres ruedas eléctrico. La empresa Vespa anuncia que en 2017 saldrá al mercado la Vespa eléctrica, con los mismos rasgos que la antigua Vespa, pero con motor eléctrico.
2017	Una empresa británica VIGO Motorcycles presenta el proyecto VIGO, una moto eléctrica con una autonomía de unos 600 Km.

Tabla 1: Historia de la moto eléctrica.

## 2.4 FUENTES DE ENERGÍA DE LA MOTO ELÉCTRICA:

La mayoría de las motos, para almacenar energía utilizan baterías, pero esto no quiere decir que sea la única forma de almacenamiento. Hay motos que utilizan pilas de hidrógeno.

Esta tecnología de pila de combustible es utilizada por fabricantes como Intelligent Energy, Suzuki, Yamaha y Honda.

También, hay fabricantes que están desarrollando motos híbridas como puede ser el Ecycle Hybrid, Piaggio MP Hybrid...

Las motos eléctricas, pueden ser recargadas en cualquier enchufe de casa, con una demora de unas ocho horas, pero también hay conectores especiales, los mismos que se utilizan en los coches eléctricos, como puede ser el conector CHAdeMO, que permite la de batería más rápida.

## 2.5 MOTOS ELÉCTRICAS INFANTILES EXISTENTES:

Las principales empresas que se especializan en este sector, la fabricación de motos infantiles con Oset Bikes y Xispa Motorbikes. A continuación, se puede ver una descripción de cada empresa.

- Oset Bikes:

Esta empresa lleva en el mercado mundial desde el año 2006, en la fabricación de motos eléctricas de trial. Tiene una gran gama de modelos a elegir, cuenta con nueve modelos para niños desde los dos años hasta los quince, y con una nueva versión 24.0 que es apta para adultos también.

Los motores están pensados para los niños, no para personas adultas, excepto con el nuevo modelo comentado anteriormente, que monta un motor OSET de 1400 W.

Cada moto tiene un control ajustable de la velocidad, de esta forma la persona responsable del menor puede limitar la velocidad de la forma que se quiera.

- Xispa Motorbikes:

Al igual que la empresa anterior, esta también se dedica a la comercialización de motocicletas eléctricas de trial infantiles. Lleva en el mercado desde el 2005.

Pero en 2013, salió a concurso de acreedores y fue fusionada con la empresa Torrota Electric, que también se dedica a este sector.

Esta empresa tiene muchos artículos y de todo tipo, desde motos de trial eléctricas para niños hasta scooters eléctricas con un motor TORROT brushless de 48 V y 3 Kw.

## 2.6 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS DE DOS RUEDAS:

Dentro de la categoría de vehículos eléctricos de dos ruedas, con tracción en las dos ruedas, se pueden distinguir varios vehículos como pueden ser los Segway, las motos de trial/Cross y también se puede hablar de giro-coches o motos con carrocería cerrada. A continuación, vamos a ver más en profundidad los distintos vehículos:

### 2.6.1 SEGWAY:

Fue inventado por Dean Kamen y fue presentado en 2001. Este vehículo ligero tiene dos ruedas con autobalance controlado por un ordenador. Es el primer dispositivo de transporte con autobalance. El usuario para poder ir en la dirección que quiera, tiene que inclinarse en esa dirección. El motor que incorpora puede llegar a alcanzar una velocidad comprendida entre los 15-20 Km/h según el modelo.



Ilustración 9: Segway i2 SE.

Una pequeña cronografía:

Año	Acontecimientos
1999	Segway Inc. Es el innovador líder del transporte personal
2002	Se venden en Amazon los primeros transportadores personales (TP) Segway
2005	Se lanza el Segway Cross-Terrain Transporter
2013	Se crea Ninebot en Pekín (China)
2014	Se lanza el TP Segway de tres ruedas, el SE-3 Patroller, para el mercado de la seguridad pública.  Ninebot lanza el Ninebot E+
2015	Segway y Ninebot unen sus fuerzas  Ninebot by Segway lanza el miniPRO y el ONE E+
2016	Ninebot by Segway lanza el ONE S2, el sucesor del Ninebot by Segway ONE E+  Se abre la sede central europea de Segway en Ámsterdam, Países Bajos

Tabla 2: Cronografía de la empresa Segway.

La autonomía de estos vehículos no es muy alta, depende bastante del modelo elegido si, por ejemplo, se escoge cualquier vehículo para la seguridad, estos suelen tener una autonomía de unos 35-40 Km. Sin embargo, si se coge un modelo para uso personal, suelen tener una autonomía de unos 10-15 Km.

### 2.6.2 MOTOS DE TRIAL/CROSS CON TRACCIÓN 2x2:

De este tipo de motos, se pueden destacar tres, las que tienen tracción delantera eléctrica y trasera por motor de combustión interna, las que tienen tracción delantera hidráulica y la trasera por motor de combustión interna o tracción delantera por vía mecánica y la trasera por motor de combustión interna. Se entrará con más detalle en los distintos tipos:

- **Tracción delantera eléctrica y trasera por motor de combustión interna:**

Esta moto contiene dos motores, uno eléctrico que acciona únicamente la rueda delantera y el motor de combustión interna que funciona de manera convencional, es decir como si fuera una moto de un solo motor.

Hay muchas empresas que se han dedicado a comercializar este tipo de motos, como puede ser BMW, KTM, Hero RNT... y con muy diversos tipos de motos, es decir desde motos de trial, hasta motos de carretera.



Ilustración 10: BMW R1200GS híbrida.

- **Tracción delantera hidráulica y trasera por motor de combustión interna:**

La empresa pionera en este sistema fue Yamaha, que tuvo la patente 2-trac, este sistema funciona gracias a una bomba hidráulica situada encima de la caja de cambios, accionada por el motor de combustión interna. La presión que se transmite a la rueda delantera es proporcional a la velocidad de la rueda trasera esto significa que, si pierde tracción en la rueda trasera, esta girará más rápido y por lo tanto más traccionará la rueda delantera.



Ilustración 11: Yamaha WR450F.

- **Tracción delantera mecánica y trasera por motor de combustión interna:**

Surge como alternativa al sistema 2-Trac de Yamaha gracias a la empresa Christini Technologies que se especializa en dotar a las motos de tracción integral. Ha desarrollado un sistema compacto universal que no necesita demasiadas modificaciones de la propia moto, incrementando el peso de la misma en unos 8 Kg. Este sistema se basa en un piñón doble del que sale una cadena hacia una caja de transferencia, que empalma con un cardan. La junta cardan transmite el movimiento a otra caja debajo de la horquilla de la dirección.



Ilustración 12: Sistema de tracción delantera de Christini Technologies.

### 2.6.3 GIROCOCHES O MOTOS DE CARROCERÍA CERRADA:

En esta categoría, se van a ver vehículos de dos ruedas, con la carrocería cerrada, es decir tienen que tener un sistema de autobalance para que el conductor de ese vehículo no se caiga al suelo y pueda continuar, aunque el coche/moto se pare en un semáforo.

Esta idea no ha surgido actualmente, en 1961 en el salón del automóvil de Nueva York, Ford presentó un prototipo futurista llamado Ford Gyron, este modelo se construyó a escala real, pero sin embargo no era realmente operativo tratándose entonces de un “concep car” de exposición.

Se trataba de un coche giroscópico, de dos ruedas en línea, que teóricamente se autoestabilizaba mediante un sistema giroscópico hidráulico, que nunca llegó a instalarse.



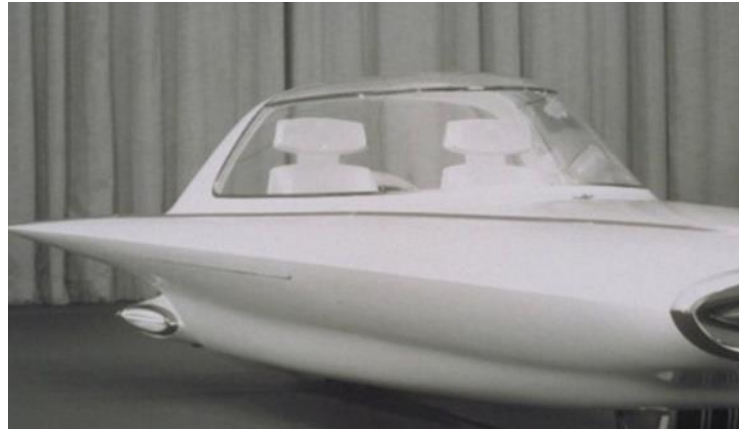


Ilustración 13: Ford Gyron de 1961.

Ford descartó este vehículo, por el elevado coste del sistema giroscópico, pero no así lo hizo Alex Tremulis que después de marcharse de Ford que siguió con su idea y consiguió fabricar el Gyro-X junto con Thomas O. Summers Jr.

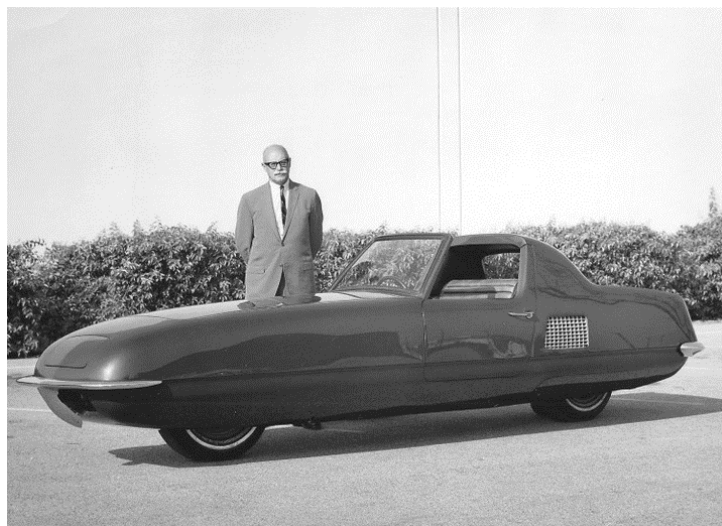


Ilustración 14: Gyro-X de Alex Tremulis.

Actualmente se está desarrollando un prototipo de la mano de Lint Motors, denominado C1, es una motocicleta de carrocería cerrada. Este vehículo se mantiene estable gracias a un estabilizador giroscópico que incorpora un volante de inercia que ofrece 1762 Nm.

Tiene dos motores eléctricos de 54 CV (39,69 Kw) en cada una de las ruedas, tiene previsto una velocidad punta de 190 Km/h y una autonomía de 240 Km.



Ilustración 15: Girocoche C1.

#### 2.6.4 PATINETES ELÉCTRICOS CON TRACCIÓN ELÉCTRICA:

En esta sección se puede distinguir dos tipos de patinetes, los que tienen cuatro ruedas y los que tienen dos ruedas. Dentro de los patinetes de dos ruedas, no se ha encontrado mucha información acerca de los que tiene tracción en las dos ruedas. La mayoría de los fabricantes sólo venden productos con tracción trasera, con una gran variedad de potencias y autonomías.

Los más baratos disponen baterías de ácido-plomo, pero hay fabricantes como Urban Fox que proporcionan baterías de gel.



Ilustración 16: Urban Fox Volt Brushless.

Dentro de los patinetes de skate, los hay de tracción trasera con motor brushless, alimentados con una batería de polímero de litio (Lipo) como pueden ser los patinetes de Evolve, empresa española con sede en Algeciras.

Tienen una autonomía de unos 30 Km, con una capacidad de carga de 100 Kg. El control de estos vehículos se hace mediante un mando por bluetooth, además incorpora frenado regenerativo y ABS.

También hay empresas en este sector que se dedican a hacer accesorios para convertir un patinete normal en uno eléctrico, esta empresa es



Mellow, lo único que hay que hacer es comprar el accesorio y cambiarlo por el original, así se tendría un skate/longboard eléctrico, con una autonomía de unos 15 Km con una carga de dos horas. Además, tiene cuatro modos de conducción, para adaptarse mejor al usuario.



Ilustración 17: Motor eléctrico para Skate.

Boosted Board, otra compañía, esta ofrece longboard con tracción a las cuatro ruedas, el fabricante incluye 3 modelos de distintas potencias 1000, 1300 y 2000 W, capaces de alcanzar 28 Km/h y una autonomía de 11 Km.

El control es inalámbrico, este mando incorpora el acelerador y el freno además de indicadores del estado de la batería.

## 2.7 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIGEROS DE TRES RUEDAS:

### 2.7.1 VEHÍCULOS DESTINADOS A DRIFTING:

Este vehículo se ha hecho un hueco en la industria gracias a la web de crowdfunding, Kickstarter. Se trata de un triciclo con tracción en la rueda delantera, y con dos ruedas traseras de kart, en las cuales se ha puesto una funda para perder adherencia a propósito y poder hacer drifting.

La empresa que se encarga de comercializar el “Verrado”, se llama Local Motors, con sede en Phoenix, Arizona, se encarga de la fabricación de vehículos de motor de bajo volumen de producción.

El verrado, tiene un motor brushless de 500 W, con una autonomía de 45 minutos o unos 18 Km, tiene unas baterías de litio/cobalto/manganeso y requiere de un tiempo de carga de 3h. No está pensado para circular a gran velocidad o recorrer grandes distancias si no que es un vehículo para el ocio.



Ilustración 18: Vehículo verrado.

Consta de un chasis de PVC, lo que le hace un vehículo muy ligero con una alta relación potencia/peso.

### 2.7.2 TRICICLOS ELÉCTRICOS PARA PERSONAS DE MOVILIDAD REDUCIDA:

En esta categoría, también se puede encontrar cuadríciclos, así que se va a reunir las dos en una sola.

Estos vehículos están pensados para hacer distancias medias, es decir unos 12-16 Km con una sola carga y además no superar una velocidad media de 6 Km/h.

Respecto a la tecnología de dichos vehículos, los hay de una gran variedad de ellos, la mayoría de ellos tienen motores de 180 W, con baterías de gel, pero también los hay con motor de 270 W.

En este ámbito se puede destacar una empresa española, LGM estudio con sede en Navarra, que se dedica a la comercialización de vehículos eléctricos ligeros como bicicletas o coches de golf. Tiene un vehículo para personas discapacitadas llamado E-WORKER S80, se puede montar un motor de hasta 1500 W, con tracción integral. Su autonomía puede variar según las potencias elegidas desde los 20 Km hasta los 80 Km. Posee unas baterías de Ion Litio extraíbles. Alcanza una velocidad máxima de 30 Km/h. Está pensado para poder montar con la silla de ruedas directamente sin tener que desmontar ninguna parte del vehículo.



Ilustración 19: E-Worker S80.

## 2.8 INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA:

Una interface hombre máquina se puede definir como todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo.

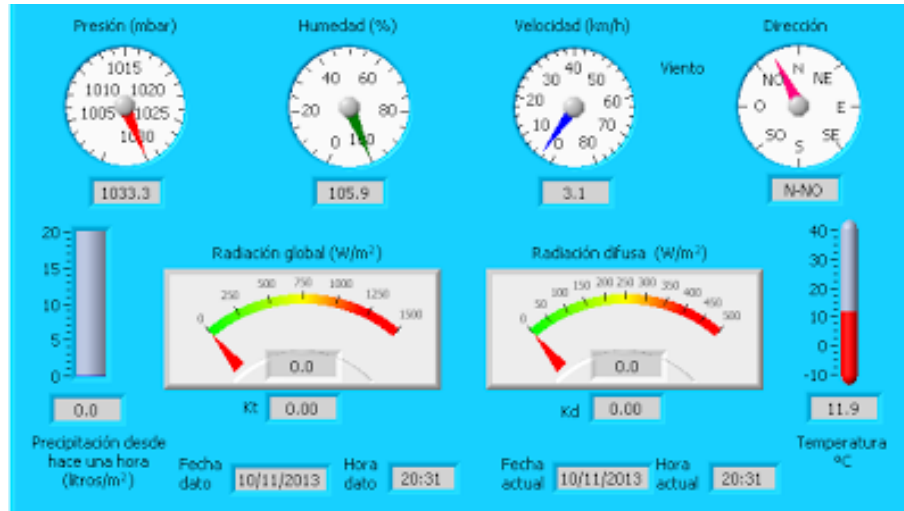


Ilustración 20: HMI de una estación meteorológica.

Las interfaces hombre máquina nacieron de la utilización del tubo de rayos catódicos y de los primeros usos del lápiz óptico (parecido a los lápices actuales para pantallas táctiles, pero con mayor precisión). En 1963, Ivan Sutherland, en su tesis doctoral desarrolló Sketchpad (fue el primer programa informático que permitió la manipulación directa de objetos gráficos, por este software, Ivan recibió el premio Turing).

Algunos avances relacionados con el tema fueron los intentos de llegar a una simbiosis hombre-máquina (Licklider, 1960, artículo en el cual expone la necesidad de simplificar la interacción entre los ordenadores y los usuarios de las computadoras), un aumento del intelecto humano (Douglas Engelbart, 1963, este inventor estadounidense es conocido por inventar el ratón), fueron unos hechos que marcaron los cimientos de la interacción entre computadoras y personas.

Las funciones de un HMI (human-machine interface):

- **Monitoreo.** Es la habilidad de obtener y mostrar datos del sistema en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil.
- **Supervisión.** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde los mandos del sistema.
- **Alarmas.** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo. Las alarmas están basadas en límites de control preestablecidos.



- Control. Capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener esos valores dentro de unos límites deseados
- Históricos. Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia.

La realización de HMI mediante software se realiza programando en lenguajes como Visual Basic, VC++, Delphi... Pero en este caso no se va a hacer mediante software, se realizará mediante elementos físicos como acelerador, freno, pantalla LCD, led indicativos y botones.

### 3 TEORÍA:

A continuación, se va a explicar los diferentes componentes del vehículo 2x2, como son los ultracondensadores, controlador, sensores...

Se va a mostrar una imagen, en la cual se van a ubicar los distintos componentes:

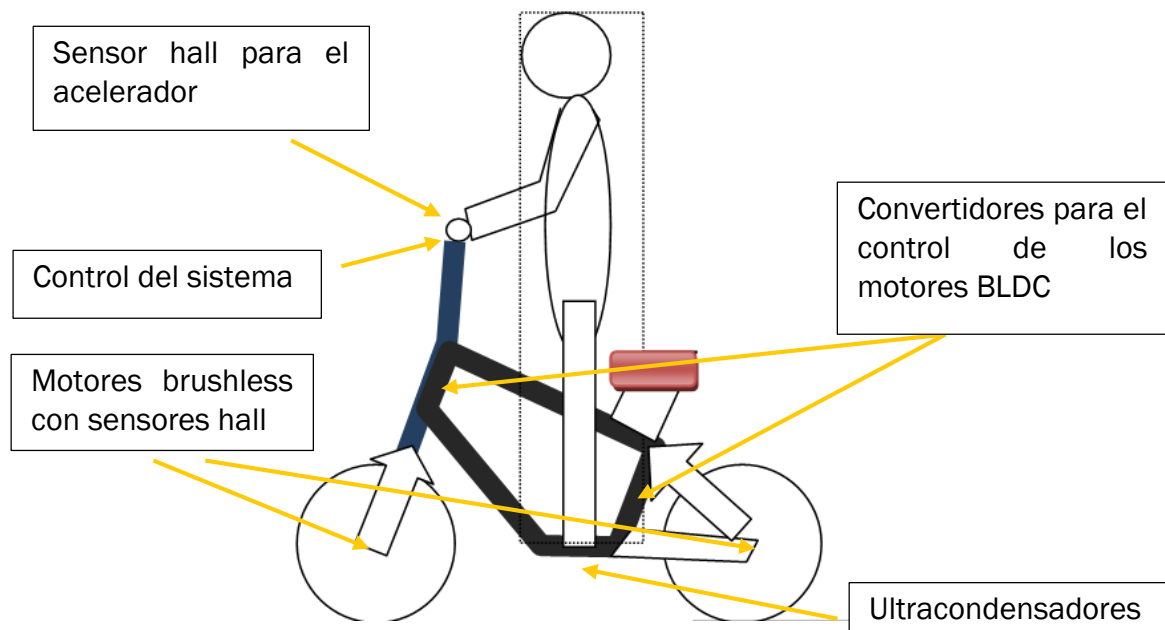


Ilustración 21: Boceto del vehículo eléctrico.

#### 3.1 ULTRACONDENSADORES:

Los ultracondensadores escogidos de la marca MAXWELL, con una tensión nominal de 48 Vdc y una capacidad de 83 F.



Ilustración 22: Ultracondensadores empleados en el prototipo.

Los ultracondensadores son equiparables a un condensador normal, como los que se usan en los equipos electrónicos de consumo, pero con la característica de poder almacenar más de un millón de veces la energía de un condensador convencional.

El funcionamiento de un condensador electrolítico convencional, se basa en dos electrodos sumergidos en un electrolito (aislante) a los cuales se les aplica una diferencia de potencial. El potencial aplicado a cada electrodo atrae a los iones, es decir el electrodo positivo atrae iones negativos y el electrodo negativo atrae a los iones positivos.

La energía almacenada en estos condensadores es proporcional al número de cargas atraídas, que por lo tanto es proporcional a la superficie de cada electrodo (a mayor superficie, mayor capacidad) y también depende de la capacidad dieléctrica del electrolito.

Por lo tanto, la capacidad de un condensador es:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d} \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo:

C: Capacidad del condensador.

$\epsilon_0$ : Permitividad del vacío =  $8,8542 \cdot 10^{-12}$  F/m

$\epsilon_r$ : Constante dieléctrica del material dieléctrico entre placas.

S: Área enfrentada entre los electrodos.

d: Distancia entre electrodos.

En un ultracondensador, los electrodos están compuestos por un material con poros cuyo diámetro está en el rango de nanómetros, este material suele ser carbono activo. Como inconveniente, esta tecnología no puede soportar grandes diferencias de potencial y para alcanzar grandes voltajes, lo que se necesita es la asociación en serie de diversas celdas.

El modelo equivalente del ultracondensador es el mismo que un condensador normal, este consta de un condensador con una resistencia en paralelo y otra en serie. Como las láminas de carbono activado tienen una alta conductividad, la resistencia en serie suele ser muy pequeña, que representa las pérdidas en conducción, en cuanto a la resistencia en paralelo, que representa las pérdidas por corriente de fuga, suele ser alta.

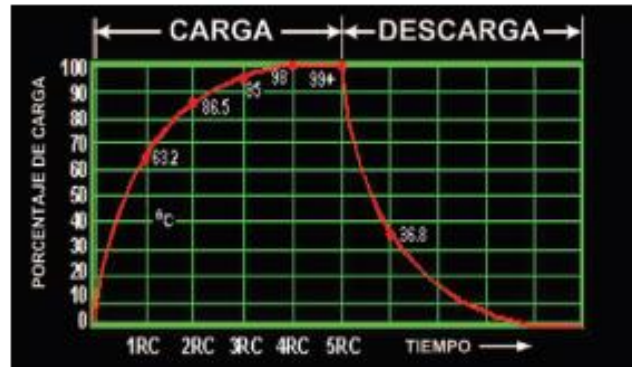


Ilustración 23: Tiempo de carga-descarga de un ultracondensador.

Las ventajas de estos tipos de condensadores frente a los convencionales es su mayor densidad de energía comprendida entre 1-10 Wh/Kg. Estos tienen una gran vida útil y un elevado número de ciclos, llegando a alcanzar los  $10^6$  ciclos y que además se pueden almacenar con cualquier tipo de carga es decir cargados completamente o a mitad de carga. La carga se puede hacer a cualquier tensión siempre que no supere la tensión nominal. Su función principal, en los vehículos eléctricos, es la de ayudar a las baterías a absorber grandes picos de energía para no dañar a las mismas, ya que los ultracondensadores lo pueden absorber sin que se dañen, cuando se está usando la tecnología del frenado regenerativo. En este caso, estos ultracondensadores, se van a usar como si fueran baterías, ya que la rapidez de carga es elevada, muy adecuada para hacer pruebas rápidas sobre el vehículo.

### 3.2 SENSORES HALL RUEDAS:

En las ruedas se han colocado unos sensores hall para saber la velocidad de cada rueda, que son activados mediante dieciséis imanes equiespaciados. El funcionamiento de estos sensores se basa en que un conductor que está sometido a un campo magnético y es atravesado por una corriente eléctrica, si se coloca un voltímetro entre los extremos de la sección transversal, se detectara una tensión denominada voltaje hall. Este efecto es debido a que los electrones se ven desplazados hacia un lado, produciendo la diferencia de tensión. Esa diferencia de tensión es la que se usa para producir un conteo de pulsos en arduino y saber las velocidades de las ruedas.

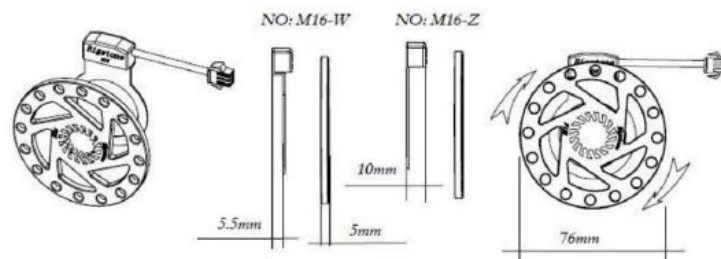


Ilustración 24: Sensores hall de las ruedas.



Estos sensores son utilizados en automoción debido a que no llevan partes móviles por lo que no necesitan mantenimiento y pudiendo además trabajar en ambientes sucios, debido a que son estancos, por lo que el polvo y la suciedad no es problema para su funcionamiento.

### 3.3 SENSOR HALL LINEAL:

Este sensor se utiliza en el acelerador para mandarle el correspondiente control a la rueda trasera y al Arduino. Su funcionamiento es el mismo que el anterior, pero con la salvedad de que antes solo se producía una tensión de salida digital (es decir 5V o 0V), ahora la tensión cambia en función del campo magnético, por lo que la tensión de salida es variable y se obtendrá una tensión entre 0-5V.



Ilustración 25: Sensor hall lineal del acelerador.

### 3.4 MOTORES BRUSHLESS:

Son los motores empleados en los cubos de las ruedas, la peculiaridad de estos motores es que no necesitan escobillas para funcionar. Estos no presentan un conmutador mecánico que reduzca el rendimiento, ya que las escobillas producen ruido, chispas y el desgaste de estas provoca un polvo que además de ensuciar el motor es conductor por lo que podría llegarse a producir derivas o cortocircuitos indeseados. Al ahorrarnos ese elemento, se tiene una mayor eficiencia.



Ilustración 26: Motores BLDC en los cubos de las ruedas.



El diseño es al contrario de los motores DC, es decir en el rotor se encuentran los imanes permanentes y en el estator se encuentran las bobinas que producen el campo, además estos motores incluyen sensores hall para indicar la posición en la que se encuentran y mandarle la información al inversor.

Aunque se denomina motor de corriente continua, realmente no se puede operar directamente sobre el motor, hay que colocar un inversor DC/AC que se encarga de proporcionar las corrientes pulsantes necesarias para cambiar la polaridad de las bobinas del estator.

Normalmente estos motores tienen tres bobinas desfasadas  $120^\circ$  físicamente (como es en el caso de los motores equipados). Y la conmutación de las bobinas se hace por conmutación senoidal.

Estos motores tienen una curva característica de par-velocidad, que se puede dividir en tres zonas, la principal zona de funcionamiento es la de par continuo, que a continuación se explicará en más detalle:

- **Zona de par intermitente (1):** Va desde velocidad cero hasta velocidad nominal, se caracteriza porque el motor de forma temporal (dependiendo del modelo elegido) es capaz de proporcionar un par mayor al nominal. Produce un sobrecalentamiento.
- **Zona de par continuo (2):** La característica curva par-velocidad es totalmente horizontal y esto quiere decir que proporciona el mayor par desde la velocidad cero hasta la nominal.
- **Zona de caída de par (3):** Por encima de la velocidad nominal, el par cae de forma lineal hasta la máxima velocidad que puede girar el motor y en ese momento el par será cero. Esta velocidad puede llegar a ser del orden de un 150 % de la velocidad nominal.

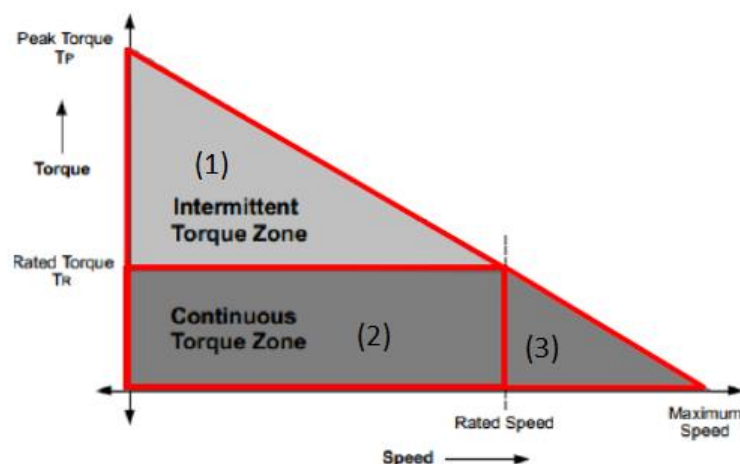


Ilustración 27: Par-velocidad motor brushless.

### 3.5 INVERSORES DC/AC:

Los convertidores de potencia CC/CA, se encargan, por conmutación del voltaje DC de entrada en una secuencia predeterminada, de generar a la salida una tensión AC cuya magnitud y fase se pueden controlar.



Ilustración 28: Convertidor para el control de los motores BLDC.

Para poder variar la velocidad de los motores, lo que hacen estos inversores es variar la frecuencia de la tensión alterna, ya que los motores brushless son síncronos.

Para conocer el control de los motores, se han introducido las fases en el osciloscopio y se ha comprobado que utilizan un control senoidal con PWM para el control de la velocidad, en la siguiente imagen se puede comprobar los resultados obtenidos.

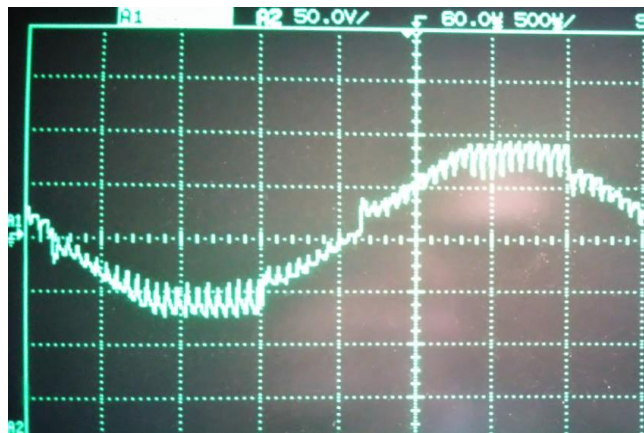


Ilustración 29: Señal de control del motor BLDC.

Una vez visto el funcionamiento, se comprobó la tensión que generan los motores cuando se deja de acelerar, por si se quisiera hacer un estudio para integrar un frenado regenerativo:

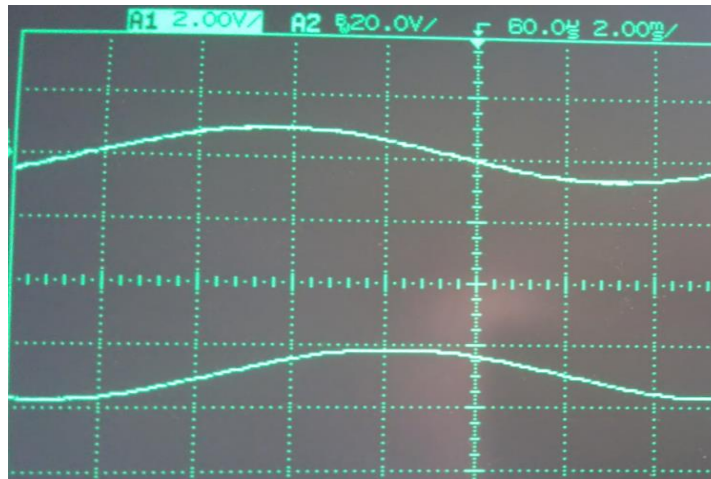


Ilustración 30: Tensión generada en el frenado.

Como se puede observar, en la imagen, hay dos tensiones, correspondientes a dos de las tres fases del motor, cada una de ellas, tiene una tensión de pico a pico de 20 V.

### 3.6 CONTROL DEL SISTEMA:

El control del sistema se va a hacer mediante el microcontrolador arduino, por estar parte de él hecho, además de la facilidad de modificar el código gracias a su interface gráfica.



Ilustración 31: Microcontrolador Arduino UNO.

Arduino UNO es una placa electrónica basada en el ATmega328p. Cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales, 6 de ellos es pueden usar como salidas PWM), presenta también 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, conexión USB.

Este microcontrolador, tiene como objetivo detectar el modo de funcionamiento, mostrar la velocidad y la carga disponible por una pantalla LCD 16x2 y como objetivo principal, hacer un PID para determinar la tensión que hay que enviar al motor delantero, en función del modo elegido y la diferencia de velocidades entre las ruedas, además de determinar la carga restante en los ultracondensadores, como mostrar por pantalla la velocidad y la carga.



## 4 DESARROLLO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO:

El trabajo final de grado se ha compuesto principalmente de dos etapas:

- 1- Comprobación del trabajo ya realizado por Iván y su implementación en un banco de pruebas.
- 2- Diseño, construcción y pruebas de la interface entre el vehículo y el usuario.

En la primera etapa, ha sido primordial el estudio de la documentación existente (revisión del TFG anterior, de los datasheet de los componentes y una comprobación funcional del prototipo). En esta última parte se ha detectado que había problemas con las conexiones debido a las soldaduras frías, cableado poco adecuado para el fin propuesto y alguna tarjeta electrónica de pruebas degradada por el transporte y almacenamiento del equipo.

Hecho eso, se ha procedido a diseñar la placa de circuito impreso y a cambiar el código, debido a que se ha introducido nuevas funciones como, por ejemplo, mostrar por una pantalla LCD el modo de funcionamiento, alertas a cerca de las baterías y la velocidad a la que se está circulando.

Un boceto del cuadro de instrumentos podría ser el siguiente:

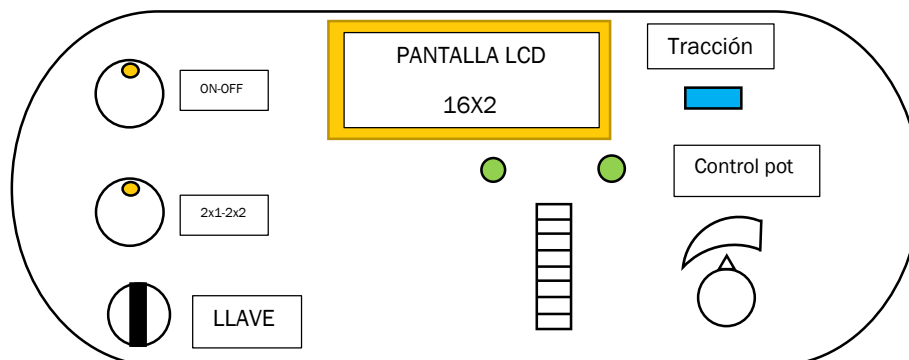


Ilustración 32: Boceto del cuadro de instrumentos.

### 4.1 DISEÑO DE LA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO:

Para diseñar este dispositivo, se va a necesitar:

- Elemento de control que gobierne todo el vehículo (arduino uno).
- Visualizador en forma de pantalla LCD para ver la velocidad, la carga de las baterías, la potencia en la rueda delantera y testigos a cerca del estado de las baterías.
- Interruptores para seleccionar el modo en el que se quiere conducir.
- Visualizadores en forma de LED para controlar en modo seleccionado, cuando entra la tracción y el nivel de aceleración que se está seleccionando.
- Reguladores de tensión, para no tener que utilizar una batería distinta para el arduino.



## 4.2 CÁLCULOS:

### 4.2.1 ALIMENTACIÓN:

Para la etapa de alimentación, se ha decidido utilizar un convertidor DC-DC buck y también un regulador lineal. El regulador lineal se ha elegido en función de los elementos conectados a la tensión de 5 V proporcionada por el arduino. Se ha seleccionado un regulador lineal LM7808C que proporciona una tensión de salida de 8 Vdc.

Al primero hay que poner un filtro a la salida para eliminar el ruido que producen los polos la conmutar, este filtro se ha sacado de la hoja de características proporcionada por el fabricante, además se ha añadido una bobina de filtrado en la tierra, para asegurar un mayor filtrado de corriente:

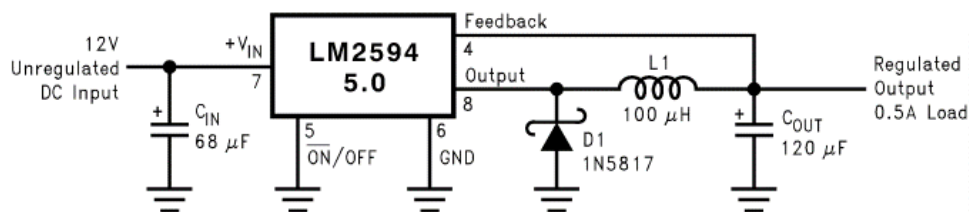


Ilustración 34: Circuito recomendado por el fabricante para el buck.

Para el segundo solo es necesario conectar dos condensadores, uno a la entrada y otro a la salida, también para filtrar posibles fluctuaciones de tensión, el esquema también es el proporcionado por el fabricante:

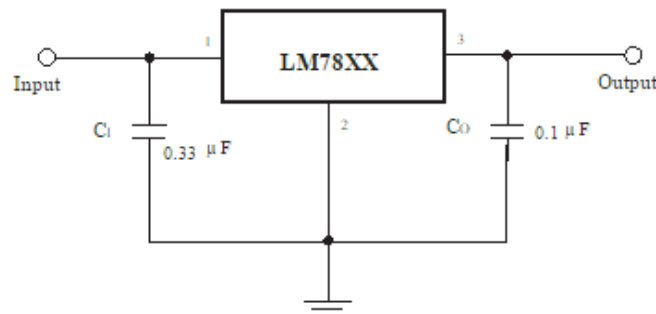


Ilustración 35: Circuito recomendado por el fabricante para el regulador lineal.

Para ver si es necesario usar un radiador para el regulador lineal, hay que ver la potencia que está disipando:

La temperatura máxima en la unión que soporta el regulador es  $T_j = 125$  °C, y la máxima temperatura ambiente que está preparado el dispositivo para funcionar son 40°C, que son las peores condiciones que se podría dar de funcionamiento.

El modelo térmico del regulador sería:

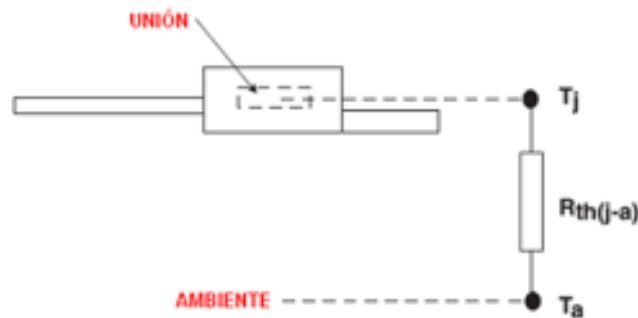


Ilustración 36: Modelo térmico del regulador lineal.

El consumo de todo el dispositivo es:

ITEM	Detalles	Valor
Consumo arduino	50 mA	50 mA
Consumo LCD <sup>2</sup>	30 mA	30 mA
Consumo LED	22,73 mA · 3 leds	68,18 mA
Consumo de botones	0,5 · 2 mA	1 mA
Consumo barra de leds	10 leds · 12,5 mA	125 mA
<b>TOTAL</b>		<b>274,19 mA</b>

Tabla 3: Consumos de los componentes alimentados por el regulador lineal.

Suponiendo que la potencia a la entrada del regulador es la misma que a la salida y que la máxima caída de tensión se produce cuando se da el máximo en el pico de entrada, este tiene que soportar una potencia de:

$$P = V \cdot I = (12 - 8) \cdot 269,61 \cdot 10^{-3} = 1,097 \text{ W} \quad \text{Ecuación 2}$$

Teniendo en cuenta esto, y que la máxima temperatura que puede soportar la unión es de 125 °C, la potencia máxima que puede disipar el regulador sin radiador es:

$$P = \frac{T_j - T_a}{R_{\text{caja-ambiente}}} = \frac{125 - 40}{60} = 1,41 \text{ W} \quad \text{Ecuación 3}$$

<sup>2</sup> El consumo de este componente se ha hallado experimentalmente, por no encontrar datos acerca de este consumo en las hojas de características.



La temperatura a la que llegaría el regulador lineal disipando esa potencia es de:

$$T_j = P \cdot R_{ja} + T_a = 1,097 \cdot 60 + 40 = 94,85 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 4}$$

Como la potencia que circula es menor que la máxima que puede disipar, entonces no sería necesario incluir un radiador. Teniendo en cuenta que la temperatura máxima que se puede alcanzar, en continuo funcionamiento, proporcionando 274,19 mA sería de 94,85 °C. Aun así, se pondrá un radiador para mayor seguridad.

Para el radiador correspondiente al buck, según la fórmula que viene en el datasheet:

$$P_D = V_{in} \cdot I_Q + \frac{V_O}{V_{in}} \cdot I_{load} \cdot V_{SAT} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

$P_D$ : potencia disipada.

$V_{in}$ : Voltaje mínimo de entrada.

$V_O$ : Voltaje regulado de salida.

$I_Q$ : Corriente inactiva, se saca del datasheet.

$V_{SAT}$ : Tensión de saturación, se saca del datasheet.

$I_{load}$ : Corriente de carga.

La corriente que se está consumiendo es de:

ITEM	Detalles	Valor
Consumo anterior	274,19 mA	274,19 mA
Integrado <sup>3</sup> LM3914	6,1 mA <sup>4</sup>	6,1 mA
20 W en luces (etapa no incluida en el prototipo)	$P = V \cdot I; I = \frac{P}{V} = \frac{20}{12} = 1,667A$	1666,67mA
<b>TOTAL</b>		<b>280,29 mA (1,946 A)</b>

Tabla 4: Consumos de los componentes alimentados por el buck.

<sup>3</sup> El integrado en reposo, es decir cuando no hay ningún led encendido, consume 6,1 mA.

Para saber la tensión de saturación y la corriente inactiva, hay que fijarse en las tablas del datasheet, para ello:

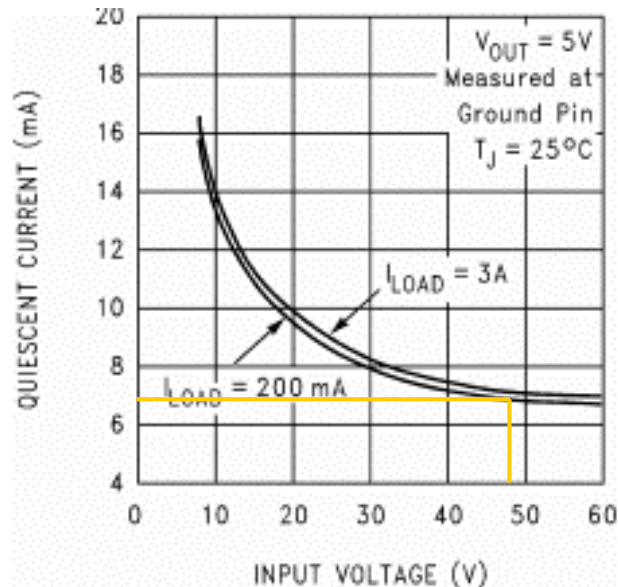


Ilustración 37: Cálculo de la corriente inactiva.

Como se puede ver en la anterior imagen, la corriente inactiva es de aproximadamente unos 7 mA para una tensión de entrada de 48 V.

Para la tensión de saturación, hay que comprobar la siguiente gráfica:

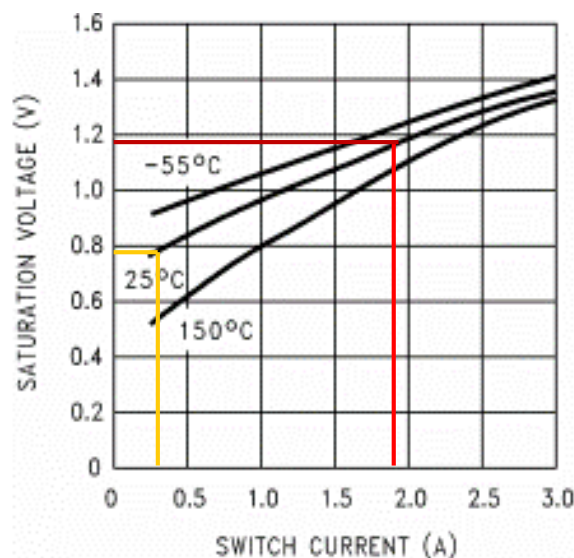


Ilustración 38: Cálculo de la tensión de saturación (amarillo para el prototipo, rojo con luces incluidas).

La corriente de conmutación es de 226,55 mA, como se ha calculado antes, y además se supone que se está trabajando a temperatura ambiente de 25 °C, por lo que la tensión de saturación es de casi 0,8 V.

Por lo tanto, la potencia que se está disipando es:

$$P_D = 48 V \cdot 7 \cdot 10^{-3} A + \frac{12 V}{48 V} \cdot 274,19 \cdot 10^{-3} A \cdot 0,8 V = 0,391 W \quad \text{Ecuación 6}$$

Por consiguiente, teniendo en cuenta ese consumo, el incremento de temperatura del convertidor continua-continua sería de:

$$\Delta T_j = P_D \cdot R_{\theta jA} = 0,391 W \cdot 32,4 \text{ } ^\circ\text{C/W} = 12,67 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 7}$$

Y la temperatura en la unión resultaría:

$$T_j = T_a + \Delta T_j = 40 + 12,67 = 52,67 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 8}$$

Al ser una temperatura menor que los 125°C de la máxima temperatura soportada en la unión, no hace falta introducir un radiador para dicho componente.

En caso de añadir una potencia en luces de 20 W, la potencia disipada sería:

$$P_D = 48 V \cdot 7 \cdot 10^{-3} A + \frac{12 V}{48 V} \cdot 1,946 A \cdot 1,19 V = 0,915 W \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\Delta T_j = P_D \cdot R_{\theta jA} = 0,915 W \cdot 32,4 \text{ } ^\circ\text{C/W} = 29,64 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$T_j = T_a + \Delta T_j = 40 + 29,64 = 69,64 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 11}$$

Por lo que con las luces incluidas no haría falta añadir radiador, además se admitiría una potencia mayor de 20 W, aun así, se incluirá un pequeño radiador.

#### 4.2.2 SENSOR DE TENSIÓN:

Este sensor va a indicar la cantidad de voltaje que tienen almacenado los ultracondensadores, por lo que tendrá que tener un consumo pequeño además de que, si se fallara una resistencia, esta anomalía no provoque desperfectos en la placa de arduino.

Se ha construido un divisor de tensión con dos resistencias y un potenciómetro para poder ajustar correctamente la lectura de arduino con el valor real de tensión que proporcionan los ultracondensadores, sin dañar el microcontrolador.

A continuación se puede apreciar el circuito diseñado:

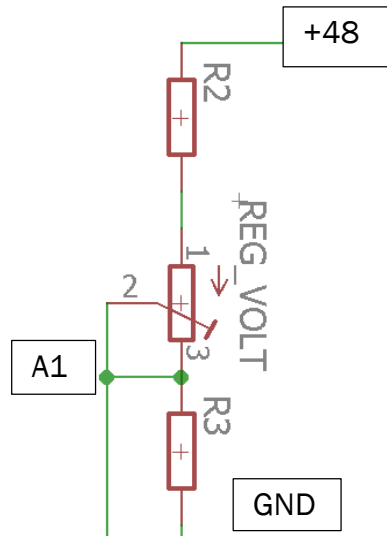


Ilustración 39: Circuito para comprobar la tensión de los ultracondensadores.

Esa es la configuración que se ha seleccionado. Para elegir los valores de las resistencias, se ha resuelto el esquema eléctrico, de tal forma que para cuando en la entrada haya una diferencia de potencial de 48 V, en el pin que va a A1, haya una diferencia de potencial de 5V, seleccionando a  $R_2 = 100 K$ :

$$I = \frac{48 - 5}{100 \cdot 10^3} = 4,3 \cdot 10^{-4} A; \quad \text{Ecuación 12}$$

Ahora sabiendo que en la resistencia  $R_3$  y en  $R_{pot}$  es de 5 V, se selecciona  $R_3 = 1,7K$ :

$$R_{pot} = \frac{5}{4,3 \cdot 10^{-4}} - 1 \cdot 10^3 = 10,6279 K \quad \text{Ecuación 13}$$

Se toma como valor de potenciómetro máximo de 10 K, la tensión no sobrepasará los 5V y se podrá hacer una regulación para conseguir los 5 V si se utilizara un batería mayor en la entrada, la tensión conseguida con este divisor de tensión es de:

$$V_{in} = 4,297 \cdot 10^{-4} \cdot (1,7 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3) = 5,02 V \quad \text{Ecuación 14}$$

Las resistencias usadas serán de  $\frac{1}{4}$  de watio.

#### 4.2.3 VÚMETRO PARA VER EL NIVEL DE CARGA DE LOS ULTRACONDENSADORES:

Antes de seleccionar el circuito de funcionamiento, este integrado tiene dos modos de funcionamiento:

1. Escala de leds: Ira encendiendo progresivamente los leds, y dejará encendidos los que estén por debajo del ultimo led encendido, el resto permanecerá apagados.

2. Modo punto: Sólo estará encendido el led correspondiente a la señal de entrada, es decir, los leds que estén por debajo del led encendido estarán apagados y los que se encuentren por encima también.

Este integrado tiene una respuesta lineal, por lo que se podrá usar como voltímetro, no como el LM3915 que tiene una respuesta logarítmica (se utiliza para mostrar los efectos de sonido en los ecualizadores, debido a que simula la respuesta auditiva del ser humano).

La diferencia entre un modo u otro está en el pin 9 del integrado, si este se lleva a la tensión de alimentación trabajará en el primer modo, si se deja al aire o se conecta a tierra estará trabajando en el modo punto.

Si se consulta el datasheet del integrado LM3914, se puede ver que el fabricante proporciona el siguiente esquema para realizar la función que nosotros queremos en nuestro vehículo:

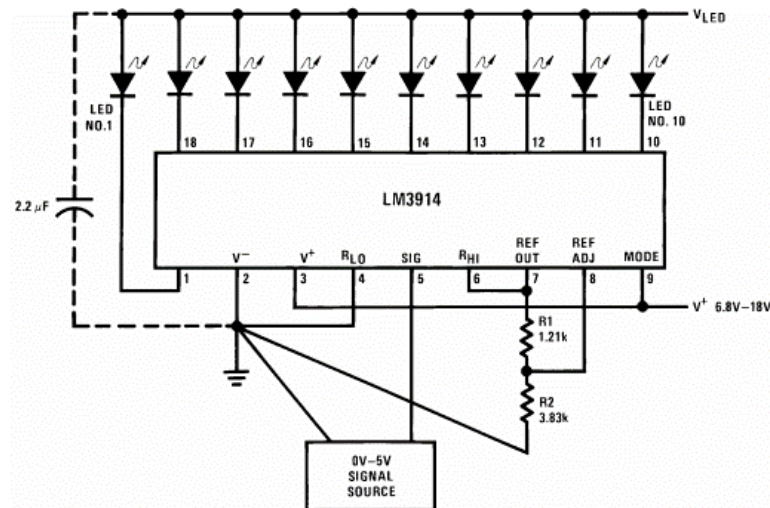


Ilustración 40: Circuito recomendado por el fabricante para el LM3914.

Además de este esquema, el fabricante proporciona dos fórmulas para conseguir que los leds de salida se enciendan progresivamente con la tensión de entrada seleccionada, estas fórmulas son:

$$I_{LED} = \frac{12,5}{R_1} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$V_{out} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad \text{Ecuación 16}$$

Una intensidad de led para que el brillo se pueda apreciar en el exterior, cuando hace un día soleado, suele estar comprendida entre los 10 mA y los 20 mA, por lo que se va a elegir una resistencia de 1 KΩ para obtener una corriente de led de 12,5 mA.

Con  $V_{out}$  el fabricante se refiere a la tensión de entrada por el pin 7, como se va a estar leyendo el valor de salida del arduino, este varía entre 0 – 5 V por lo que  $V_{out} = 5$  V. Teniendo todos estos valores, se puede despejar el valor de  $R_2$ :

$$R_2 = \left( \frac{V_{out}}{1,25} - 1 \right) \cdot R_1 = \left( \frac{5}{1,25} - 1 \right) \cdot 1K\Omega = 3K\Omega \quad \text{Ecuación 17}$$

Como no hay resistencias normalizadas de 3 K $\Omega$ , se va a elegir una resistencia de 2,7 K $\Omega$ .

El fabricante también indica que el consumo de este integrado cuando no tiene ningún led de la salida activo es de 6,1 mA. Por lo que el consumo total de esta etapa es de:

$$I_{LM3914} = 6,1 \text{ mA} + 10 \cdot 12,5 \text{ mA} = 131,1 \text{ mA} \quad \text{Ecuación 18}$$

Las resistencias elegidas serán de  $\frac{1}{4}$  de watio, y el condensador tendrá como mínimo una tensión de 12 Vdc.

Hay que tener en cuenta la tensión de alimentación de los leds ya que el circuito integrado no puede superar la disipación de potencia de 1365 mW, por lo que suponiendo que todos los leds tienen la misma caída de tensión de 1,2 V, alimentados a 8 V, el circuito integrado estará disipando una potencia de:

$$P_{disipada} = (8 - 1,2)V \cdot 12,5 \cdot 10^{-3}A \cdot 10Leds = 850 \text{ mW} \quad \text{Ecuación 19}$$

Hay que transducir la señal de los ultracondensadores, debido a que la tensión mostrada en el vúmetro va desde los 18 V hasta los 48 V que es el rango de voltajes en el cual el vehículo puede funcionar correctamente.

Para hacer esta transformación de valores, hay que pasar la información a arduino para que cuando en el pin analógico de arduino haya 1,88 V, quiere decir que hay 18 V en los ultracondensadores y por lo tanto tiene que tener el primer led encendido, pero si hay menos diferencia de potencial, tienen que estar todos los leds apagados.

El circuito integrado LM3914, en su entrada con el PWM de arduino, lo que lee son 0 – 5 V a una frecuencia dada, por lo que se procede a hacer un filtro paso-bajo. La frecuencia de arduino de los pines PWM es de 490 Hz, excepto los pines 5 y 6 que es de 980 Hz.

Se va a diseñar un filtro de bajo consumo, para no consumir mucha potencia ya que esta salida solo se va a usar como señal. Seleccionando una

resistencia en serie de 10 K $\Omega$  y un condensador en paralelo de 1  $\mu$ F, se obtiene una frecuencia de corte de:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 15,92 \text{ Hz} \quad \text{Ecuación 20}$$

Y la máxima corriente que se estaría consumiendo sería cuando el condensador estuviera descargado y en la entrada se tuviera el máximo de la fuente (5 V):

$$I_{max} = \frac{V_{in}}{R} = \frac{5}{10 \cdot 10^3} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ A} \quad \text{Ecuación 21}$$

### 4.3 SIMULACIONES:

A continuación, se procede a simular los distintos módulos para comprobar que si nuestro sistema funciona correctamente:

#### 4.3.1 REGULADOR DE TENSIÓN LM7808C:

Se realizarán las siguientes simulaciones del regulador lineal, para comprobar que con una tensión de 12 Vdc a la entrada, se obtienen 8 Vdc a la salida y comprobando a la vez la potencia que se está disipando. Haciendo el siguiente esquema.

Para simular el consumo, se va a poner en paralelo una resistencia de carga de:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{8}{274,19 \cdot 10^{-3}} = 29,18 \Omega \quad \text{Ecuación 22}$$

Por lo tanto, el esquema queda:

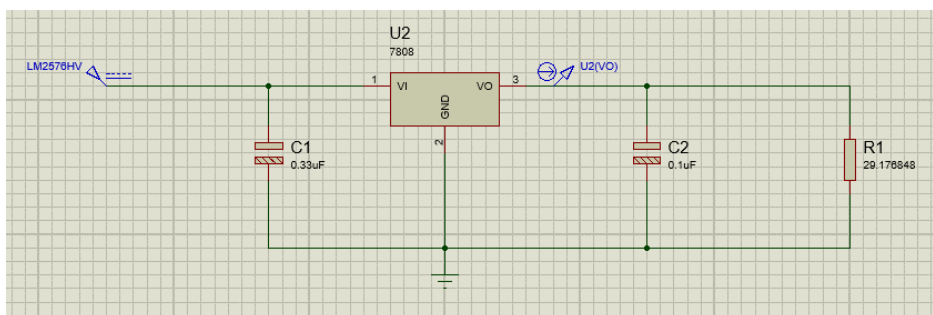


Ilustración 41: Circuito para simular el regulador de tensión.

La tensión de salida del regulador es:

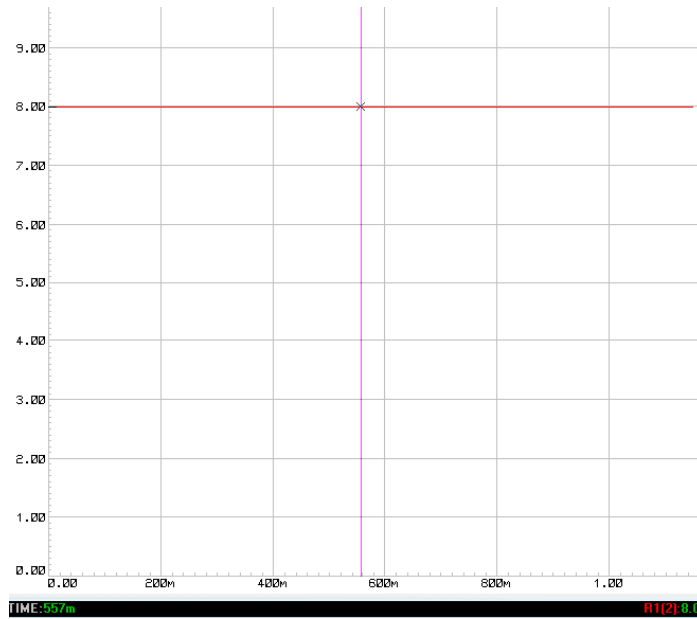


Ilustración 42: Tensión de salida del regulador lineal.

Y la corriente que se está consumiendo es:

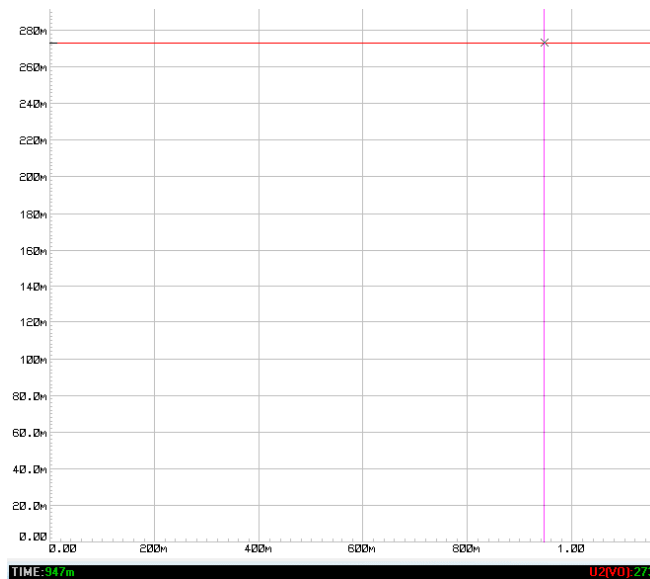


Ilustración 43: Corriente que proporciona el regulador lineal.

Por lo que la potencia que está disipando el regulador es la diferencia entre la tensión de entrada y la de salida multiplicada por la corriente que se está suministrando.

Los resultados de este apartado coinciden con los cálculos, por lo que no será necesario añadir radiador, y además la tensión de la fuente no se caerá al demandar la corriente necesaria.



### 4.3.2 VÚMETRO PARA VER EL NIVEL DE CARGA DE LOS ULTRACONDENSADORES:

Realizando el siguiente esquema, se va a comprobar la corriente que consume cada LED además de la total que llega a consumir esta etapa:

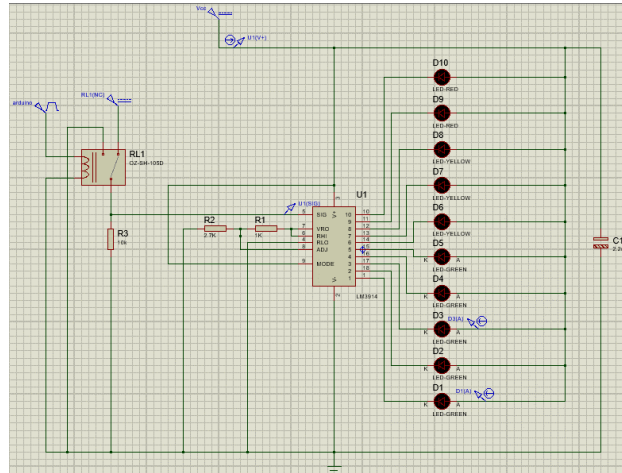


Ilustración 44: Circuito para la simulación del LM3914.

Se procede a simular distintos escenarios para comprobar si los cálculos realizados son correctos. Para empezar, se va a comprobar lo que consume el circuito en stand-by, es decir sin que ningún led esté encendido:

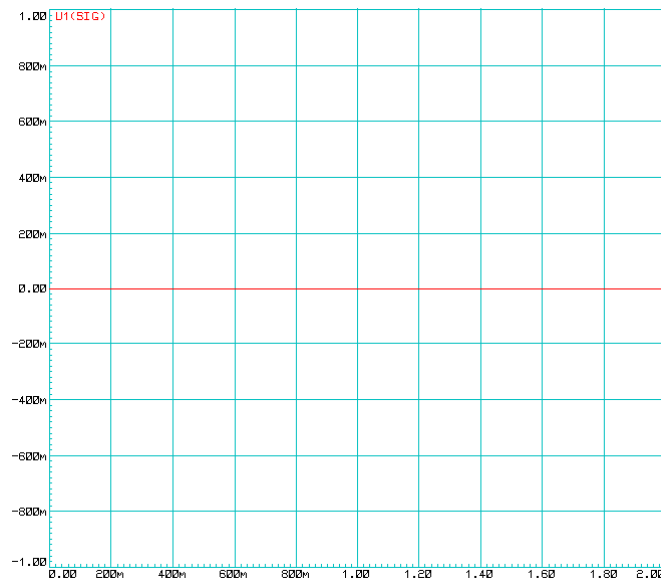


Ilustración 45: Tensión en el pin 5 del LM3914.

Como se puede ver en la anterior imagen, cuando la tensión en el pin 5 del integrado LM3914, es cero, no tiene que haber ningún led encendido y además la corriente que se está consumiendo es de 6,1 mA:

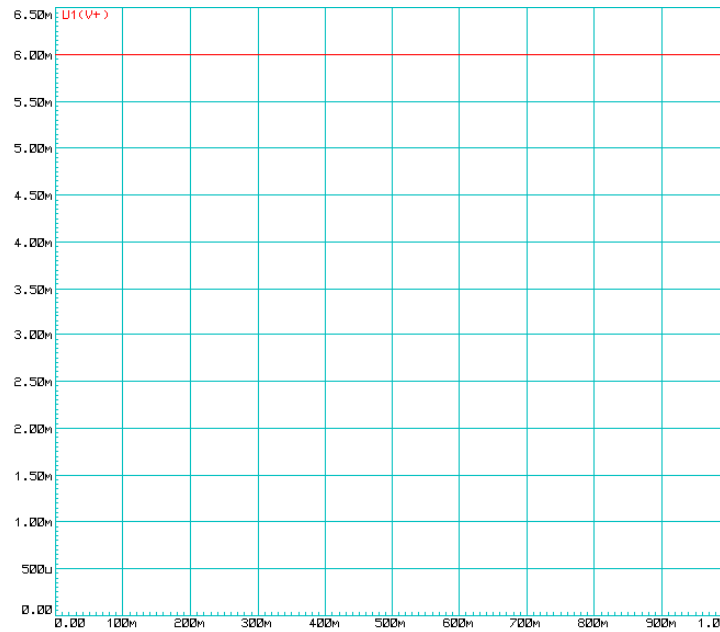


Ilustración 46: Corriente de consumo total del integrado apagado.

Para verificar si los leds están encendidos o no, se procede del siguiente modo: si el primero no está encendido, el resto tiene que estar lógicamente apagado. Si el primero está encendido, el resto puede estarlo o no.

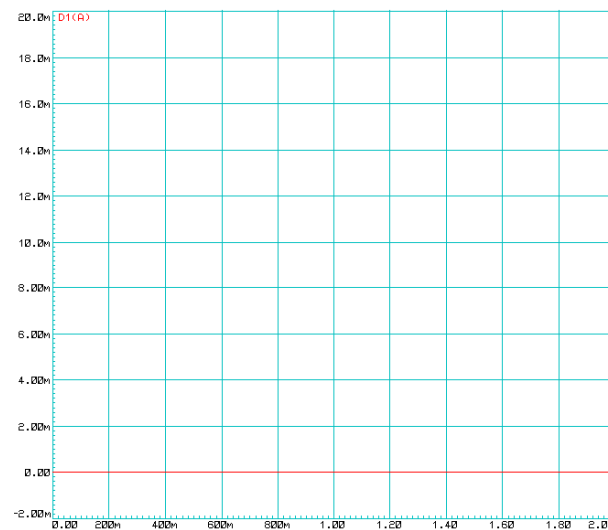


Ilustración 47: Corriente por el LED 1 apagado.

Como la corriente por el led 1 es cero, esto significa que está apagado y que por lo tanto los demás también lo están.

Como se ha podido comprobar, el consumo de corriente sí que coincide con el proporcionado por el fabricante. Seguidamente se va a verificar si la corriente por los diodos es la indicada por la fórmula.

Se ha elegido una tensión de 1,1 V para que se enciendan los dos primeros LED y comprobar que la corriente que están consumiendo cada uno de ellos es de 12,5 mA como indicaba la formula o es diferente:

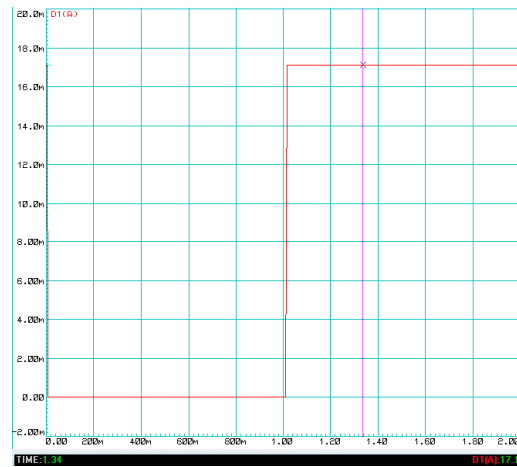


Ilustración 48: Corriente por el LED 1 encendido.

Como se puede ver en la imagen, la corriente por el LED 1 es de 17,1 mA, por lo que esta suposición no es correcta y como se va a comprobar a continuación, el consumo total de esta etapa tampoco lo es:

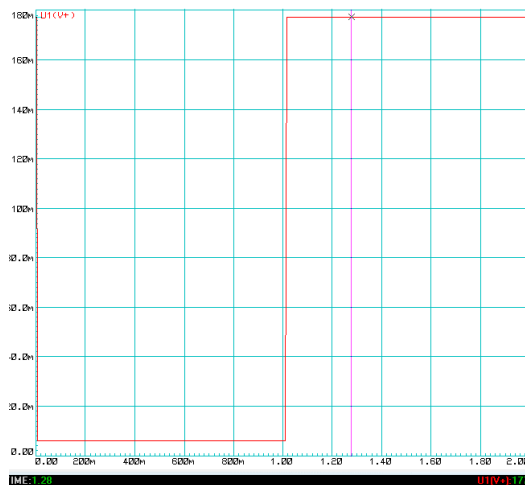


Ilustración 49: Consumo total de la parte del vumetro.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el consumo total de la etapa es de 177 mA, por lo que habrá que rehacer los cálculos acerca del radiador del regulador lineal.

El consumo de los elementos conectados al regulador lineal será de 320,18 mA, por lo que los cálculos para hallar el radiador son:

$$P = V \cdot I = (12 - 8) \cdot 320,18 \cdot 10^{-3} = 1,281 \text{ W} \quad \text{Ecuación 23}$$

Teniendo en cuenta esto, y que la máxima temperatura que puede soportar la unión es de 125 °C, la potencia máxima que puede disipar el regulador sin radiador es:

$$P = \frac{T_j - T_a}{R_{caja-ambiente}} = \frac{125 - 40}{50} = 1,41W \quad \text{Ecuación 24}$$

La temperatura a la que llegaría el regulador lineal disipando esa potencia es de:

$$T_j = P \cdot R_{ja} + T_a = 1,281 \cdot 50 + 40 = 104,05 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 25}$$

No es necesario incluir radiador, pero por seguridad se incluirá. Para realizar los cálculos correspondientes se seguirá el modelo térmico con radiador como el de la Ilustración 50, las ecuaciones quedan:

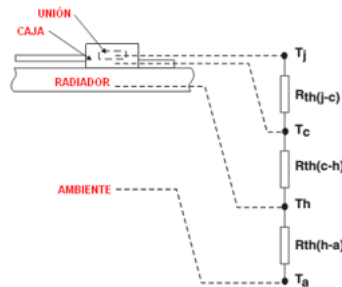


Ilustración 50: Modelo térmico de un componente con su radiador.

Se tiene que tener en cuenta la resistencia térmica<sup>5</sup> entre la caja y el disipador:

$$R_{TH-D-amb} = \frac{T_j - T_a}{P} - (R_{th\ j-c} + R_{th\ c-d}) = \frac{125 - 40}{1,281} - (5 + 1) = 60,35 \text{ } ^\circ\text{C/W} \quad \text{Ecuación 26}$$

Se ha escogido uno de 30 °C/W por tenerlo ya en el almacén, que tiene un valor más que suficiente para disipar ese calor, este mismo radiador se colocará en el LM2576HVT, aunque no es necesario.

La temperatura que alcanzará el regulador lineal es de:

$$T_j = P \cdot (R_{th\ j-c} + R_{th\ c-d} + R_{th\ d-a}) + T_a = 1,281 \cdot (5 + 1 + 30) + 40 = 86,116 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 27}$$

Para saber si el LDO de arduino (NCP1117sg) puede alimentar a todos los elementos conectados al pin de 5 V sin que se dañe, se procede a calcular la temperatura que puede llegar a alcanzar proporcionando una corriente de 150 mA, teniendo una resistencia térmica entre la unión y el ambiente de 160 °C/W:

$$T_j = P \cdot (R_{th\ j-a}) + T_a = (8 - 5)V \cdot 150 \cdot 10^{-3}A \cdot 160 \frac{C}{W} + 40^\circ\text{C} = 111,61 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 28}$$

El fabricante recomienda no sobrepasar los 175 °C por lo que no sería necesario ningún radiador.

<sup>5</sup> Valor típico de resistencia térmica sin pasta térmica ni mica. Comprendido entre 0,5 y 1 °C/W.

### 4.3.3 SENSOR DE TENSIÓN PARA LOS ULTRACONDENSADORES:

Se va proceder a simular el divisor de tensión que proporcionará la información para saber que carga queda en los ultracondensadores, para posteriormente mostrarla por el vúmetro.

Se va a comprobar que para distintos valores del potenciómetro como para distintos valores de la tensión de ultracondensadores, la salida hacia el pin A1, va estar comprendida entre 0-5 V.

Para el máximo valor de resistencia del potenciómetro, la salida del sensor de tensión será:

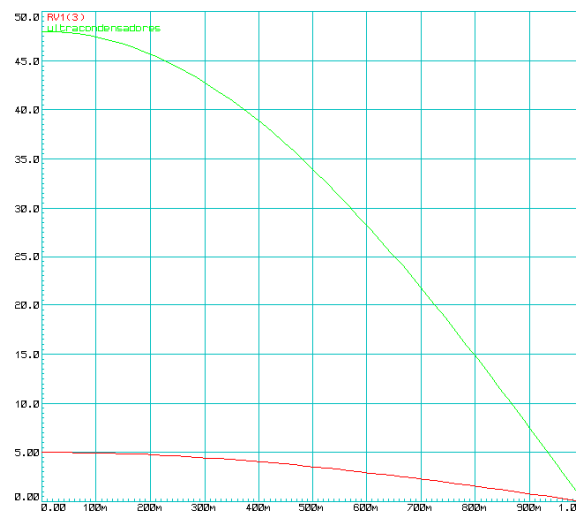


Ilustración 51: Línea roja, tensión de A1, línea verde tensión de los ultracondensadores.

Obviamente, si se coge un valor mayor de resistencia de potenciómetro, la tensión que se introducirá en el arduino será mayor y podría causar daños graves. Esta tensión máxima que se introduciría sería de:

$$I = \frac{48}{100K + 10K + 1,7K} = 4,30 \cdot 10^{-4} A \quad \text{Ecuación 29}$$

$$V_{A1} = I \cdot (10K + 1,7K) = 4,285 \cdot 10^{-4} \cdot 11,7 \cdot 10^3 = 5,02 V \quad \text{Ecuación 30}$$

Se va a comprobar a continuación en la siguiente gráfica:

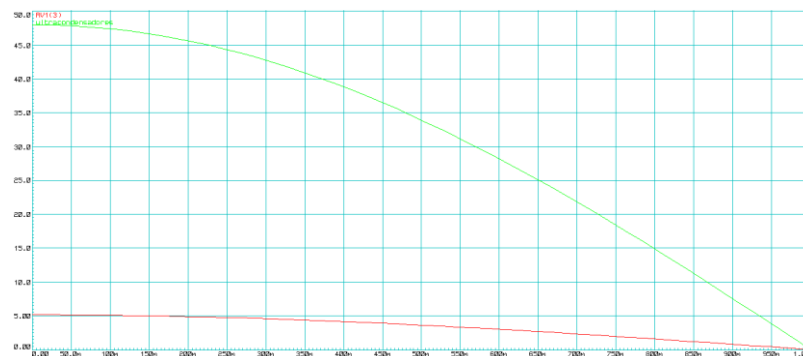


Ilustración 52: Tensión en A1 con un valor de potenciómetro mayor.

#### 4.3.4 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL FILTRO DE ENTRADA AL VÚMETRO:

A continuación, se puede ver la respuesta en frecuencia del filtro paso bajo calculado anteriormente:

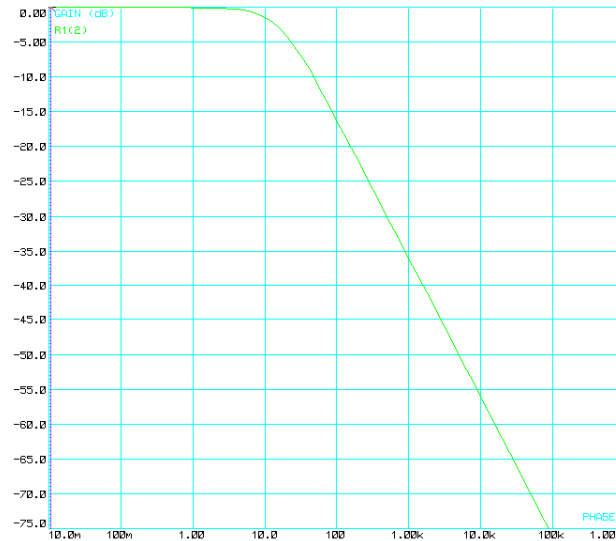


Ilustración 53: Respuesta en frecuencia del filtro del vúmetro.

Como se puede observar, la atenuación es más que suficiente para poder obtener a su salida una tensión analógica, libre de frecuencias.

La respuesta para un ciclo de trabajo del 50 %:

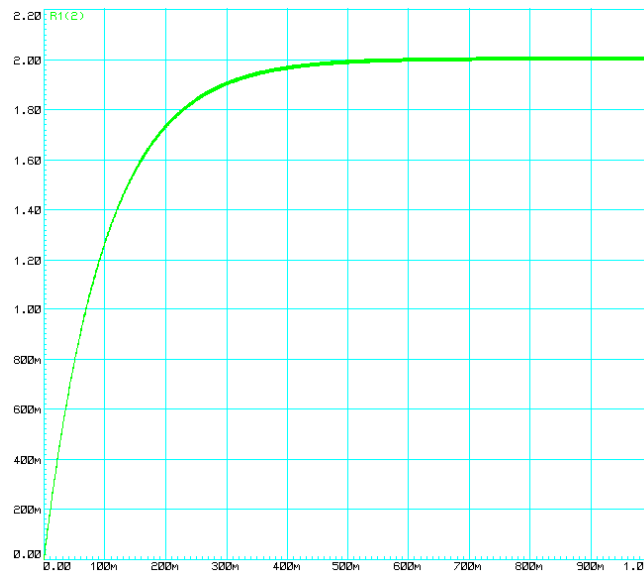


Ilustración 54: Respuesta para un ciclo de trabajo del 50 %.

En la gráfica se puede visualizar que el rizado es menor a 0,2 V y que la velocidad de respuesta es de 0,45 segundos, más que suficiente para ver la tensión en los ultracondensadores.

#### 4.4 ARCHIVOS PARA LA FABRICACIÓN DE LA PCB:

Se ha decidido realizar la placa de circuito impreso mediante una máquina de control numérico, la cual va a realizar la serigrafía mediante una fresa, los taladros, el aislado de las pistas y finalmente el corte de la placa.

Para realizar todo esto, se han creado los archivos gerber con EAGLE y posteriormente se han modificado con el software ISOCAM.

Lo primero que procede hacer es calcular la anchura de las pistas y las distancia entre ellas, según la norma IPC-2221.

La máxima corriente que va a circular por las pistas, calculada anteriormente, es de  $320,18 \cdot 10^{-3}$  A, y que el máximo incremento de temperatura por circulación de corriente sea de  $10^\circ\text{C}$  y el tamaño de las pistas, con un espesor de  $35\ \mu\text{m}$ , es de:

$$w = \frac{1}{1,378} \cdot \left( \frac{320,18 \cdot 10^{-3}}{0,048 \cdot 10^{0,44}} \right)^{\frac{1}{0,725}} = 2,458 \text{ milésimas} \quad \text{Ecuación 31}$$

Que, pasando ese valor a milímetros, se tiene una anchura de pista de  $0,06239$  mm, para sobredimensionar las pistas por seguridad, estas se han escogido con una anchura de  $0,635$  mm.

Para el clearance, distancia mínima entre pistas, se escogerá en función de la siguiente tabla:

Voltage Between Conductors (DC or AC Peaks)	Minimum Spacing						
	Bare Board				Assembly		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.13 mm
16-30	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.25 mm	0.13 mm
31-50	0.1 mm	0.6 mm	0.6 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.4 mm	0.13 mm
51-100	0.1 mm	0.6 mm	1.5 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.5 mm	0.13 mm
101-150	0.2 mm	0.6 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
151-170	0.2 mm	1.25 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
171-250	0.2 mm	1.25 mm	6.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
251-300	0.2 mm	1.25 mm	12.5 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.8 mm
301-500	0.25 mm	2.5 mm	12.5 mm	0.8 mm	0.8 mm	1.5 mm	0.8 mm
> 500 See para. 6.3 for calc.	0.0025 mm /volt	0.005 mm /volt	0.025 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt

- B1 - Internal Conductors
- B2 - External Conductors, uncoated, sea level to 3050 m
- B3 - External Conductors, uncoated, over 3050 m
- B4 - External Conductors, with permanent polymer coating (any elevation)
- A5 - External Conductors, with conformal coating over assembly (any elevation)
- A6 - External Component lead/termination, uncoated
- A7 - External Component lead termination, with conformal coating (any elevation)

Ilustración 55: Distancias entre pistas según la norma IPC-2221.

Teniendo en cuenta que el sobre pico máximo de tensión se va producir cuando los ultracondensadores estén cargados a la máxima tensión de  $48\ \text{Vdc}$ . Eligiendo el modo de operación por encima de los  $3050\ \text{m}$  por encima del nivel del mar y siendo pistas externas sin recubrimiento, hay que fijarse en la columna B3, que esta indica que tiene que haber una distancia entre pistas de

0,6 mm, que pasado a milésimas de pulgada es de 23,622. El tamaño elegido para el clearance es de 35 milésimas.

El acabado de la placa por la cara de soldadura tendría un aspecto parecido al siguiente:

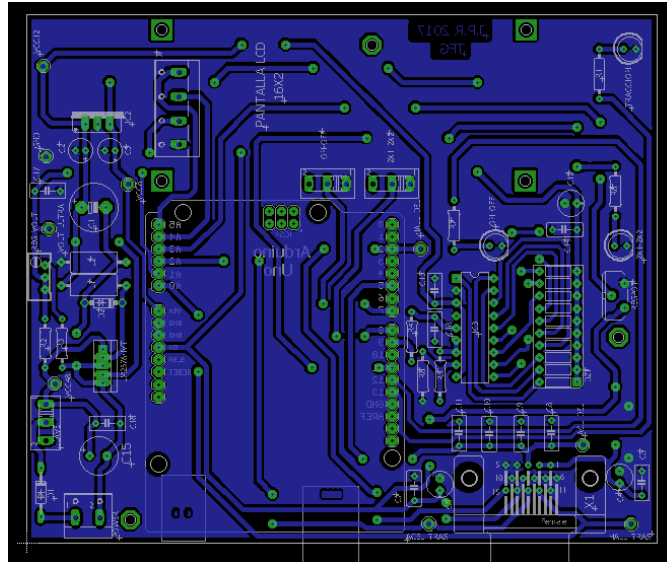


Ilustración 56: Aspecto final de la cara de soldadura.

En la cara de componentes deberán que ir colocados unos puentes, por haber realizado esta placa por una sola cara. Estos puentes estarán representados en trazos de color rojo.

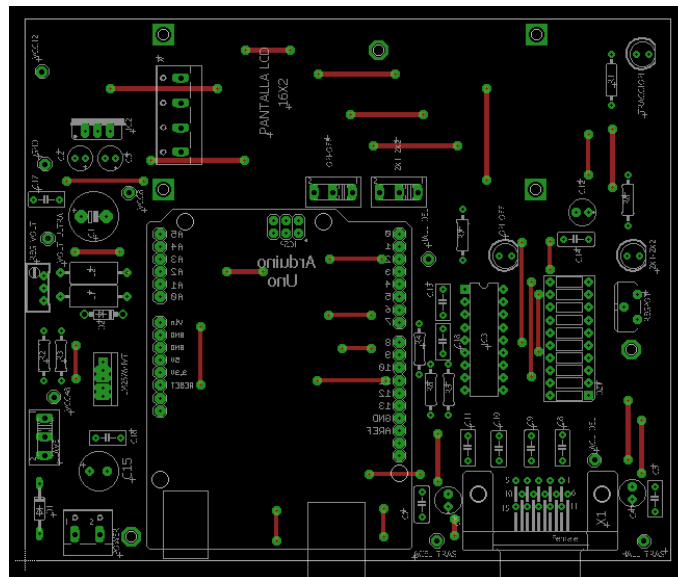


Ilustración 57: Aspecto final de la cara de componentes.

De igual forma, se han realizado los cálculos para el conector. Al disponer de espacio suficiente, se han elegido las pistas del mismo tamaño que las elegidas para la máxima circulación de corriente en el control. El aspecto de la placa es el siguiente:



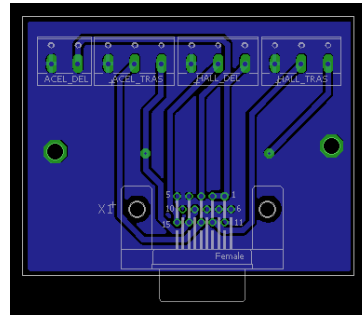


Ilustración 58: Aspecto final del conector por la cara de soldadura.

Para el caso de la cara de componentes hay una pista, pero en la construcción final del prototipo se usará una PCB por una sola cara por lo que esa pista se corresponderá con un puente:

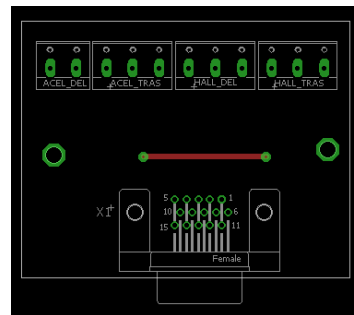


Ilustración 59: Aspecto final del conector por la cara de componentes.

En los anexos se incluirán los planos necesarios para la construcción de la placa de circuito impreso, incluyendo los archivos gerber para el taladrado y el fresado.

#### 4.5 MODIFICACIÓN DEL CÓDIGO:

Para poder visualizar la velocidad el modo de funcionamiento y la potencia en la rueda delantera por la pantalla LCD, se ha tenido que incluir dos librerías para poder controlar correctamente dicha pantalla.

Además, durante las pruebas, se detectó que en los modos de funcionamiento de 2x1 ON y 2x2 ON, cuando se estaba usando una aceleración media, la rueda delantera se quedaba acelerada continuamente a una velocidad constante, no respondiendo a la señal que se mandaba por el acelerador y para evitar el error había que resetear el arduino o cambiar de modo a 2x1 OFF. Por lo que se revisó el código entero en busca de ese fallo.

La primera librería es Wire.h, esta sirve para comunicarse con los dispositivos periféricos con protocolo I2C. A la pantalla LCD se le ha añadido un dispositivo para poder ahorrar pines de arduino (más adelante se hablará de este elemento), ya que ahora sólo se necesitan cuatro pines, alimentación (5 voltios y tierra), la línea de datos, comúnmente denominada SDA (pin 4

analógico de arduino) y línea de reloj, denominada SCL (pin 5 analógico de arduino) y de esta forma se puede comunicar con la pantalla por protocolo I2C.

Para realizar esta comunicación, se necesita conocer la dirección de memoria de la pantalla LCD, para ello se ha tenido que utilizar un sketch ya realizado y comprobar qué dirección de memoria tiene adjudicada: el código usado es el siguiente:

```
#include <Wire.h>

void setup()
{
  Wire.begin();

  Serial.begin(9600);
  Serial.println("\nI2C Scanner");
}

void loop()
{
  byte error, address;
  int nDevices;

  Serial.println("Scanning...");

  nDevices = 0;
  for(address = 1; address < 127; address++ )
  {
    Wire.beginTransmission(address);
    error = Wire.endTransmission();

    if (error == 0)
    {
      Serial.print("I2C device found at address 0x");
      if (address<16)
        Serial.print("0");
      Serial.print(address,HEX);
      Serial.println(" !");

      nDevices++;
    }
    else if (error==4)
    {
      Serial.print("Unknow error at address 0x");
      if (address<16)
        Serial.print("0");
      Serial.println(address,HEX);
    }
  }
  if (nDevices == 0)
    Serial.println("No I2C devices found\n");
  else
    Serial.println("done\n");
}
```

```
    delay(5000);    // wait 5 seconds for next scan
}
```

Lo siguiente que se ha hecho es incluir la librería LiquidCrystal\_I2C.h, con esta lo que se consigue es controlar la pantalla basada en el Hitachi HD44780. De esta forma se puede controlar la pantalla LCD con las mismas funciones que una pantalla sin protocolo I2C.

Una vez hecho esto, se ha procedido a cambiar los pines analógicos para poder usar el protocolo I2C, y también añadir nuevas funciones como la medición de la carga en los ultracondensadores o la medida de potencia entregada a la rueda delantera

Las nuevas funciones que se han llevado a cabo son:

#### 4.5.1 MUESTRA VELOCIDAD:

```
void muestra_velocidad ()
{
    //Se producen 16 interrupciones en una vuelta, por lo que habra que tenerlo
    en cuenta

    if ((millis() - t_actual) > 1000) //se pone a cero cuando se pasa el tiempo de
    un segundo
    {
        cli(); //deshabilitamos las interrupciones globales para realizar los calculos
        vel_lineal = rpm * pi / 8 * 3.6 * DIAMETRO_RUEDA / 2; //V=R*W por lo que
        hay que pasar las rpm a rad/s y despues la velocidad lineal que esta en m/s a
        Km/h
        sei(); //habilitamos las interrupciones de nuevo
        lcd.setCursor(0, 0); //Se empieza en el caracter 0, de la linea 1

        if (vel_lineal < 10)
        {
            lcd.print("Speed: ");
            lcd.setCursor(7, 0);
            lcd.print(vel_lineal);
        }

        else
        {
            lcd.print("Speed:");
            lcd.setCursor(6, 0);
            lcd.print(vel_lineal);
        }

        lcd.setCursor(11, 0);
        lcd.print(" Km/h");//muestra la velocidad con 2 decimal

        rpm = 0; //se pone a cero las rpm
    }
}
```

```
t_actual = millis(); //se actualiza el tiempo  
}  
}
```

De esta forma, se mide la velocidad en la rueda delantera, aprovechando las interrupciones producidas por el sensor hall. Para ello, conociendo las interrupciones que se producen en un segundo, y que cada rueda tiene dieciséis imanes, por lo que por cada revolución se producirán dieciséis interrupciones, sabiendo esto, se hace la siguiente ecuación para determinar la velocidad lineal:

$$v = \frac{\text{interrup}}{s} \cdot \frac{60s}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ vuelta}}{16 \text{ interrup}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{vuelta}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60s} \cdot \frac{\text{diametro}}{2} \cdot \frac{3600s}{1h} \cdot \frac{1000m}{1km}$$

Ecuación 32

$$= \text{interrupciones} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot 3,6 \cdot \frac{\text{diametro}}{2} \text{ [Km/h]}$$

Para realizar estos cálculos, se deshabilitan las interrupciones y así evitar hacer lecturas erróneas de velocidad.

#### 4.5.2 MUESTRA TENSIÓN:

Para la medición de tensión en los bornes de los ultracondensadores, se hace un cambio de escala con la función map, es decir, se están leyendo valores comprendidos entre 0 y 1023, y lo que se va a mostrar es el porcentaje, por lo que a la salida se va a visualizar valores comprendidos entre 0 y 100 %, esta potencia se mostrará por la pantalla LCD en la parte inferior derecha.

El código de esta parte es el siguiente:

```
void muestra_tension ()  
{  
  volatile int voltaje = analogRead (lectura_voltaje);  
  voltaje_modificado = map (voltaje, 0, 1023, 0, 100); //se hace mapea el  
  voltaje para traducirlo a porcentaje  
  
  if (voltaje_modificado < 100 && voltaje_modificado > 9) //se borra otra vez el  
  exceso de numeros  
  {  
    lcd.setCursor (1,11);  
    lcd.print (" ");  
  }  
  if (voltaje_modificado < 9)  
  {  
    lcd.setCursor (1,10);  
    lcd.print (" ");  
  }  
  lcd.setCursor(0,1); //Se empieza en el caracter 0, de la linea 1
```

```
lcd.print("Carga %: ");  
lcd.print(voltaje_modificado);  
}
```

Hay que tener en cuenta, que cuando en la pantalla LCD, se deja de escribir un carácter, este se queda en la pantalla y no se borra, por lo que se procede ir a esa posición y poner un espacio para así poder borrarlo.

#### 4.5.3 SELECTOR DE MODO:

También, se ha modificado la forma de elegir los modos de funcionamiento, ya que anteriormente se podía seleccionar todos modos, actualmente sólo hay dos botones, uno que selecciona el modo ON-OFF y el otro 2x1-2x2, de esta forma sólo se permite seleccionar un modo, además de mostrar por la pantalla el modo seleccionado, se indicará mediante diodos LED si el modo es ON-OFF o 2x1-2x2.

Las condiciones lógicas para entrar en los distintos modos son:

BOTON 2x1-2x2	BOTON ON-OFF	MODO DE FUNCIONAMIENTO
HIGH	HIGH	2x1 OFF
HIGH	LOW	2x1 ON
LOW	HIGH	2x2 OFF
LOW	LOW	2x2 ON

Tabla 5: Estados de los botones.

El código correspondiente a la selección de modo es:

```
void SELECCION_DEL_MODO()  
{  
  // Leemos el valor de los botones y lo guardamos en una variable  
  int VALOR_ON_OFF = digitalRead (BOTON_ON_OFF);  
  int VALOR_2X2_2X1 = digitalRead (BOTON_2X2_2X1);  
  
  /*Hay que tener en cuenta que las resistencias pull-up  
  invierten la lógica de los pulsadores. En el pin obtendremos  
  nivel ALTO cuando el pulsador esté sin pulsar y BAJO cuando  
  el interruptor esté pulsado.*/  
  
  if (VALOR_ON_OFF == HIGH && VALOR_2X2_2X1 == HIGH) // SI EL SWITCH  
  ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X1 OFF  
  {  
    if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1)  
    {  
      lcd.setCursor(0, 1);  
      lcd.print("2x1 off");  
    }  
  }  
  
  if (FLAG_0 == 0) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ  
  {
```

```
digitalWrite (LED_ON_OFF, LOW); // DE MOMENTO COMENTADO, SE APAGA
EL LED QUE INDICA QUE EL MODO_0 ESTÁ ACTIVADO
digitalWrite (LED_2X2_2X1, LOW);

//Serial.println("MODO 2X1 OFF\t"); // SE MUESTRA POR PANTALLA QUE
ESTAMOS EN EL MODO 2X1 OFF

sei(); // HABILITAMOS LAS INTERRUPCIONES

MODO_0 = 1; // ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 0
Serial.println ("Modo 0");
FLAG_0 = 1;
PRIMERA_VEZ_MODO_0 = 1; // CADA VEZ QUE CAMBIEMOS ESTE MODO
ESTA VARIABLE SE PONDRÁ A 1
}
}

else // SI EL SWITCH NO ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X1 OFF
{
  if (FLAG_0 == 1) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
  {
    FLAG_0 = 0;
    MODO_0 = 0; // NO ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 0
  }
}

if (VALOR_ON_OFF == LOW && VALOR_2X2_2X1 == HIGH) // SI EL
SWITCH ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X1 ON
{
  if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1)
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("2x1 on ");
  }
}

if (FLAG_1 == 0) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
{
  digitalWrite (LED_ON_OFF, HIGH);
  digitalWrite (LED_2X2_2X1, LOW);
  FLAG_1 = 1;
  MODO_1 = 1; // ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 1
  Serial.println ("Modo 1");

  CONTADOR_TRASERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
CAMBIEMOS DE MODO
  CONTADOR_DELANTERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ
QUE CAMBIEMOS DE MODO
```

```
tiempo_anterior = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO
EN EL QUE SE REALIZÓ EL BUCLE ANTERIOR DE COMPARACION DE FLANCOS
ENTRE LAS RUEDAS
tiempo_anterior_PID = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL
TIEMPO EN EL QUE SE EJECUTÓ EL PID ANTERIOR

sei();// HABILITAMOS LAS INTERRUPTIONES
//Serial.println("MODO 2X1 ON\t"); // SE MUESTRA POR PANTALLA QUE
ESTAMOS EN EL MODO 2X1 ON
}
}
else // SI EL SWITCH NO ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X1 ON
{
  if (FLAG_1 == 1) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
  {
    FLAG_1 = 0;
    MODO_1 = 0; // NO ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 1
  }
}

if (VALOR_ON_OFF == HIGH && VALOR_2X2_2X1 == LOW) // SI EL SWITCH
ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X2 OFF
{
  if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1)
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("2x2 off");
  }
}

if (FLAG_2 == 0) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
{
  digitalWrite (LED_ON_OFF, LOW);
  digitalWrite (LED_2X2_2X1, HIGH);
  FLAG_2 = 1;
  MODO_2 = 1; // ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 2
  Serial.println ("Modo 2");
  CONTADOR TRASERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
CAMBIEMOS DE MODO
  CONTADOR DELANTERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ
QUE CAMBIEMOS DE MODO

  tiempo_anterior = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO
EN EL QUE SE REALIZÓ EL BUCLE ANTERIOR DE COMPARACION DE FLANCOS
ENTRE LAS RUEDAS
  tiempo_anterior_PID = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL
TIEMPO EN EL QUE SE EJECUTÓ EL PID ANTERIOR

  sei();// HABILITAMOS LAS INTERRUPTIONES
```



```
//Serial.println("MODO 2X2 OFF\t"); // SE MUESTRA POR PANTALLA QUE
ESTAMOS EN EL MODO 2X2 OFF
}
}
else // SI EL SWITCH NO ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X2 OFF
{
  if (FLAG_2 == 1) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
  {
    FLAG_2 = 0;
    MODO_2 = 0; // NO ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 2
  }
}

if (VALOR_ON_OFF == LOW && VALOR_2X2_2X1 == LOW) // SI EL SWITCH
ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X2 ON
{
  if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1)
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("2x2 on ");
  }

  if (FLAG_3 == 0) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
  {
    digitalWrite (LED_ON_OFF, HIGH); // DE MOMENTO COMENTADO, SE
ENCIENDE EL LED QUE INDICA QUE EL MODO_1 ESTÁ ACTIVADO
    digitalWrite (LED_2X2_2X1, HIGH);
    FLAG_3 = 1;
    MODO_3 = 1; // ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 3
    Serial.println ("Modo 3");
    CONTADOR_TRASERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
CAMBIEMOS DE MODO
    CONTADOR_DELANTERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ
QUE CAMBIEMOS DE MODO

    tiempo_anterior = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO
EN EL QUE SE REALIZÓ EL BUCLE ANTERIOR DE COMPARACION DE PULSOS
ENTRE LAS RUEDAS
    tiempo_anterior_PID = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL
TIEMPO EN EL QUE SE EJECUTÓ EL PID ANTERIOR

    sei();// HABILITAMOS LAS INTERRUPCIONES
    //Serial.println("MODO 2X2 ON\t"); // SE MUESTRA POR PANTALLA QUE
ESTAMOS EN EL MODO 2X2 ON
  }
}
else // SI EL SWITCH NO ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X2 ON
{
  if (FLAG_3 == 1) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
```



```
{  
  FLAG_3 = 0;  
  MODO_3 = 0; // NO ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 3  
}  
}  
}
```

#### 4.5.4 MOSTRAR POTENCIA:

Con esta función se indica la potencia seleccionada con el potenciómetro que se está entregando a la rueda delantera. Esta selección de potencia ira de 10% en 10%.

Se procede a mostrar el código:

```
void mostrar_potencia ()  
{  
  if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1)  
  {  
    valor_regulador = analogRead(Regulador_de_potencia); // Guardamos el  
    valor del acelerador  
  
    if (valor_regulador <= 100)  
    {  
      valor_nuevo = 0.1;  
    }  
    else if (100 < valor_regulador && valor_regulador <= 200)  
    {  
      valor_nuevo = 0.2;  
    }  
    else if (200 < valor_regulador && valor_regulador <= 300)  
    {  
      valor_nuevo = 0.3;  
    }  
    else if (300 < valor_regulador && valor_regulador <= 400)  
    {  
      valor_nuevo = 0.4;  
    }  
    else if (400 < valor_regulador && valor_regulador <= 500)  
    {  
      valor_nuevo = 0.5;  
    }  
    else if (500 < valor_regulador && valor_regulador <= 600)  
    {  
      valor_nuevo = 0.6;  
    }  
    else if (600 < valor_regulador && valor_regulador <= 700)  
    {  
      valor_nuevo = 0.7;  
    }  
  }  
}
```

```
else if (700 < valor_regulador && valor_regulador <= 800)
{
    valor_nuevo = 0.8;
}
else if (800 < valor_regulador && valor_regulador <= 900)
{
    valor_nuevo = 0.9;
}
else// (900 < valor_regulador && valor_regulador <= 1023)
{
    valor_nuevo = 1.0;
}

lcd.setCursor(0, 1); //Se empieza en el caracter 0, de la linea 2

if (valor_nuevo == 1) //Si la potencia seleccionada es 100% se hace un
espacio menos para conseguir
{ //El signo de % al final del todo
    //lcd.print("Power: ");
    lcd.setCursor(11, 1);
    lcd.print(valor_nuevo * 100, 0);
}

else //Si la potencia seleccionada es menor del 100% se
pone un espacio de más por
{ //la misma razon que antes
    //lcd.print("Power: ");
    lcd.setCursor(11, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(valor_nuevo * 100, 0);
}

lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print(" %");
}
else
{
    lcd.setCursor (0, 1);
    lcd.print (" CHARGE NEEDED! ");
}
}
```

#### 4.5.5 LECTURA DE VOLTAJE:

En esta función se lee el voltaje proveniente de los ultracondensadores, para mandar al vúmetro la señal correspondiente e indica por la pantalla LCD que la batería esta baja o hay que poner a cargar el prototipo. El código correspondiente a esta sección de código es:

```
void leer_tension ()
{
    volatile int voltaje = analogRead (lectura_voltaje); //Se lee el voltaje del pin 0
    analogico

    voltaje_leido = map (voltaje, 0, 1023, 0, 500); //Se mapea entre 0-500 para
    despues dividir entre 100 y obtener un valor con dos difras decimales
    voltaje_leido = voltaje_leido / 100;    //Se pasa el valor con dos decimales

    voltaje_filtrado = voltaje_filtrado + (voltaje_leido - voltaje_filtrado)/
    SAMPLES_TO_AVERAGE; //Se actualiza la media

    voltaje_modificado = map (voltaje_filtrado, 0, 1023, 0, 100); //se hace mapea
    el voltaje para traducirlo a porcentaje

    if (voltaje_filtrado >= 1.88)
    {
        voltaje_filtrado = voltaje_filtrado*100; //Se vuelve a pasar con dos
        decimales para tener mayor precision
        volt_traducido_vumetro = map (voltaje_filtrado, 187, 500, 25, 255); //Se
        mapea el valor para poner un 0 cuando en la entrada haya 16 V y un 5 para
        cuando haya 0 V
        voltaje_filtrado = voltaje_filtrado/100;
    }
    else
        volt_traducido_vumetro = 0; //Si la tension es menor que 16 V poner 0 V a
        la salida siempre

    analogWrite (tension_vumetro, volt_traducido_vumetro);

    if (voltaje_filtrado <= 2.60 && voltaje_filtrado >= 1.88) //Voltaje
    correspondiente a 25-16 V en los ultacondensadores para indicar que la carga
    esta baja
    {
        bateria_baja = 1;
        lcd.setCursor (7,1);
        lcd.print (" ");
        lcd.write (byte (0)); //Se imprime el primer caracter de la bateria
        lcd.write (byte (1)); //Se imprime el segundo caracter de la bateria
        lcd.print (" ");
    }
    else if (voltaje_filtrado < 1.88) //Voltaje por debajo de los 16 V que el boost
    ya no podria elevar a 36 V
        bateria_baja = 2;
    else
    {
        if (bateria_baja == 2) //se borra la pantalla para eliminar letras no deseadas
            lcd.clear ();
        else if (bateria_baja == 1) //Se borra el icono de la bateria
```

```
{  
  lcd.setCursor(8,1);  
  lcd.print(" ");  
}  
else  
  bateria_baja = 0;  
}  
}
```

Para indicar que la batería está baja, se ha tenido que crear un icono de batería que como se puede ver en el código. Aparecerá cuando la batería está comprendida entre los 18-24 V. Por debajo de los 18 V saldrá por pantalla el aviso: "LOW BATTERY NEED CHARGE!".

Para la creación del icono se ha necesitado dos caracteres, de los cuales se han codificado en binario de la siguiente forma:

1. Primer carácter:

0	0	1	0	0
1	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	0
1	1	1	1	0
1	0	1	0	0
1	0	0	0	0
1	1	1	1	1

2. Segundo carácter:

0	0	1	0	0
1	1	1	1	1
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
0	1	1	0	1
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
1	1	1	1	1

Tabla 6: Codificación en bits de la batería.

El código para la creación del icono de batería es:

```
//--CREACIÓN DEL CARACTER BATERIA--//  
byte bat_1[8] = {  
  B00100,  
  B11111,  
  B10000,  
  B10100,  
  B11110,  
  B10100,  
  B10000,  
  B11111,  
};  
byte bat_2[8] = {  
  B00100,  
  B11111,  
  B00001,  
  B00001,  
  B01101,  
};
```

```
B00001,  
B00001,  
B11111,  
};  
    Y dentro del void setup ():  
void setup()  
{  
    .  
    .  
    .  
    //Se crean los nuevos caracteres  
    lcd.createChar (0,bat_1);  
    lcd.createChar (1,bat_2);  
    .  
    .  
    .  
}
```

#### 4.5.6 CAMBIO DE LOS VALORES DEL PID:

También se ha realizado un pequeño reajuste del PID debido a que se ha tenido que cambiar el filtro de salida del acelerador delantero ya que no proporcionaba 5 V de señal máxima, debido al alto consumo del filtro. Como consecuencia, la rueda delantera no podía girar a la misma velocidad que la trasera, sólo hasta que alcanzaba una velocidad máxima de 10 Km/h, que se correspondía a una señal de 2,5 V, tensión máxima que proporcionaba el control delantero.

Al no tener valores del sistema a regular y no poder desarrollar un estudio matemático completo, se procede a sintonizar un PID mediante un ajuste por aproximaciones, empezando por el valor de Kp, siguiendo con el valor de Kd y finalizando con el valor de Ki, buscando inicialmente una buena respuesta del control para posteriormente refinar el comportamiento buscando mejorar la estabilidad y minimizar el error en el estado estacionario.

Otro error es que la rueda delantera empezaba a girar antes que la trasera, por lo que se tuvo que variar los límites mínimos para que esto no ocurriera, ya que el control tiene diseñada una función, con la cual, las dos ruedas comienzan a girar a la vez (antes de que el control PID entre en funcionamiento).

Con los nuevos valores seleccionados, de filtro y PID, la rueda delantera sigue a la trasera con un error en la velocidad de 0,50 km/h, en vacío, hasta el máximo de señal de entrada de los convertidores, que en ese instante la rueda trasera irá más rápida debido a la diferencia de potencias entre los convertidores.

#### 4.6 CONSTRUCCION DE LAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO:

En las instalaciones del Departamento de Tecnología Electrónica (DTE), en el laboratorio de métodos y herramientas del diseño electrónico, se ha llevado a cabo el proceso de fabricación.

La primera idea que se tuvo a cerca de la fabricación era hacer todo el proyecto con la máquina de control numérico (aislado de pistas, taladrado, serigrafía y corte de placa), pero por diversos fallos en la misma se descartó dicho proceso, aun así, en los anexos se van a incluir dichos ficheros de fabricación, para hacerlo mediante este método.

Lo primero que se hizo es taladrar la placa con la máquina de control numérico:

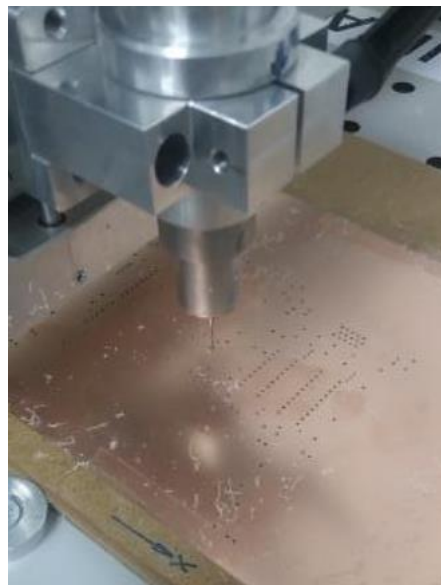


Ilustración 60: Taladrado con la máquina de control numérico.

El siguiente proceso es colocar el fotolito e insolar la placa, este método se hace para debilitar la resina fotosensible que recubre el cobre para protegerlo del ataque con ácido:

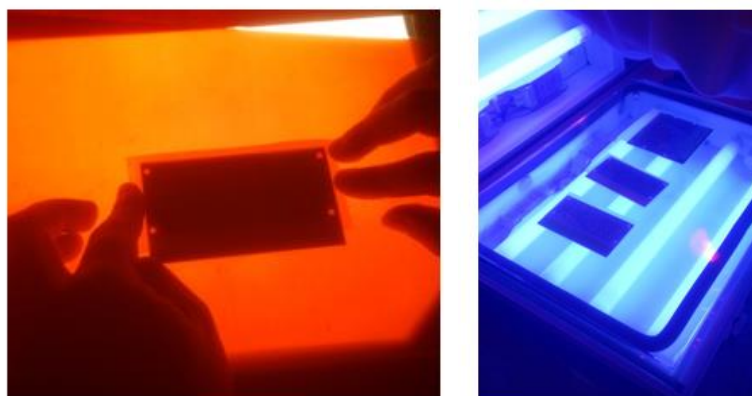
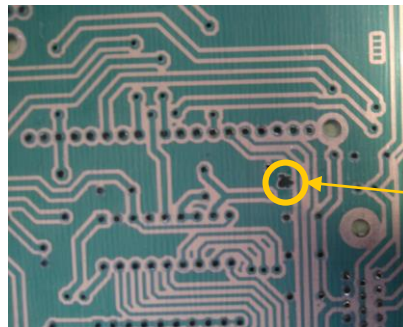


Ilustración 61: Colocación del fotolito (izquierda) e insulado (derecha).

Lo siguiente al insolado fue dar un baño en un baño de hidróxido de sodio disuelto en agua para eliminar las zonas de resina que no estaban cubiertas por el fotolito. El resultado es el siguiente:



Error en la resina  
foto sensible

Ilustración 62: Acabado de la PCB después del atacado con sosa.

Posteriormente, se prepara una mezcla de agua (30 ml), ácido clorhídrico (30 ml) y peróxido de hidrogeno 110 vol. (agua oxigenada, 30 ml), para eliminar el cobre que no está cubierto por la resina fotosensible.

El proceso de atacado del cobre se realiza en una cubeta de plástico. Con ayuda de unos guantes de látex para evitar quemaduras en la piel debido al ácido, se realiza esta operación. El residuo sobrante es de color verdoso debido al cobre disuelto.

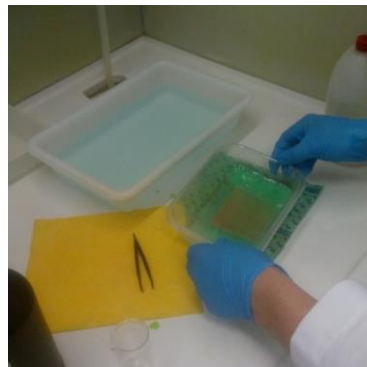


Ilustración 63: Proceso de atacado del cobre.

Finalmente, se sacará la placa del ácido, se limpiará con abundante agua y seguidamente, con alcohol etílico, se eliminará la resina sobrante que está cubriendo el cobre para poder soldar.

El resultado al final del proceso es:

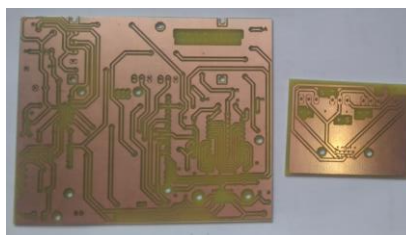


Ilustración 64: Acabado final de la PCB.



## 4.7 ERRORES OBSERVADOS/COMETIDOS:

### 4.7.1 BOBINA DE FILTRADO:

Se añadió una bobina de filtrado de 100  $\mu\text{H}$ , en la tierra, para obtener un menor rizado en la tensión. Se había puesto, por error, antes del condensador de salida del buck, como se puede ver en la siguiente imagen:

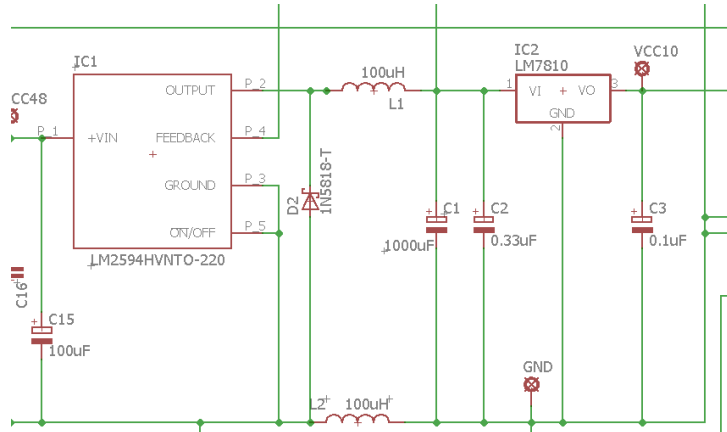


Ilustración 65: Bobinas de filtrado.

La tensión de salida con la bobina de abajo conectada de esta forma, se puede ver en la Ilustración 66:

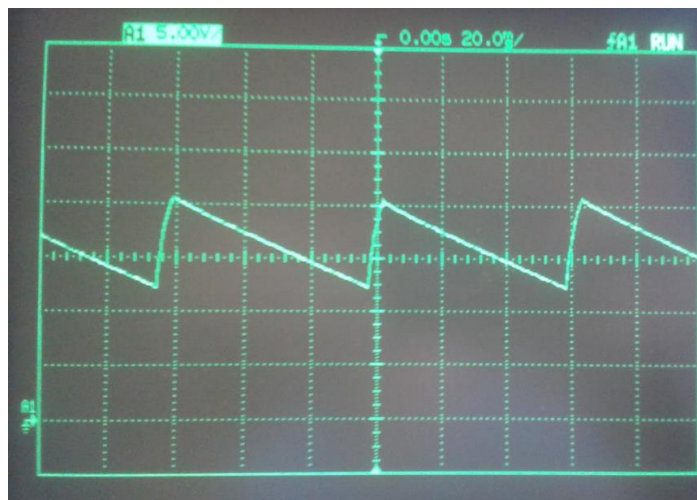


Ilustración 66: tensión de rizado del buck con 5V/div.

La tensión de salida tenía un rizado de 5 voltios de pico a pico, sin embargo, debería dar una tensión constante de 12 V. De esta forma, el regulador lineal LM7808 trabajaba disipando más potencia de la prevista (debido al comportamiento anómalo) por lo que se calentaba en exceso.

Al colocar la bobina en esa ubicación, la tensión de tierra estaba flotando, por lo que se ha tenido que ubicar entre el condensador de salida del buck y el condensador de entrada del LM7808 la tensión de salida del convertidor con la posición final sería:



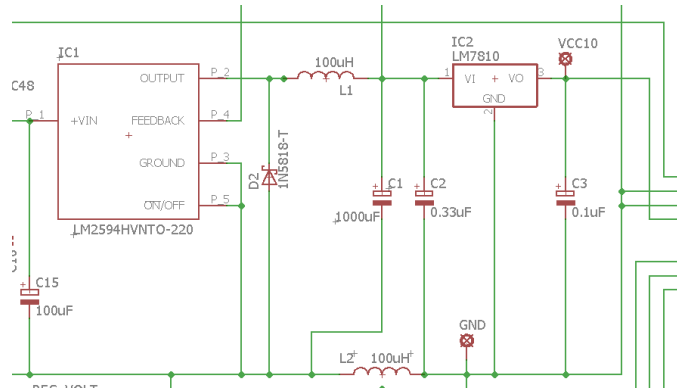


Ilustración 67: Bobina de filtrado después del condensador de filtrado del buck.

Al realizar dicho cambio, la tensión de rizado el buck disminuyó bastante hasta mantenerse prácticamente constante, como se puede apreciar en la Ilustración 68:

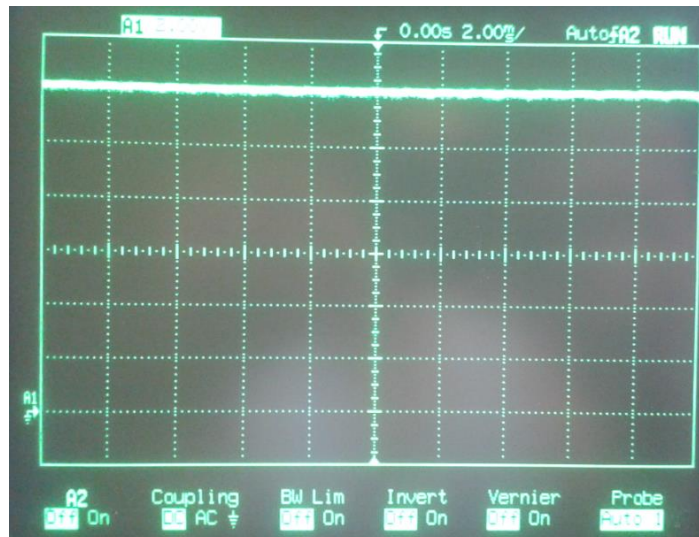


Ilustración 68: Tensión de salida del convertidor buck con 2V/div.

#### 4.7.2 FILTRADO DE LA SEÑAL DE ACELERACIÓN DEL CONVERTIDOR DELANTERO:

Con el filtro diseñado en el anterior TFG, la señal de tensión que se enviaba al convertidor delantero, no superaba los 2,5 V así que cuando se necesitara imprimir más velocidad en la rueda delantera, al no poder incrementar la tensión, esta no podía seguir a la rueda trasera, por lo que se ha decidido cambiar el filtro. Esto es debido a que el filtro consumía más corriente que la que el arduino podía proporcionar, debido al bajo valor de la resistencia en paralelo.

Se ha decidido suprimir dicha resistencia, además de disminuir el valor de los condensadores (cuatro condensadores de 47 µF en paralelo, frente a los cuatro condensadores de 100 µF en paralelo que se tenían antes). Con estos cambios, ahora se alcanza un valor de tensión de 5 V en la señal que se envía al convertidor delantero. Cuando se está trabajando a plena potencia, las

velocidades nunca van a ser iguales debido a que las potencias de los convertidores no son las mismas, por lo que la rueda trasera tendrá aplicada un valor ligeramente más alto de par que la rueda delantera: ello no es problema alguno pues en marcha, el par y por lo tanto la potencia aplicada en cada rueda, es aditiva.

Con el nuevo filtro, al introducir una señal escalón de 5 V, el convertidor delantero, se satura, por lo que corta la corriente de la rueda delantera y no vuelve a permitir la circulación de corriente hasta que no se baje la señal a 0 V. Esto es un problema ya que cuando entra la tracción en la rueda delantera, en el modo 2x1 ON, por ejemplo, la tracción no para hasta que la rueda delantera tiene aproximadamente la misma velocidad que la trasera, en caso de que la trasera estuviera derrapando, la rueda delantera no tendría la misma velocidad (tendría una velocidad menor que la trasera) por lo que entraría la tracción a la máxima potencia, pero no podría traccionar ya que el convertidor estaría cortando la corriente.

Se ha realizado un control para limitar el escalón de 5 V y evitar que el convertidor delantero corte la corriente.

#### 4.7.3 FILTRADO DE LA SEÑAL DE TENSIÓN DEL DIVISOR DE LOS ULTRACONDENSADORES:

Cuando se cuantificó la tensión de entrada de los ultracondensadores, se observó que había mucho ruido y por lo tanto no se ejecutaba correctamente los testigos y los avisos en la pantalla LCD. Se conectó el osciloscopio y comprobó que había una señal de ruido con más de un voltio de amplitud pico a pico, lo que significa una variación de 10 V en la lectura de tensión en los ultracondensadores.

En la Ilustración 69 se puede ver el rizado de la señal (se ha seleccionado una escala de 1 V/div.).

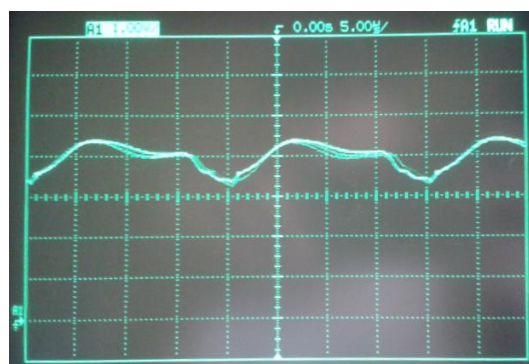


Ilustración 69: Voltaje de salida del divisor de tensión.

Para reducir ese ruido se ha colocado un condensador cerámico de 10 nF, y además se ha implementado en el código de arduino el filtro de la media móvil.

La tensión de entrada por el pin analógico de arduino es de:

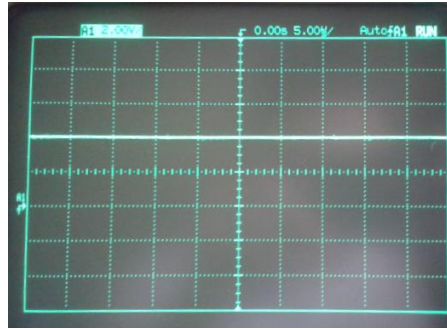


Ilustración 70: Voltaje de salida del divisor de tensión filtrado.

La media móvil acumulativa se usa normalmente para suavizar las fluctuaciones en un corto plazo de tiempo. La media móvil calculada actual para un punto de referencia nuevo es igual al nuevo valor menos la media móvil acumulada, todo ello dividido entre el número de puntos recibido y sumado a la media acumulada.

#### 4.8 MEDIDAS REALIZADAS:

Se han realizado medidas para contrastar con los cálculos y las simulaciones hechas anteriormente y comprobar que no hay errores, los datos calculados y medidos se recogen en la siguiente tabla:

PARAMETRO	VALOR CALCULADO	VALOR MEDIDO	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	OBSERVACIÓN
Tensión de alimentación	7 - 60 V	36	Dentro del rango	PASA
Salida del convertidor	12 V	12,1 V	12 V±10 %	PASA
Salida del regulador lineal	8 V	8,06 V	8 V±10 %	PASA
Sensor de tensión Ultracondensadore	5 V para 48 V ultracondensadores	Varia con la carga de los ultracondensadores	No sobrepasar 5 V	PASA
Temperatura LM2576 HVT (10 min, T <sup>a</sup> amb =25 °C)	69,64 °C	46,75 °C	No sobrepasar 125 °C	PASA
Temperatura LM7808 CV (10 min, T <sup>a</sup> amb =25 °C)	86,08 °C	65,19 °C	No sobrepasar 125 °C	PASA

Tabla 7: Comparación de valores medidos/ valores calculados.



Como se puede comprobar en la Tabla 7, se cumple con todo lo calculado y no se supera en ningún momento el máximo, por lo que se dan por correctos los cálculos y las simulaciones.

## 4.9 DISEÑO DE LA ENVOLVENTE:

Cómo se requiere un diseño personalizado de la envolvente, se ha decidido hacerla mediante un programa de diseño mecánico (Autodesk Inventor 2018), para posteriormente imprimirlo con una impresora 3D.

Dicha envolvente necesita cierto índice de protección ya que, al ir en un vehículo de campo, está expuesta a salpicaduras de barro, agua de lluvia, polvo... por lo que se diseñará lo más herméticamente posible teniendo en cuenta estos problemas.

Por seguridad, también se requiere que sea extraíble sin necesidad de herramientas así que se tendrá que dividir en dos partes: un soporte que permanezca fijo en el manillar y el panel de control, extraíble fácilmente por el usuario.

Como las dimensiones de la cama de las impresoras disponibles, son de 20x20x25, se tendrán que diseñar de tal forma que entre en la cama de las impresoras y así no tener que hacer partes para posteriormente unirlos, lo cual supondría hacer más uniones herméticas, lo que es difícil de conseguir.

Tomando medidas de la pcb, y teniendo en cuenta la altura de los componentes, se han diseñado las siguientes partes de la envolvente:

### 4.9.1 CAJA:

La caja donde irá la PCB, atornillada para su fijación durante su uso, tendrá forma rectangular con los bordes redondeados. Además, incluirá dos ventanas por las cuales acceder los cables de la alimentación y de las señales de los distintos sensores.

En la parte inferior, se ha diseñado un carril en forma de T para que encaje en un soporte, dicho soporte estará atornillado al manillar del vehículo, por lo que para desmontarlo se necesitaría un destornillador.

Además, en la unión de la base con la tapa, se ha hecho un surco de 2,5 mm de diámetro para poder poner una junta de estanqueidad y así asegurar que el cierre es hermético, esta misma operación se ha llevado a cabo en la tapa.

En la parte final del carril de la base, se ha hecho una muesca con forma de esfera, para que pueda encajar una bola de acero y sirva de enganche y que el sistema no se suelte con facilidad.

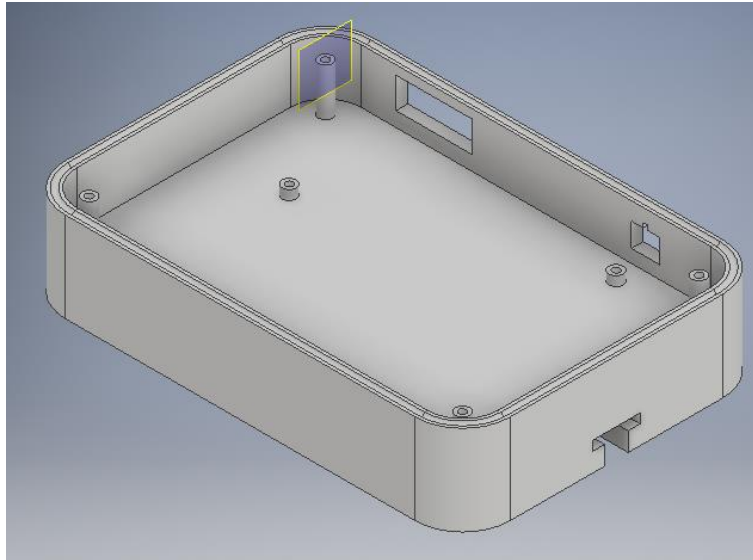


Ilustración 71: Base de la envolvente.

Un detalle de la muesca, donde encajará la bola de 5 mm de diámetro, esta entrará hasta la profundidad de 2mm:

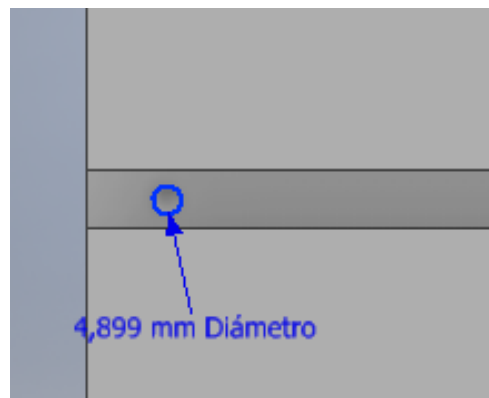


Ilustración 72: Muesca para la bola de 5 mm de diámetro.

Mediante este sistema, la base se podrá desmontar con facilidad del manillar y no será necesario el uso de herramientas.

#### 4.9.2 TAPA DE LA BASE:

De igual forma que la base, se ha diseñado la tapa teniendo en cuenta la estanqueidad de los orificios. Para el caso del vúmetro de nivel de potencia, los leds indicativos, se ha decidido hacer una pequeña hendidura en la parte posterior para poder pegar una plancha de policarbonato.

También, se ha añadido carteles que indican las funciones de cada mando o cual de las funciones está activa en cada momento. El diseño del logo del vehículo que figurará en la base, se comentará más adelante.

A mayores, se ha incluido un pequeño voladizo para proteger la zona de la base donde salen los cables de golpes o salpicaduras de agua, ya que esa

parte no se pudo hacer estanca, estando únicamente protegida contra golpes o salpicaduras de agua desde la parte superior.

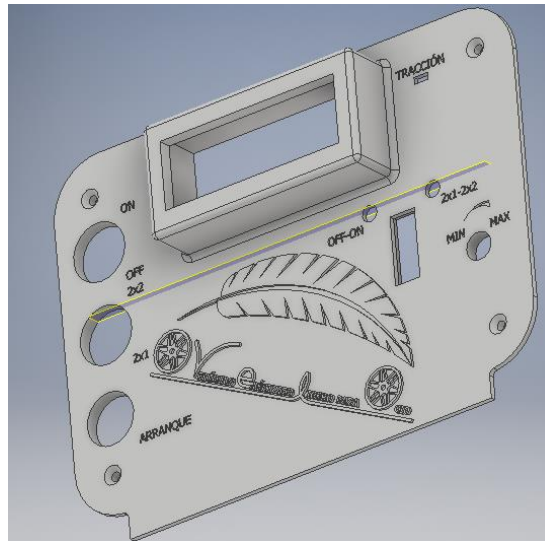


Ilustración 73: Tapa de la envolvente.

Por la parte inferior, se va a poder ver las hendiduras hechas para incluir las planchas de policarbonato.

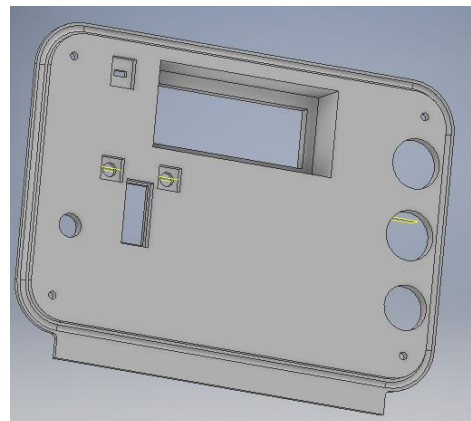


Ilustración 74: Parte posterior de la tapa.

En los botones, potenciómetro, llave de arranque y tornillos, se incluirán unas gomas para que quede lo más hermético posible.

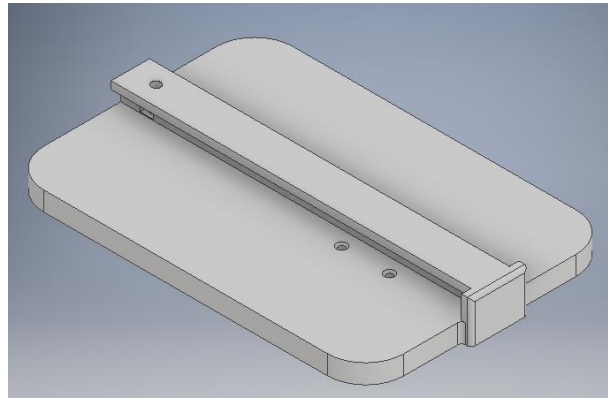
#### 4.9.3 ENGANCHE BASE-MANILLAR:

Esta pieza se ha decidido dividirla en dos partes, debido a los problemas de impresión 3D cuando hay muchos voladizos. Por ello, para su unión se usarán tornillos rosca-chapa. Esta unión no es necesaria que se haga estanca.

En un lado del perfil, en el perfil con forma de T, se ha hecho un habitáculo para el muelle y la bola que harán la función de enganche, para que la envolvente de la caja no se salga de su posición durante el funcionamiento del vehículo.

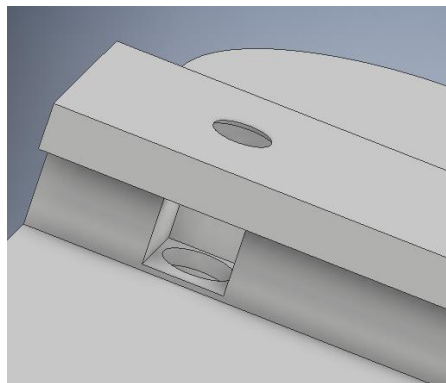


En el lado contrario a donde está ubicado el muelle con la bola, se ha hecho un tope para que la base quede ubicada en el lugar correcto y el conjunto quede correctamente enfrentado.



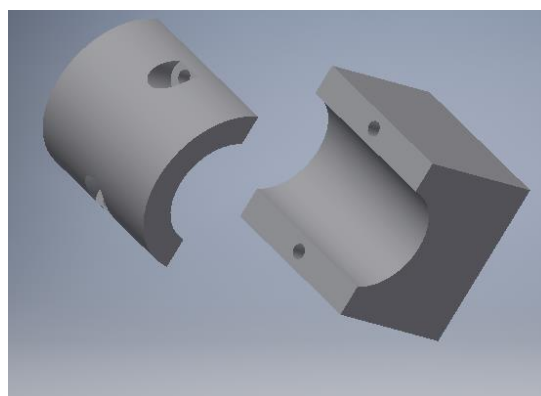
*Ilustración 75: Enganche entre la base y el manillar.*

En la Ilustración 76, se puede ver un detalle del habitáculo donde se encontrará alojado el muelle y la bola.



*Ilustración 76: Detalle del habitáculo del muelle con la bola.*

El diseño del enganche al manillar se ha hecho mediante dos piezas, ya que así no es necesario desmontar el acelerador y los frenos para introducir el control, el diámetro se ha seleccionado en base a los tubos utilizados actualmente de 22 mm:



*Ilustración 77: Enganche al manillar.*



Para apretarlo y que no se mueva de la posición que se ha elegido, se ha vuelto a seleccionar los tornillos rosca-chapa. Mediante este sistema, la sección se va haciendo progresivamente más pequeña hasta que se queda de un diámetro algo menor que el diámetro de la barra del manillar.

#### 4.9.4 LOGO DEL VEHÍCULO:

En el momento del diseño del logo, se tuvo en cuenta varios factores:

- Se trata de un vehículo eléctrico.
- Es ligero.
- Está diseñado para el ocio.
- En las ruedas están integrados los motores brushless.

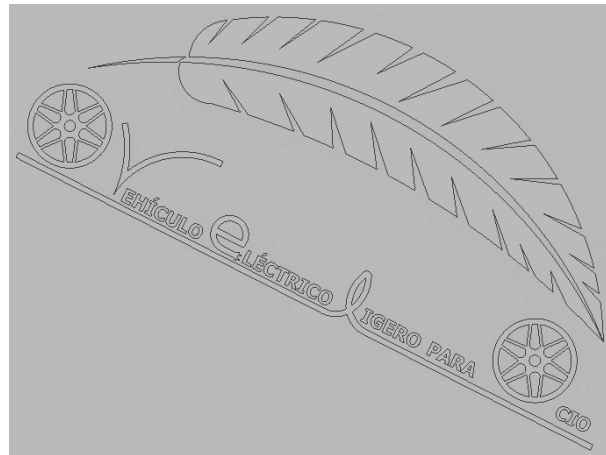


Ilustración 78: Logo del vehículo.

Por lo tanto, en la anterior imagen, se puede ver que, hay dos ruedas como las del vehículo prototipo, además tiene espacio suficiente en el eje como para intuir que ahí puede ir incluido un motor, además la última rueda, forma parte de la palabra Ocio.

La “e” de eléctrico, en su parte inferior tiene las clavijas de un enchufe macho estándar europeo.

La “l” está formando un camino, por el cual podría circular dicho prototipo.

La pluma que está encima, representa la ligereza como y se ha dicho antes, además de “unir” las dos ruedas, imitando un chasis.

Todo el logo ira en sobre relieve en la tapa, con una altura de 2 mm.

#### 4.9.5 CAJA DE CONEXIONES:

En el diseño de la caja de conexiones también se ha priorizado la estanqueidad, por lo que de la misma forma que antes se han incluido juntas de estanqueidad y orificios para introducir los cables.

Se ha hecho más grande de lo normal, para introducir todo el conector VGA y que solo salga el cable:

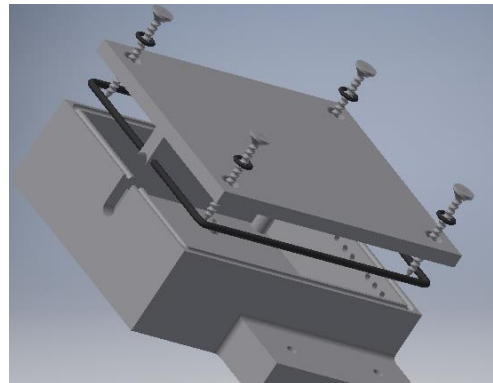


Ilustración 79: Caja de conexiones.

Por el lado contrario, se ha incluido la serigrafía en la caja para saber porque orificio hay que meter los correspondientes cables de las diferentes señales.

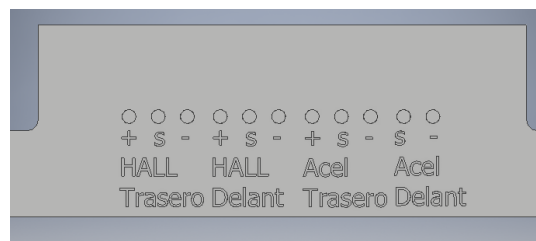


Ilustración 80: Serigrafía en la caja de conexiones.

La sujeción al bastidor del vehículo se llevará a cabo mediante bridas por no saber el perfil que forma el bastidor ni las dimensiones.

## 5 COSTE DEL EQUIPO:

A continuación, se va a mostrar una lista de los materiales desglosado en cantidad precio unitario y precio total:

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio
Arduino uno Rev. 3	1	19,95	19,95
Pantalla LCD 16x2 con I2C	1	3,37	3,37
Convertidor DC-DC LM2576HVT	1	3,742	3,742
Bobina 100 uH	2	0,444	0,888
Diodo 1N5819RLG	2	0,088	0,176
Condensador aluminio 100 uF 50 Vdc	1	0,112	0,112
Condensador aluminio 1000 uF 16 Vdc	1	0,622	0,622
Regulador lineal 7808C	1	0,447	0,447
Condensador electrolítico 0,33 uF 50 Vdc	1	0,025	0,025
Condensador electrolítico 0,1 uF 50 Vdc	1	0,043	0,043
LM3914	1	1,762	1,762
Array 10 leds	1	4,93	4,93
Resistencia 1K	1	0,028	0,028
Resistencia 2,7K	1	0,126	0,126
Condensador 2,2 uF 50 V dc	1	0,354	0,354
LED plano azul	1	0,202	0,202
LED circular verde	2	0,1	0,2
Potenciómetro 10k PCB	1	2,18	2,18
Potenciómetro 10k para PCB	1	1,69	1,69
Resistencia 1,7 K	1	0,192	0,192
Resistencia 100 k	1	0,126	0,126
Condensador filtro 47uF tántalo	4	0,75	3
Interruptor palanca	2	1,46	2,92
Condensador de desacoplo 100nF polimérico	5	0,49	2,45
Condensador de desacoplo 47uF electrolítico	2	1,092	2,184
Interruptor con llave	1	3,85	3,85
Conector VGA hembra	2	7	14
Conector cable hembra PCB 3 vías	3	0,964	2,892
Conector cable hembra PCB 2 vías	1	0,568	0,568
Cable VGA	1	21,61	21,61
Tira de pines hembra	1	0,636	0,636
Tira de pines macho	1	0,804	0,804
Enganche alimentación	1	0,381	0,381
PCB 15x20 insolado una cara	1	7,55	7,55
Ultracondensadores Maxwell	1	1335,35	1335,35
Piezas impresas en 3D	1	20	20
Suma:			1459,36 €
I.V.A (21%):			306,4656 €
<b>Total:</b>			<b>1765,8256 €</b>

Tabla 8: Presupuesto de ejecución material.

Se realiza una estimación del coste de los recursos humanos empleados en la realización completa del prototipo (diseño, fabricación y revisión). El coste a la hora se ha fijado según el convenio de ingeniería industrial<sup>6</sup>, que establece un salario mínimo anual de 17.544,24 € para un diplomado y titulado de 1<sup>er</sup> ciclo<sup>7</sup> universitario. Jefe superior. Estipulando 1800 horas anuales ordinarias. Los cargos sobre el salario son:

1. Seguridad social<sup>8</sup>: 28,30 %
2. Absentismo: 0,8 %
3. Otros conceptos: 19 %

El coste de un trabajador por lo tanto sale a 14,44 €/h.

Descripción:	Horas	Coste (€/h)	Subtotal (€)
<b>Tiempo estimado en la revisión:</b>	<b>20</b>	<b>14,4350108</b>	<b>288,700216</b>
<b>Tiempo estimado en el diseño:</b>	<b>100</b>	<b>14,4350108</b>	<b>1443,50108</b>
<b>Tiempo estimado en la fabricación:</b>	<b>100</b>	<b>14,4350108</b>	<b>1443,50108</b>
	Suma:		3175,70238 €
	I.V.A (21 %):		666,897499 €
	<b>Total:</b>		<b>3842,59987 €</b>

Tabla 9: Presupuesto honorarios trabajadores.

El total del coste del producto, sin tener en cuenta los costes indirectos generados por la fabricación, estos no se tienen en cuenta ya que no se trata de un proyecto para fabricación, sino que es de carácter académico. Por este motivo, no se conocen los recursos con los que se dispone para la manufacturación, no pudiendo asignar gastos fijos y variables:

Descripción:	Subtotal (€)
<b>Ejecución material</b>	<b>1459,36</b>
<b>Horarios profesionales</b>	<b>3175,702376</b>
Suma:	4635,062376 €
I.V.A. (21 %):	973,363099 €
Beneficio industrial (6 %)	278,1037426 €
Gastos generales (13 %)	602,5581089 €
<b>Total:</b>	<b>6489,087326 €</b>

Tabla 10: Presupuesto final.

<sup>6</sup> El coste a la hora se ha fijado según el convenio de ingeniería industrial, que establece un salario mínimo anual de 17.544,24 € para un diplomado y titulado de 1<sup>er</sup> ciclo universitario. Jefe superior. Y estipulando 1800 horas anuales ordinarias. Fuente BOE A\_2017-542.

<sup>7</sup> Un Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática se corresponde con un titulado de 1<sup>er</sup> ciclo universitario por el plan pre-Bolonia. Fuente BOE A\_2015-9042.

<sup>8</sup> Porcentaje total de cotización a la seguridad social en 2017.

## 6 CONCLUSIÓN:

---

En la actualidad, lo que se está llevando a cabo es el paso del vehículo de combustión interna a un modo de transporte en el cual no se produzca ninguna emisión de carbono, al menos local, es decir los vehículos eléctricos no producen emisiones de CO<sub>2</sub> en su zona de circulación, pero sí que se producen emisiones de CO<sub>2</sub> al producir la energía para cargar dichos vehículos.

Con este vehículo lo que se ha intentado es hacer un cambio de concepto: baja autonomía-rápida recarga frente a autonomía media-recarga lenta de los vehículos convencionales. Esto es posible gracias a la inserción de ultracondensadores ya que tienen unas altas tasas de carga y descarga de energía.

Los ultracondensadores incluidos en el vehículo tienen como principal función el almacenamiento de energía, que en la actualidad se utilizan en la movilidad eléctrica destinados al frenado regenerativo, debido a que ofrece una protección a las baterías, que como ya se ha dicho anteriormente, los ultracondensadores permiten una alta tasa de carga y descarga de corriente. Dicho vehículo no incluye frenado regenerativo, debido a los motores de las ruedas, aunque si se cambiasen los motores, sí que se podría hacer un frenado regenerativo.

Con el presente proyecto, se pueden realizar investigaciones acerca de sistemas de recarga rápida para baterías, nuevas filosofías de circulación como la baja autonomía y la rápida recarga, mejoras en los sistemas de frenado regenerativo, inserción en una ciudad de una matriz de puntos de recarga, estudios de nuevos convertidores para el control de motores brushless...

Una idea que he generado con este Trabajo Final de Grado es la necesidad seguir desarrollando la movilidad eléctrica por ello creo que se debería realizar más Trabajos Final de Grado relacionados con este tema, ya que es un beneficio para todos a corto y largo plazo, y que en un futuro los vehículos de combustión interna se verán relegados por los vehículos eléctricos y los únicos que queden en funcionamiento se encontrarán en los museos y los amantes del motor que puedan permitirse pagar el precio del combustible (que será elevado puesto que habrá pocas reservas de petróleo).

### 6.1 MEJORAS DEL PROYECTO:

Como aspectos a mejorar:

1. En primer lugar, se podría reducir el tamaño de la placa de circuito impreso, escogiendo para el control un arduino nano o incluso incluir el chip atmega directamente (previamente programado).
2. Mejorar la pantalla LCD, esta podría ser mayor para incluir más información.



3. Envolvente podría ser más estanca la que se ha diseñado para hacer pruebas es más que válida pero no estaría mal que, en la zona de conexión de cables, fuera completamente estanca.
4. Utilizar motores que permitan frenado regenerativo, ya que de esta forma se podría incrementar la autonomía del vehículo, ya que este incluye los ultracondensadores que permiten una alta variación de energía sin tener daños.

Los aspectos positivos son: el control se puede intercambiar para cualquier tipo de motor y potencia de este (no sólo sirve para motores brushless) ya que el control solo envía una señal comprendida entre los 0-5 V al convertidor delantero. Si se usara otro tipo de motor o convertidor lo que habría que cambiar es el tipo de respuesta, para ello, lo único que habría que hacer es modificar las constantes del PID (de igual forma que se ha hecho en el presente proyecto), también se podrían incluir una batería junto con los ultracondensadores para poder obtener una buena eficiencia en el frenado regenerativo como en una carga rápida y así no se dañarían las baterías además del aumento de autonomía del prototipo.

Como conclusión final, con dicho TFG se ha conseguido la mejora tanto de software como de hardware del TFG anterior, se ha diseñado una envolvente con un alto índice de protección IP además de incluir una gran intercambiabilidad con otros tipos de vehículos 2x2 eléctricos y por su puesto la posibilidad de realizar investigaciones con dicho vehículo.

## 7 BIBLIOGRAFÍA:

---

Apuntes de la asignatura Métodos y herramientas de diseño electrónico 2015. Diseño de circuitos impresos.

Mínguela Benito, I. (abril de 2016). Trabajo Final de Grado. Diseño eléctrico y electrónico de una motocicleta eléctrica infantil 2x2.

Vázquez, J. A. (2016). Apuntes de la asignatura Electrónica Industrial. Historia del vehículo eléctrico.

Zalama Casanova, E. (2016). Apuntes de Autodesk Inventor.

### RECURSOS WEB:

Anning, J. Evolve Skateboards. Obtenido de:

<http://www.evolvekateboardsspain.es>

Anónimo en Wordpress. Patinetes eléctricos. Obtenido de:

<https://patinetes.wordpress.com/page/2/>

Anónimo. Arduino y bus I2C. Obtenido de: <http://www.prometec.net/bus-i2c/>

Anónimo. Definición de interface hombre-máquina. Obtenido de:

<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>

Anónimo. Librería LiquidCrystal arduino. Obtenido de:

<https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>

Anónimo. Librería Wire arduino. Obtenido de:

<https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>

Boletín Oficial del Estado (12 de agosto de 2015). Determinación del nivel de correspondencia al nivel del Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior del Título Universitario Oficial de Ingeniero Técnico Industrial, Especialidad en Electrónica Industrial. Obtenido de:

<https://www.boe.es/boe/dias/2015/08/12/pdfs/BOE-A-2015-9042.pdf>

Boletín Oficial del Estado (18 de enero 2017). Convenio colectivo del sector de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos. Obtenido de:

<https://www.boe.es/boe/dias/2017/01/18/pdfs/BOE-A-2017-542.pdf>

Boullosa, N. (15 de noviembre de 2011). Girocoches. Obtenido de:

<https://faircompanies.com/articles/girocoches-autos-de-2-ruedas-que-mantienen-el-equilibrio/>

Condensadores Maxwell. Ultracondensador Maxwell 48 Vdc serie 0083 P048.

Obtenido de: <http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/48v-modules/documents>



COPADATA, empresa de HMI. Definición de interface hombre-máquina.

Obtenido de: <https://www.copadata.com/es-es/soluciones-hmi-scada/interfaz-hombre-maquina-hmi/>

Crespo, E. (13 de noviembre de 2016). Interrupciones en arduino. Obtenido de: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/interrupciones/>

Crespo, E. (24 de marzo de 2015). Alimentación de arduino. Obtenido de: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/electronica/>

Eloísa (23 de diciembre de 2015). Caracteres en pantalla LCD. Obtenido de: <https://fabricadigital.org/2015/12/como-mostrar-caracteres-en-un-pantalla-lcd-1602/>

Grimstad Bang, F. (última modificación 5 de marzo de 2017). I2C scanner. Obtenido de: <http://playground.arduino.cc/Main/I2cScanner>

Ibáñez (28 de noviembre de 2013). Girocoches. Obtenido de: <https://www.motorpasionfuturo.com/coches-del-futuro/asi-iba-a-ser-el-coche-del-futuro-ford-gyron>

Javacasm. Dividir código de arduino. Obtenido de: <http://blog.elcacharreo.com/2016/06/23/dividir-proyecto-arduino-en-varios-ficheros/>

Kamen, D. (3 de diciembre de 1990). Segway Inc. Obtenido de: <http://www.segway.es/es/>

LGM studio. Empresa de vehículos eléctricos. Obtenido de: <http://lgmestudio.com/wp-archivos/>

LOCAL MOTORS. Verrado Electric Drift Trike. Obtenido de: <https://www.kickstarter.com/projects/103675254/verrado-electric-drift-trike-by-local-motors?ref=category>

Mellow Boards. Empresa de patinetes eléctricos. Obtenido de: <https://www.kickstarter.com/projects/1800147378/mellow-the-electric-drive-that-fits-under-every-sk?ref=card>

Pérez, D. (30 de mayo de 2012). Sensor HALL. Obtenido de: <http://se2amm.blogspot.com.es/2012/05/sensor-de-efecto-hall.html>

Puerto, K. (7 de noviembre de 2014). Patinete eléctrico. Obtenido de: <https://www.xataka.com/otros/boosted-board-longboarding-con-motor-electrico>

Riazor R., Rafecas J. y Sudrià A. (marzo de 2009). Ultracondensadores. Obtenido de: [http://www.cinergia.coop/sites/default/files/2009\\_03\\_03\\_09\\_ultracaps\\_j\\_rafecas\\_0.pdf](http://www.cinergia.coop/sites/default/files/2009_03_03_09_ultracaps_j_rafecas_0.pdf)





Seguridad Social (2017). Régimen general de la Seguridad Social. Obtenido de: [http://www.seg-social.es/Internet\\_1/Trabajadores/CotizacionRecaudaci10777/Basesytiposdecotiza36537/index.htm](http://www.seg-social.es/Internet_1/Trabajadores/CotizacionRecaudaci10777/Basesytiposdecotiza36537/index.htm)

Tomás Piqué, A. (2001). Grados de protección IP e IK. Obtenido de: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_588.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_588.pdf)

Urban Fox. Empresa de patinetes eléctricos. Obtenido de: <http://www.urbanfox.es/>

Villagrán, E. (9 de agosto de 2012). Crear caracteres para pantalla LCD. Obtenido de: <http://blog.gotencool.com/2012/08/crear-caracteres-para-lcd-16x2-en.html>

Wikipedia. Media móvil. Obtenido de: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moving\\_average](https://en.wikipedia.org/wiki/Moving_average)



## 8 ANEXOS:

---

### 8.1 MANUAL DE USUARIO:

A continuación, en la siguiente página se mostrará el manual de usuario:

# MANUAL DE USUARIO:

La información que se ofrece en esta documentación contiene descripciones de carácter general y/o características técnicas sobre el rendimiento de los productos incluidos en ella.

La presente documentación no debe emplearse para determinar su idoneidad o fiabilidad. Los usuarios tienen la responsabilidad de llevar a cabo un análisis de riesgos adecuado y completo, así como la evaluación y las pruebas de los productos en relación con la aplicación o el uso de dichos productos en cuestión.

Si tiene sugerencias de mejoras o modificaciones o ha hallado errores en esta publicación, le rogamos que nos lo notifique. No se podrá reproducir este documento de ninguna forma, ni en su totalidad ni en parte, ya sea por medios electrónicos o mecánicos, incluida la fotocopia, sin el permiso expreso y por escrito de sus fabricantes.

Al instalar y utilizar este producto es necesario tener en cuenta todas las regulaciones sobre seguridad correspondientes, ya sean regionales, locales o estatales. Por razones de seguridad y para garantizar que se siguen los consejos de la documentación del sistema, las reparaciones solo podrá realizarlas el fabricante. Cuando se utilicen dispositivos para aplicaciones con requisitos técnicos de seguridad, siga las instrucciones pertinentes.

Si no se tiene en cuenta esta información, se pueden causar daños personales o en el equipo.

### 8.1.1 SEGURIDAD:

#### Información importante

#### Aviso

Lea atentamente estas instrucciones y observe el equipo para familiarizarse con el dispositivo antes de instalarlo, utilizarlo o realizar su mantenimiento. Los mensajes especiales que se ofrecen a continuación pueden aparecer a lo largo de la documentación o en el equipo para advertir peligros potenciales o para ofrecer información que aclara o simplifica los distintos procedimientos.



La inclusión de este icono en una etiqueta "Peligro" o "Advertencia" indica que existe un riesgo de descarga eléctrica, que puede provocar lesiones si no se siguen las instrucciones.



Éste es el icono de alerta de seguridad. Se utiliza para advertir de posibles riesgos de lesiones. Observe todos los mensajes que siguen a este icono para evitar posibles lesiones o incluso la muerte.

#### PELIGRO

**PELIGRO** indica una situación de peligro que, si no se evita, **provocará** lesiones graves o incluso la muerte.

#### ADVERTENCIA

**ADVERTENCIA** indica una situación de peligro que, si no se evita, **podría provocar** lesiones graves o incluso la muerte.

#### ATENCIÓN

**ATENCIÓN** indica una situación peligrosa que, si no se evita, **podría provocar** lesiones leves o moderadas.

#### **AVISO**

**AVISO** indica una situación potencialmente peligrosa que, si no se evita, **puede provocar** daños en el equipo.

#### Tenga en cuenta

La instalación, manejo, puesta en servicio y mantenimiento de equipos eléctricos deberá ser realizados sólo por el personal cualificado. Sus fabricantes no se hacen responsables de ninguna de las consecuencias del mal uso de este material.

Una persona cualificada es aquella que cuenta con la capacidad y los conocimientos relativos a la construcción, el funcionamiento y la instalación de equipos eléctricos y que ha sido formada en materia de seguridad para reconocer y evitar los riesgos que conllevan estos equipos.

### 8.1.2 UTILIDAD:

Este equipo sólo es adecuado para el uso en motores eléctricos que tengan un convertidor que reciba señales entre 0-5 V para indicar la aceleración al propio motor y que venga equipado con sensores para conocer la velocidad de las ruedas.

#### 8.1.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

El control está basado en un PID. El controlador mide la velocidad de la rueda trasera, la compara con la velocidad de la rueda delantera y según el modo que se haya elegido, el control tomará unas decisiones u otras.

#### 8.1.2.2 ENTORNOS DE APLICACIÓN:

Dicho equipo está preparado para trabajar tanto en exterior como en interior. Consta de un índice de protección IP 43.

A continuación, se define el significado de las cifras numéricas.

- **CÓDIGO IP:**

El sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionados por una envolvente contra el acceso a partes peligrosas, la penetración de cuerpos extraños y penetración de agua, se identifica mediante las siglas IP seguidas de dos cifras que pueden ser sustituidas por la letra “X” cuando no se precisa disponer de información especial de alguna de ellas. Opcionalmente, las cifras pueden ir seguidas de una o dos letras que proporcionan información adicional.

El significado de los valores numéricos se indica en la siguiente imagen:

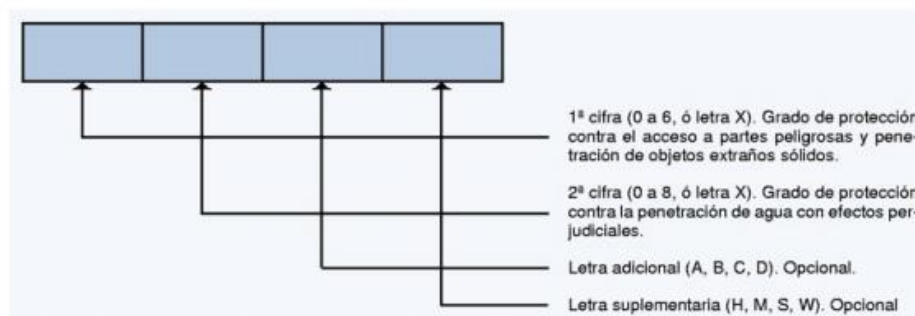


TABLA 1

PRIMERACIFRA		SEGUNDA CIFRA
IP	Protección contra contactos eléctricos directos	Protección contra penetración de cuerpos sólidos extraños
0	Ninguna protección	Ninguna protección
1	Penetración mano	Cuerpos $\varnothing > 50$ mm
2	Penetración dedo $\varnothing > 12$ mm y 80 mm de longitud	Cuerpos $\varnothing > 12,5$ mm
3	Penetración herramienta	Cuerpos $\varnothing > 2,5$ mm
4	Penetración alambre	Cuerpos $\varnothing > 1$ mm
5	Igual que 4	Puede penetrar polvo en cantidad no perjudicial
6	Igual que 4	No hay penetración de polvo
		0 Ninguna protección
		1 Goteo vertical
		2 Goteo desviado 15° de la vertical
		3 Lluvia. Goteo desviado 60° de la vertical
		4 Proyecciones de agua en todas direcciones
		5 Chorros de agua en todas direcciones
		6 Fuertes chorros de agua en todas direcciones
		Inmersión temporal
		Inmersión prolongada (Material sumergible)

Ilustración 81: Definiciones de valores numéricos IP.

Las letras adicionales indican el grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas y su utilización, que es opcional, se reserva a aquellos supuestos en que la protección efectiva del acceso a la parte peligrosa es más eficaz que la indicada por la primera cifra (por ejemplo, mediante un diseño especial de las aberturas que limitan el acceso a las partes en tensión) o cuando la primera cifra ha sido reemplazada por una X.

Estas letras se identifican con los códigos A, B, C y D y su significado se corresponde respectivamente con el de las cifras 1, 2, 3 y 4.

Una envolvente no puede ser designada por un grado de protección indicado por una letra adicional si no garantiza que satisfaga también todos los grados de protección inferiores.

Las letras suplementarias, con carácter asimismo opcional, indican que el producto satisface unas condiciones particulares que, en cualquier caso, deben responder a las exigencias de la norma de seguridad básica aplicable.

Cuando se añaden letras suplementarias se sitúan después de la última cifra característica o después de la letra adicional en caso de que esta se incluyera. El significado de estas letras se presenta en la siguiente tabla:

Letras	Significado
H	Aparato de alta tensión.
M	Ensayo de verificación de la protección contra penetración de agua, realizado con las partes móviles del equipo en movimiento.
S	Ensayo de verificación de la protección contra penetración de agua, realizado con las partes móviles del equipo en reposo.
W	Material diseñado para utilizarse en unas de terminadas condiciones atmosféricas que deben especificarse, y en el que se han previsto medidas o procedimientos complementarios de protección.

Tabla 11: Significado de las letras adicionales a los números IP.

- **CÓDIGO IK:**

El código IK, es un sistema de codificación para indicar el grado de protección proporcionado por una envolvente frente a impactos mecánicos nocivos. Se identifica mediante las siglas IK seguida de una cifra de dos dígitos representativa de la resistencia a una determinada energía de impacto que una envolvente puede soportar sin sufrir deformaciones peligrosas.

El significado de los valores numéricos se indica en la siguiente tabla:

IK	Energía de impacto en julios
00	Ninguna protección
01	Resistente a una energía de choque de 0,15 J
02	Resistente a una energía de choque de 0,20 J
03	Resistente a una energía de choque de 0,35 J
04	Resistente a una energía de choque de 0,50 J
05	Resistente a una energía de choque de 0,70 J
06	Resistente a una energía de choque de 1 J
07	Resistente a una energía de choque de 2 J
08	Resistente a una energía de choque de 5 J
09	Resistente a una energía de choque de 10 J
10	Resistente a una energía de choque de 20 J

Tabla 12: Significado de los números del código IK.

### 8.1.3 MEDIO AMBIENTE:

Equipo respetuoso con el medio ambiente.

Dicho equipo no se puede desechar en la basura doméstica. Para evitar un posible daño del medioambiente o la salud humana frente a una eliminación inadecuada de residuos, tiene que trasladar el correspondiente aparato a puntos de recogida habilitados para llevar el equipo a centros de tratamiento de residuos electrónicos.

Este equipo contiene elementos que pueden ser reciclados.



El correcto reciclaje de los circuitos impresos que hay dentro de los dispositivos eléctricos y electrónicos, permite recuperar no sólo el cobre y los materiales ferrosos, sino que también permite recuperar metales preciosos como son el oro, la plata...

Las tarjetas de circuito impreso tienen típicamente una composición característica dada por:

- FVP (Fibra de Vidrio Polímero): < 70%
- Cobre: 16%
- Soldadura (Estaño 63% / Plomo 37%): 4%
- Acero: 3%
- Níquel: 2%
- Plata: 0.05%
- Oro: 0.03%
- Paladio: 0.01%
- Otros componentes (bismuto, antimonio, tantalio, etc.): < 0.01%

**8.1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Tensión nominal de alimentación del control:	55 - 7 V DC
Consumo de corriente:	320 mA
CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS	
Temperatura de funcionamiento ambiente	-10 °C + 40 °C
Temperatura de almacenaje	-20 °C + 70 °C
Altura sobre el nivel del mar	> 3050 m
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
Índice de protección	IP43
Protección contra impactos IK	IK06
Anchura	188 mm
Profundidad	140 mm
Altura	63,5 mm
Peso	650g

*Tabla13:Característica técnicas del producto.*



## 8.1.5 MONTAJE Y CONEXIÓN ELÉCTRICA:

### 8.1.5.1 MONTAJE DE LA ENVOLVENTE DEL CONTROL:

Lo primero, se tiene que introducir la bola de acero de 5 mm de diámetro en el hueco situado en un costado del perfil central, seguidamente se debe comprimir el muelle para después alojarlo dentro de la muesca practicada en el lateral del perfil y dejarlo libre para que presione a la bola contra la superficie superior del perfil.

En la siguiente imagen se puede observar cómo quedaría montado:

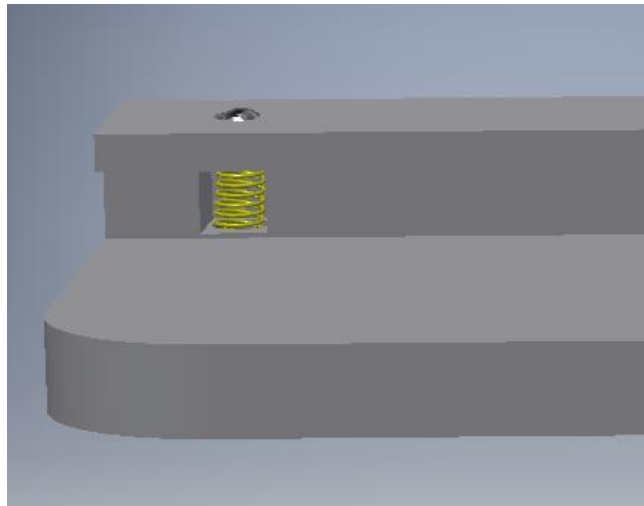


Ilustración 82: Aspecto de la bola con el muelle montado.

Seguidamente hay que montar la envolvente para colocarlo en el manillar del vehículo eléctrico. Se toma el soporte del manillar y el enganche del mismo y se fijan entre sí con tornillos autorroscantes de métrica 3, introduciendo dichos tornillos en los orificios practicados en la superficie de la base.

En la siguiente imagen se puede ver un pequeño esquema:

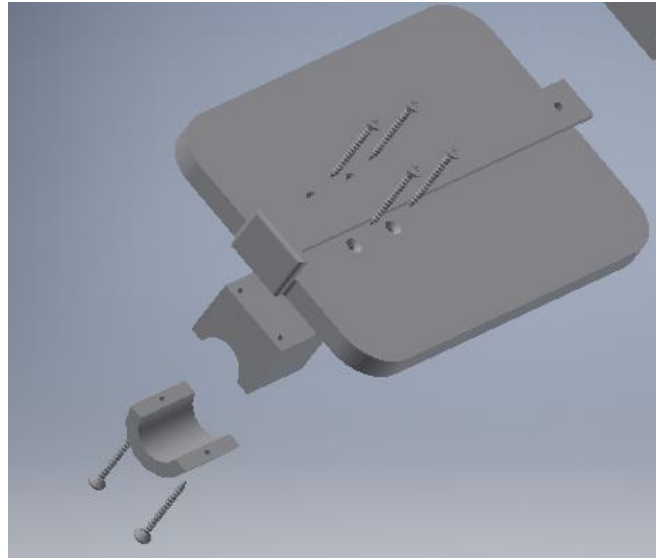


Ilustración 83: Tornillos de fijación para el enganche y el soporte.

Seguidamente, se debe apretar el tornillo del enganche para que el manillar quede fijo al soporte. ¡CUIDADO!, se debe colocar esta pieza en la dirección correcta para que los carteles de la tapa de la base se puedan leer correctamente (obsérvese que, la bola de acero, quede hacia la derecha del centro del manillar).

A continuación, se colocará la placa de circuito impreso dentro de la base y se fijará a la esta mediante tres tornillos autorroscantes de métrica 3.

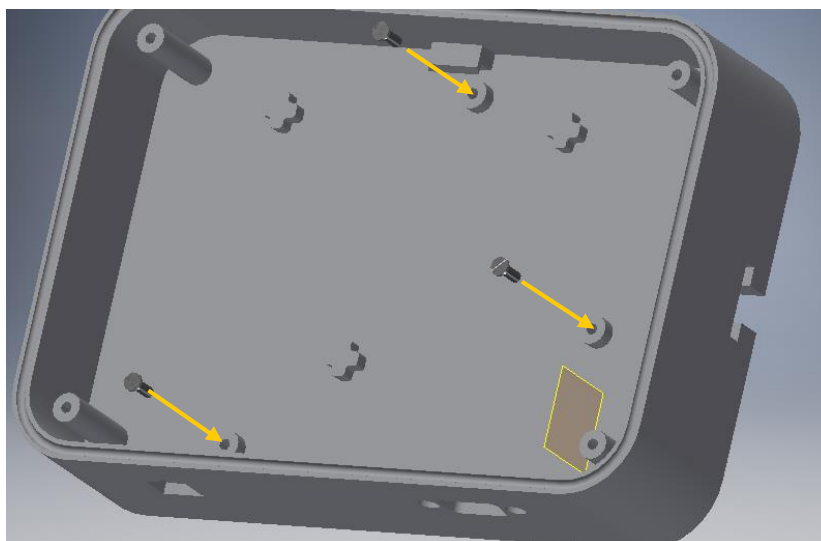


Ilustración 84: Tornillos de fijación de la PCB.

Después se deben introducir los botones, el selector de potencia, la llave y encajarlo para que queden inmóviles, incluyendo sus respectivas juntas de estanqueidad.

Se debe conectar los elementos en sus correspondientes clavijas.

Botón 2x1 2x2

Botón ON-OFF

Llave de contacto

Selector de potencia

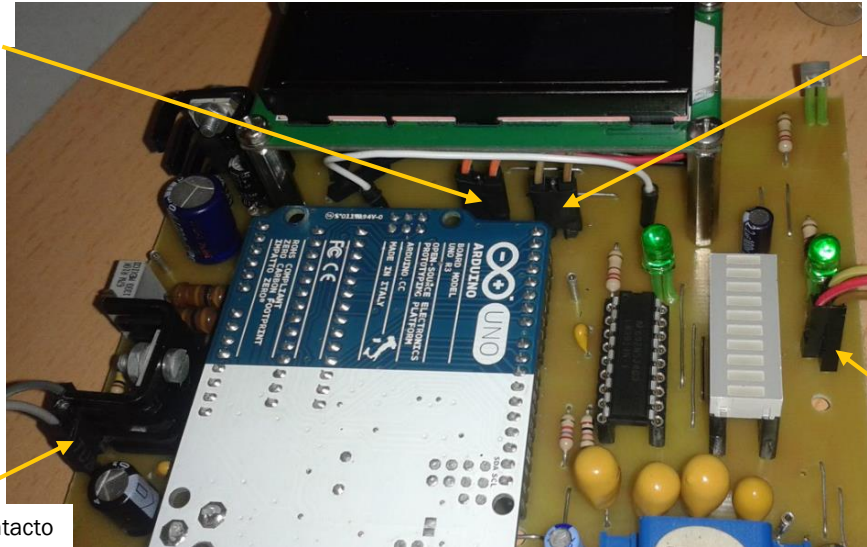
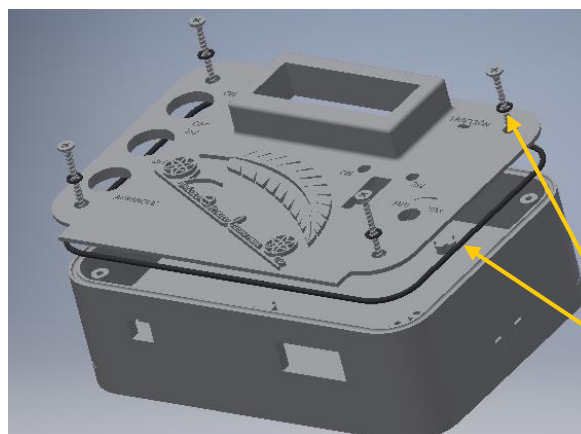


Ilustración 85: Conexión de los botones, llave y selector de potencia.

El penúltimo paso será fijar la tapa a la base incluyendo la junta de estanqueidad en la tapa y en los tornillos para asegurar que no entre agua:



Junta de estanqueidad

Ilustración 86: Tornillos de fijación de la tapa.

Finalmente, se debe fijar la envolvente en la base enganchada en el manillar, teniendo en cuenta que la envolvente tiene una pequeña muesca en la parte inferior y esta debe quedar justo encima de la bola de acero. Para concluir, se debe alojar el cable VGA en su correspondiente conector y el cable proveniente de los ultra condensadores en el orificio restante.

### 8.1.5.2 MONTAJE DE LA CAJA DE CONEXIONES:

Para montar la caja de conexiones, lo primero que hay que se debe hacer es colocar el cable VGA al conector correspondiente y seguidamente, se tiene que atornillar la PCB a la envolvente:

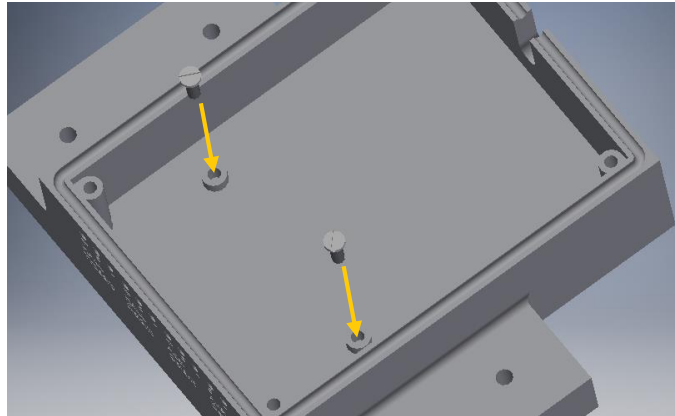


Ilustración 87: Tornillos de fijación de la PCB.

A continuación, se deben introducir los cables correspondientes a los sensores, según está indicado en el lateral (como se puede ver en la siguiente imagen) de la envolvente y atornillar los bornes correspondientes para que los cables queden fijos:

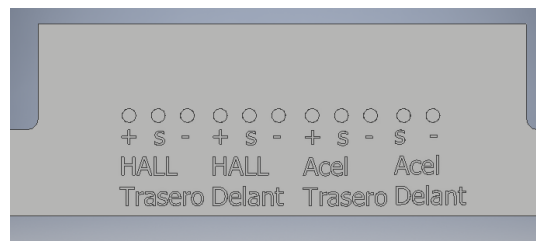


Ilustración 88: Indicación de la conexión de los sensores.

Seguidamente, se debe alojar el cable VGA en el canal practicado en el lateral de la envolvente, depositar la junta de estanqueidad entre la tapa y la base e introducir las juntas correspondientes a los tornillos y fijar la tapa:

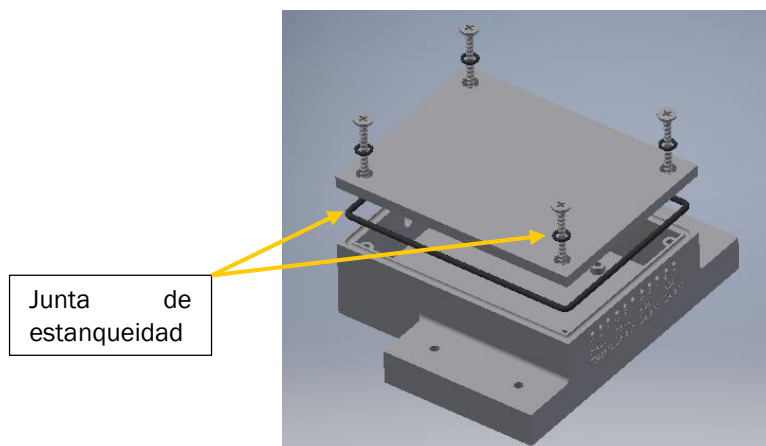


Ilustración 89: Tornillos para la fijación de la tapa de la caja de conexiones.

Finalmente, se debe fijar la caja de conexiones al bastidor del vehículo mediante bridas (se realiza esta unión para que se pueda adaptar a cualquier tipo de bastidor).

### 8.1.6 PUESTA EN SERVICIO:

Para poner en marcha el vehículo, una vez seguidos los pasos anteriores, sólo se tiene que introducir las llaves en el bombín y girarlo.

#### 8.1.6.1 LUCES Y TESTIGOS:

##### 8.1.6.1.1 PANTALLA LCD:

En la pantalla LCD, se puede ver la información sobre el modo de funcionamiento, la potencia entregada a la rueda delantera y la velocidad a la que se está circulando:

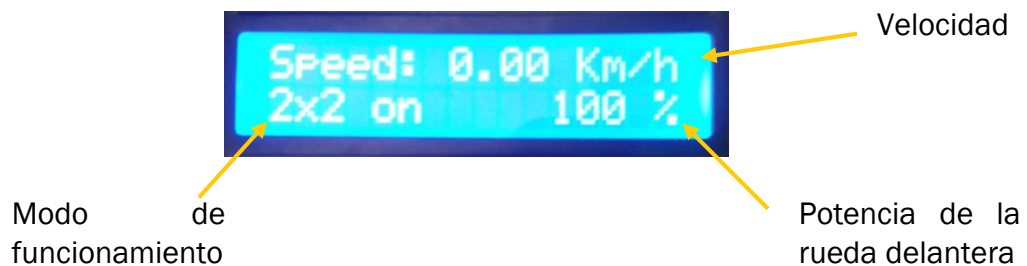


Ilustración 90: Información pantalla LCD.

Los convertidores para funcionar tienen que tener una tensión mínima de 31 V, como el convertidor intermedio no puede aumentar la tensión hasta 36 V para cualquier valor de entrada, en la pantalla LCD se mostrará un icono de batería cuando esta esté entre los 24 y los 16 V, por lo que el usuario tendrá que poner a cargar el prototipo:



Ilustración 91: Testigo de la batería.

Cuando la tensión de la batería se encuentre por debajo de los 16 V, aparecerá un mensaje en la pantalla en el que indica: "Batería baja, necesita carga":



Ilustración 92: Indicación de poner a cargar el aparato.

##### 8.1.6.1.2 ARRAY DE LEDS:

Este array de luces led, representa la carga de la batería (entre los 18-48 V) con una resolución del 10 %. Si la medida mostrada en dicho array no es

correcta, podrá usarse un potenciómetro situado a la izquierda de la PCB para hacer un pequeño ajuste:

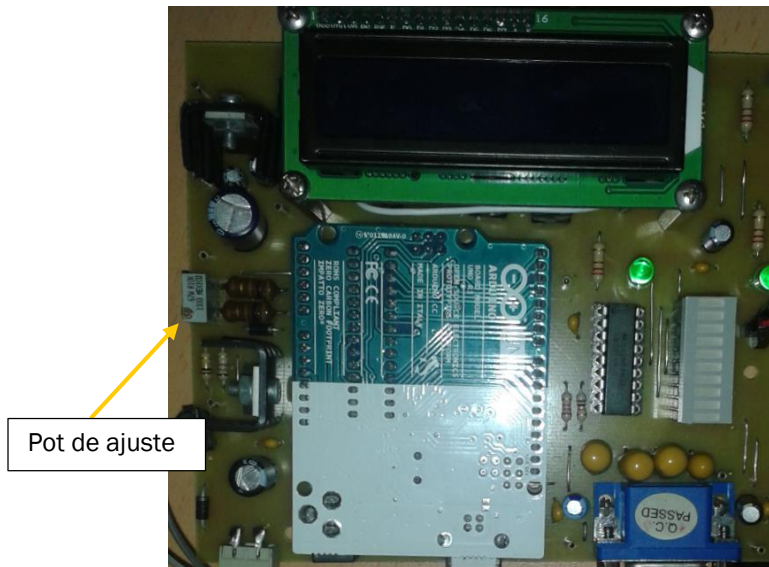


Ilustración 93: Ubicación el potenciómetro de ajuste.

Este array tiene 10 leds, de los cuales son 3 de color rojo, 4 de color amarillo y 3 de color verde que dependiendo del estado de la carga habrá más o menos leds encendidos. El aspecto que tiene encendido es el siguiente:



Ilustración 94: Array de leds encendido.

#### 8.1.6.1.3 LEDS INDICADORES DE MODO:

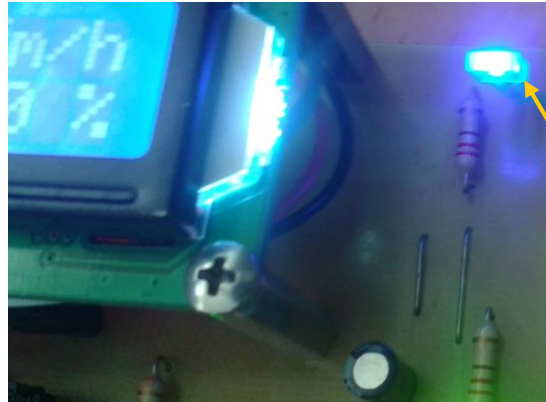
Además de mostrarse por la pantalla el modo de funcionamiento, hay dos leds que también lo indican. El led situado más a la derecha, cuando está encendido indica modo 2x2, si está apagado se está en el modo 2x1.

El led situado en la parte central, cuando está encendido indica modo ON, si está apagado se está en OFF.

#### 8.1.6.1.4 LED INDICADOR DE TRACCIÓN:

Este led, situado en la parte superior derecha, se enciende cuando ha entrado la tracción en la rueda delantera y hasta que las velocidades de las dos ruedas se igualen o hayan pasado tres segundos desde que entró, este led no se apagará. El aspecto que tiene encendido es:





Led indicador de  
tracción

*Ilustración 95: Led de tracción encendido.*

### 8.1.7 ERRORES FRECUENTES:

En la siguiente tabla se describe el funcionamiento anómalo y el diagnóstico con sus correspondientes posibles acciones correctoras:

PROBLEMA	DIAGNÓSTICO	ACCIÓN
El equipo no se enciende	No se enciende la pantalla LCD ni ninguna de las luces	Comprobar que está dado el contacto de la llave de arranque
		Comprobar que la batería está totalmente cargada
		Comprobar que se respeta la polaridad del conexión del equipo
		Comprobar que el cableado está correcto, es decir, que no tiene fracturas
Se enciende el equipo pero no funcionan los motores	El equipo funciona correctamente pero no es capaz de controlar los motores	Comprobar el estado de la batería, los motores no pueden funcionar por debajo de 18 V de carga (ver testigo de batería)
		Comprobar la correcta conexión de los sensores en la caja de conexiones
		Cambiar cable VGA, puede estar internamente fracturado
		Acelerador en mal estado, cambiar uno nuevo
Diodos no se encienden	Los diodos de selección de modo, indicador de tracción o el array de carga en la batería no se encienden	Posible diodo quemado, ponerse en contacto con la empresa distribuidora del equipo para una posible reparación
Rueda trasera funciona pero la delantera no	La rueda trasera responde al acelerador pero la delantera no	Está seleccionado el modo de funcionamiento 2x1 OFF, cambiar de modo y comprobar si se ha solucionado
		Los cables del sensor del acelerador de la rueda delantera están mal colocados
		El convertidor delantero está dañado
El selector de potencia funciona al contrario que las indicaciones de la tapa	Cuando se gira hacia la derecha la potencia disminuye y cuando se gira hacia la izquierda la potencia aumenta	Abrir la tapa, desconectar el selector de potencia y conectar el cableado al revés.

Tabla 14: Errores frecuentes.





## 8.2 CÓDIGO:

Se va a mostrar el código dividido en funciones, para una mejor comprensión. El código está ordenado de la siguiente forma:

1. Código principal.
2. Código cabecera.h
3. Selección modo de funcionamiento.
4. Cálculo diferencia de pulsos.
5. Toma de decisiones.
6. PID.
7. Regulación de potencia.
8. Compensar esfuerzo.
9. Tracción proporcional.
10. Inicializar.
11. Mandar al controlador.
12. Leer tensión.
13. Muestra velocidad.
14. Muestra tensión.
15. Muestra potencia.

### 8.2.1 CÓDIGO PRINCIPAL:

```
/*----- */
/* CONTROL DE TRACCIÓN VEHÍCULO 2X2 */
/*----- */
/* */
/* FECHA: JUNIO DE 2017 */
/* Grado en ingeniería electrónica industrial y automática */
/* Universidad de Valladolid */
/* */
/*AUTOR: Roberto Jiménez Peralta */
/* Iván Minguela Benito */
/*roberto_velayos@hotmail.com */
/*----- */
```

```
#include "Control_de_traccion.h"
```

```
//---CONFIGURACIÓN DE LOS PINES, DE LAS INTERRUPCIONES Y DEL PUERTO
SERIE---//
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  // Se configura el puerto serie
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  // Se configuran los pines como entradas, salidas y se activan las resistencia
  interna pull-up, LOS PINES ANALÓGICOS NO HACE FALTA CONFIGURARLOS
  COMO ENTRADAS O COMO SALIDAS
```

```
  pinMode(HALL TRASERO, INPUT); // Declaramos el pin donde se conecta el
  sensor hall trasero como entrada. Es analógico no es necesario configurarlo
  como entrada o salida
```

```
  pinMode(HALL DELANTERO, INPUT); // Declaramos el pin donde se conecta
  el sensor hall delantero como entrada.
```

```
  pinMode(BOTON_ON_OFF, INPUT_PULLUP); // Declaramos el pin del botón
  como entrada y habilitamos la resistencia pull-up interna
```

```
  pinMode(BOTON_2X2_2X1, INPUT_PULLUP); // Declaramos el pin del botón
  como entrada y habilitamos la resistencia pull-up interna
```

```
  pinMode(LED_2X2_2X1, OUTPUT); //declaramos el pin del led como salida
```

```
  pinMode(LED_ON_OFF, OUTPUT); //declaramos el pin del led como salida
```

```
  pinMode(TRACCION, OUTPUT); //declaramos el pin del led como salida
```

```
  pinMode(controlador_delantero, OUTPUT); // Declaramos el pin al que se
  conectará el motor delantero como salida
```

```
  pinMode(tension_vumetro, OUTPUT);
```

```
  /*CONFIGURACIÓN DE LAS INTERRUPCIONES*/
```

```
  cli(); //deshabilitamos las interrupciones globales
```

```
  EIMSK |= (1 << INTO); //Declaramos el uso de las interrupcion 0
```

```
  EICRA |= ((1 << ISC01) | (1 << ISC00)); //Definimos que la deteccion sea por
  flanco ascendente. Tambien podemos usar cualquiera de los dos o "EICRA" o
  "MCUCR" -> MCUCR |= ((1<<ISC01) |(1<<ISC00));
```

```
  PCICR |= (1 << PCIE1); // SE HABILITA INTERRUPCION POR CAMBIO DE PIN Y
  AHORA SE UBICARA LA INTERRUPCION 1 ENTRE LOS PINES PCINT14-8 CON EL
```



CAMBIO DE PIN AHORA LA DETECCIÓN SERÁ POR CAMBIO DE ESTADO YA SEA ASCENDENTE O DESCENDENTE Y ESTO NO SE PUEDE CAMBIAR

```
PCMSK1 |= (1 << PCINT8); //SELECCIONAMOS EN PIN PCINT 11 PARA QUE SEA LA INTERRUPCIÓN 1 QUE QUIVALE AL PIN A3.
```

```
sei(); // habilitamos las interrupciones globales
```

```
lcd.begin (16, 2); //se inicializa la pantalla LCD de 16 caracteres y dos filas  
lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_PIN, POSITIVE); //Se enciende la luz de fondo de la pantalla
```

```
lcd.setBacklight(LED_ON);
```

```
//Se crean los nuevos caracteres
```

```
lcd.createChar (0, bat_1);
```

```
lcd.createChar (1, bat_2);
```

```
lcd.setCursor(4, 0);
```

```
lcd.print("WELCOME");
```

```
lcd.setCursor(5, 1);
```

```
lcd.print("VELO");
```

```
delay (2000);
```

```
//La lectura de voltaje tiene mucho ruido, por lo que se va a usar la media móvil para filtrar el ruido
```

```
for (int i = 0; i < SAMPLES_TO_AVERAGE; i++)
```

```
{
```

```
    volatile int voltaje = analogRead (lectura_voltaje);
```

```
    voltaje_leido = map (voltaje, 0, 1023, 0, 500); //Se mapea entre 0-500 para despues dividir entre 100 y obtener un valor con dos dígitos decimales
```

```
    voltaje_leido = voltaje_leido / 100; //Se deja el valor con dos decimales
```

```
    voltaje_filtrado = voltaje_filtrado + (voltaje_leido - voltaje_filtrado)/  
SAMPLES_TO_AVERAGE; //Se emplea la fórmula de la media móvil acumulativa
```

```
}
```

```
    lcd.clear();
```

```
}
```

```
/*FUNCIONES A LAS QUE SE LLAMA CON LAS INTERRUPCIONES*/
```

```
ISR(PCINT1_vect) // SENSOR TRASERO AL PIN 3
```

```
// Rutina de servicio de interrupción. Cada PCInt 8..14
```

```
//UN CAMBIO EN LOS PINES ANALÓGICOS DEL 0 AL 5 generará una interrupción: pero esto
```

```
//será siempre la misma rutina de interrupción
```

```
{
```

```
    // handle pin change interrupt for A0 to A5 here
```

```
    if (digitalRead(HALL TRASERO) == HIGH)// MIRAR SI SE PUEDE PONER COMO  
IF (PINC & (1<<PINC3) == 1) QUE SUPUESTAMENTE REALIZARÍA LO MISMO ES  
SI EL PIN A3 HA CAMBIADO Y ESTÁ A 1
```



```
{
  /* PCINT11 HA TENIDO UN FLANCO POSITIVO */
  CONTADOR_TRASERO++;
  rpm++; //Se cuentan las revoluciones por minuto para calcular la velocidad
}
}

ISR(INT0_vect) // SENSOR DELANTERO AL PIN 2
{
  CONTADOR_DELANTERO++; // AUMENTAMOS EL CONTADOR DE FLANCOS
  ASCENDENTES DE LA RUEDA DELANTERA
}
/*FIN DE FUNCIONES A LAS QUE SE LLAMA CON LAS INTERRUPCIONES*/
/*-----*/

//--PROGRAMA PRINCIPAL--//
void loop()
{
  SELECCION_DEL_MODO(); //Se selecciona el modo de funcionamiento en
  funcion de los interruptores

  CALCULO_DIFERENCIA(); //Se calcula la diferencia de pulsos de la rueda
  delantera y trasera

  muestra_velocidad(); //Se muestra a la velocidad a la que se esta circulando
  por la pantalla LCD

  mostrar_potencia (); //Se muestra la potencia que se está enviando a la
  rueda delantera

  leer_tension (); //Funcion que lee el voltaje restante en los
  ultracondensadores

  //muestra_tension(); //Se muestra el porcentaje de tension en los
  ultracondensadores por si se usara una pantalla de 20x4
  //que se podria mostrar mas parametros, aunque ahora no fuera necesario
  por poder usar el vumetro
}
//--FIN DEL PROGRAMA PRINCIPAL--//

/* CALCULO DE LA DIFERENCIA DE PULSOS */ // SIN TESTEAR
/*
void CALCULO_DIFERENCIA_DE_PULSOS()
{
  if (tiempo_diferente >= 500000)
  {
    if (velocidad_rueda_delantera_final <= 2)
    {
      diferencia_pulsos_limite = 1;
    }
  }
}
```



```
}
else if (2 < velocidad_rueda_delantera_final <= 4.5)
{
    diferencia_pulsos_limite = 2;
}
else if (4.5 < velocidad_rueda_delantera_final <= 9)
{
    diferencia_pulsos_limite = 3;
}
else if (9 < velocidad_rueda_delantera_final <= 12)
{
    diferencia_pulsos_limite = 4;
}
}

else if (342857.14 <= tiempo_diferente < 500000)
{
    diferencia_pulsos_limite = 3;
}
else if (230769.24 <= tiempo_diferente < 342857.14)
{
    diferencia_pulsos_limite = 3;
}
else if (171428.57 <= tiempo_diferente < 230769.24)
{
    diferencia_pulsos_limite = 2;
}
else if (137931.03 <= tiempo_diferente < 171428.57)
{
    diferencia_pulsos_limite = 2;
}
}
*/
/* FIN DEL CALCULO DE LA DIFERENCIA DE PULSOS */
```

### 8.2.2 CODIGO CABECERA:

```
//-- LIBRERÍAS UTILIZADAS --//

#include <avr/interrupt.h> // Librería necesaria para el uso de las
interrupciones
#include <avr/io.h> // Librería necesaria para la definición de entradas y
salidas y para poder realizar el cambio de pin de la interrupción

#include <Wire.h> //Librería necesaria para la comunicacion por protocolo I2C
con el modulo soldado a la pantalla
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Libreria para utilizar la pantalla LCD con el
protocolo I2C
// -----//

//--ASIGNACIÓN DE LOS PINES UTILIZADOS--//
const int HALL_DELANTERO = 2; //Sensor de efecto hall delantero,
INTERRUPCIÓN 0
const int HALL TRASERO = A0; //Sensor de efecto hall trasero EN EL PIN A0,
INTERRUPCIÓN 1
const int controlador_delantero = 5; //Pin al que se conectará el controlador
delantero
const int tension_vumetro = 9; //Pin al que se ha conectado la entrada del
vumetro

//se van a añadir solo dos botones y borrar los demas
const int BOTON_ON_OFF = 8;
const int BOTON_2X2_2X1 = 7;
//cuando este activado el on, el funcionamiento depende del otro es decir del
2x2 o el 2x1
//lo mismo se va a hacer con los LED
const int LED_ON_OFF = 12;
const int LED_2X2_2X1 = 11;
const int TRACCION = 13;

const int Regulador_de_potencia = 3; //Pin del regulador es el A3(Analog IN),
COMENTADO
const int Acelerador = 2; // Pin del acelerador es el A2(Analog in)
const int lectura_voltaje = 1; //Pin por donde se lee la carga de los
ultracondensadores
int voltaje_modificado; //Variable donde se guarda el porcentaje de carga que
queda
int bateria_baja = 0; //Variable que indica si el convertidor no puede aumentar
la tension hasta 36 V
//Cero cuando esta bien, 1 cuando esta baja y 2 cuando ya no
pueden funcionar los motores
int volt_traducido_vumetro; //Voltaje a sacar por el pin 9 de arduino para que
cuando haya 18 V, en la salida haya 0 V
```

```
float voltaje_leido = 0; //Voltaje entre 0 y 5 voltios que se tiene en el pin de
lectura
float voltaje_filtrado = 0;
#define SAMPLES_TO_AVERAGE 15
//-----//

//--VARIABLES UTILIZADAS--//
int FLAG_0 = 0; // Bandera para solo realizar una vez ciertas acciones cuando
el MODO_0 está activado o desactivado
int FLAG_1 = 0; // Bandera para solo realizar una vez ciertas acciones cuando
el MODO_1 está activado o desactivado
int FLAG_2 = 0; // Bandera para solo realizar una vez ciertas acciones cuando
el MODO_2 está activado o desactivado
int FLAG_3 = 0; // Bandera para solo realizar una vez ciertas acciones cuando
el MODO_3 está activado o desactivado

int MODO_0 = 0; //CUANDO MODO_0 = 1, NOS ENCONTRAMOS EN EL MODO_0
-> 2X1 OFF
int MODO_1 = 0; //CUANDO MODO_1 = 1, NOS ENCONTRAMOS EN EL MODO_1
-> 2X1 ON
int MODO_2 = 0; //CUANDO MODO_2 = 1, NOS ENCONTRAMOS EN EL MODO_2
-> 2X2 OFF
int MODO_3 = 0; //CUANDO MODO_3 = 1, NOS ENCONTRAMOS EN EL MODO_3
-> 2X2 ON

int PRIMERA_VEZ_MODAL_0 = 0; // Variable que indica que el MODO_0 a
pasado de inactivo a activo
int UNA_VEZ = 0; // Variable para mantener durante 3 segundos la señal de
Tracción Total
int BLOQUEO = 0; // Variable con la que en Funcionamiento Tracción Total, se
indica que si en 3 segundos se produce funcionamiento normal se ignora.

int valor_regulador = 0; // Variable en la que se almacena el valor del regulador
de potencia
double valor_nuevo = 1.0; // Variable con la que indicaremos el valor de
nuestro regulador ente 0 y 1 con escalones de 0.1
int valor_acelerador = 0; // Variable en la que se almacena el valor del
acelerador

int valor_acelerador_traducido = 0; // Variable en la que se almacena el valor
de tensión que se deberá de mandar al controlador delantero
double valor_acelerador_traducido_float = 0.0; // Variable en la que se
almacena el valor de tensión que se deberá de mandar al controlador delantero
pero del tipo coma flotante
double proporcion_acelerador = 0.8; //Este valor sería ajustable por el piloto
vía software. Es el valor por el cual se multiplica la señal en modo Tracción
Proporcional
int diferencia = 0; // variable en la que guardamos la diferencia entre los
contadores de flancos ascendentes entre la rueda trasera y la rueda delantera
```



```
double diferencia_filtrada = 0.0; // Variable en la que guardamos la diferencia entre los contadores de los flancos ascendentes de la rueda trasera y los de la rueda delantera, después del filtro
```

```
const long tiempo_calculo_diferencia = 200000; // Tiempo en el que se cuenta los flancos positivos para después realizar la comparación de ellos. LA COMPARACIÓN DE FLANCOS SE REALIZA CADA 0.5 SEGUNDOS
```

```
long tiempo_diferente = 0; // Variable en la que guardamos el tiempo en que se tarda en entrar de nuevo en el bucle de comparación de velocidades desde la última vez
```

```
long tiempo_anterior = 0; // Tiempo en el que se realizó el último bucle
```

```
unsigned long tiempo_actual = 0; // Tiempo actual del programa
```

```
volatile int CONTADOR_TRASERO; // Contador de la rueda trasera en el que se contabiliza el número de flancos ascendentes detectados en la señal que manda el sensor hall trasero.
```

```
volatile int CONTADOR_DELANTERO; // Contador de la rueda delantera en el que se contabiliza el número de flancos ascendentes detectados en la señal que manda el sensor hall delantero.
```

```
int PULSOS_LIMITE = 12; // PULSOS LÍMITE CON LOS QUE PARTIMOS INICIALMENTE HASTA LOS CUALES CONTARAN LOS CONTADORES SI NO SE SUPERA EL MEDIO SEGUNDO, ESTE SEMANTIENE CONSTANTE
```

```
int diferencia_pulsos_limite = 3; // DIFERENCIA DE FLANCOS ASCENDENTES CON LA CUAL SE TOMARÁN LAS DECISIONES.
```

```
volatile int velocidad_rueda_trasera = 0; // Aquí se guarda el contaje de flancos ascendentes de la rueda trasera
```

```
volatile int velocidad_rueda_delantera = 0; // Aquí se guarda el contaje de flancos ascendentes de la rueda delantera
```

```
double velocidad_rueda_trasera_final = 0.0; // Contaje de flancos ascendentes de la rueda trasera filtrado
```

```
double velocidad_rueda_delantera_final = 0.0; // Contaje de flancos ascendentes de la rueda delantera filtrado
```

```
double velocidad_rueda_trasera_final_anterior = 0.0; // Cantidad de flancos ascendentes de la rueda trasera filtrada contabilizados en la anterior comparación de velocidades
```

```
double velocidad_rueda_delantera_final_anterior = 0.0; // Cantidad de flancos ascendentes de la rueda delantera filtrada contabilizados en la anterior comparación de velocidades
```

```
long t_actual = millis (); //se guarda en esta variable el tiempo actual para saber la diferencia entre los pulsos
```

```
volatile int rpm = 0; //variable donde se va a guardar la velocidad en rpm de la rueda delantera
```

```
float vel_lineal = 0; //Se guarda la velocidad lineal en esta variable
```

```
float pi = 3.1416; // Número PI
```

```
float DIAMETRO_RUEDA = 0.4064; // Diámetro de la rueda
```





```
float velocidad_RD_float = 0.0; // SEÑAL A COMANDAR AL MOTOR DELANTERO  
EN COMA FLOTANTE  
int velocidad_RD_int = 0; // SEÑAL A COMANDAR AL MOTOR DELANTERO  
(ENTERO)
```

```
unsigned long tiempo_anterior_PID = 0.0; // Tiempo en el que finalizó el último  
control realizado por el PID
```

```
unsigned long Ahora_PID = 0.0; // tiempo en el que se está volviendo a ejecutar  
el nuevo control del PID
```

```
volatile double Error = 0.0; // Diferencia de flancos ascendentes filtrados entre  
la rueda trasera y delantera
```

```
volatile double salida = 0.0, errorDer = 0.0, Error_anterior = 0.0, errorsum =  
0.0, errorProp = 0.0; // Definición de distintas variables para la realización el  
PID
```

```
double kp = 0.08, ki = 0.9, kd = 10000; // Término proporcional, integral y  
derivativo
```

```
double dT = 0.0; // Tiempo que tarda en volverse a ejecutar el control
```

```
double dT_distinto = 0.0; // Tiempo que tarda en volverse a ejecutar la  
comparación de flancos ascendentes para los filtros de las señales de los  
sensores Hall
```

```
unsigned long tiempo_anterior_mantener_traccion = 0.0; // tiempo anterior  
para mantener la señal al motor delantero en caso de pérdida de tracción de  
la rueda trasera
```

```
unsigned long tiempo_mantener_traccion = 0.0; // tiempo para mantener la  
señal al motor delantero en caso de pérdida de tracción de la rueda trasera
```

```
//--VARIABLES PARA IDENTIFICAR CUANDO SE DA TENSIÓN AL MOTOR  
DELANTERO UTILIZANDO EL PID Y CUANDO NO--//
```

```
boolean Automatico = false; // INICIALIZAMOS LA VARIABLE
```

```
boolean nuevo_Automatico = false; // INICIALIZAMOS LA VARIABLE
```

```
#define FuncionamientoManual 0 // SE PROPORCIONA TENSIÓN MÍNIMA O  
PROPORCIONAL AL ACELERADOR AL MOTOR DELANTERO
```

```
#define FuncionamientoAutomatico 1 // SE PROPORCIONA TENSIÓN A TRAVÉS  
DEL PID AL MOTOR DELANTERO
```

```
//-- --//
```

```
//-----//
```

```
//--DECLARACION DE LA PANTALLA LCD Y SUS VARIABLES--//
```

```
#define I2C_ADDR 0x3F //Direccion comprobada con otro sketch para saber  
la direccion de memoria del modulo 0x3F 0x27
```

```
#define BACKLIGHT_PIN 3
```

```
#define En_pin 2
```

```
#define Rw_pin 1
```

```
#define Rs_pin 0
```

```
#define D4_pin 4
```

```
#define D5_pin 5
```

```
#define D6_pin 6
```



```
#define D7_pin 7
```

```
#define LED_OFF LOW
```

```
#define LED_ON HIGH
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR, En_pin, Rw_pin, Rs_pin, D4_pin, D5_pin,  
D6_pin, D7_pin);
```

```
//--CREACIÓN DEL CARACTER BATERIA--//
```

```
byte bat_1[8] = { //Primer caracter de bateria
```

```
B00100,
```

```
B11111,
```

```
B10000,
```

```
B10100,
```

```
B11110,
```

```
B10100,
```

```
B10000,
```

```
B11111,
```

```
};
```

```
byte bat_2[8] = { //Segundo caracter de bateria
```

```
B00100,
```

```
B11111,
```

```
B00001,
```

```
B00001,
```

```
B01101,
```

```
B00001,
```

```
B00001,
```

```
B11111,
```

```
};
```

### 8.2.3 SELECCIÓN DEL MODO DE FUNCIONAMIENTO:

```
/* FUNCIÓN CON LA QUE SELECCIONAMOS EL MODO DE FUNCIONAMIENTO */  
void SELECCION_DEL_MODO()  
{  
  // Leemos el valor de los botones y lo guardamos en una variable  
  int VALOR_ON_OFF = digitalRead (BOTON_ON_OFF);  
  int VALOR_2X2_2X1 = digitalRead (BOTON_2X2_2X1);  
  
  /*Hay que tener en cuenta que las resistencias pull-up  
  invierten la lógica de los pulsadores. En el pin obtendremos  
  nivel ALTO cuando el pulsador esté sin pulsar y BAJO cuando  
  el interruptor esté pulsado.*/  
  
  if (VALOR_ON_OFF == HIGH && VALOR_2X2_2X1 == HIGH) // SI EL SWITCH ESTÁ EN  
  LA POSICIÓN 2X1 OFF  
  {  
    if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1) //Si la batería es correcta o esta baja  
    {  
      lcd.setCursor(0, 1);  
      lcd.print("2x1 off");  
    }  
  
    if (FLAG_0 == 0) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ  
    {  
      digitalWrite (LED_ON_OFF, LOW); // DE MOMENTO COMENTADO, SE APAGA EL LED  
      QUE INDICA QUE EL MODO_0 ESTÁ ACTIVADO  
      digitalWrite (LED_2X2_2X1, LOW);  
  
      //Serial.println("MODO 2X1 OFF\t"); // SE MUESTRA POR PANTALLA QUE ESTAMOS  
      EN EL MODO 2X1 OFF  
  
      sei(); // HABILITAMOS LAS INTERRUPCIONES  
  
      MODO_0 = 1; // ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 0  
      Serial.println ("Modo 0");  
      FLAG_0 = 1;  
      PRIMERA_VEZ_MODO_0 = 1; // CADA VEZ QUE CAMBIEMOS ESTE MODO ESTA  
      VARIABLE SE PONDRÁ A 1  
    }  
  }  
  
  else // SI EL SWITCH NO ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X1 OFF  
  {  
    if (FLAG_0 == 1) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ  
    {  
      FLAG_0 = 0;  
      MODO_0 = 0; // NO ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 0  
    }  
  }  
  
  if (VALOR_ON_OFF == LOW && VALOR_2X2_2X1 == HIGH) // SI EL SWITCH ESTÁ EN  
  LA POSICIÓN 2X1 ON  
  {
```



```
if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1)//Si la bateria es correcta o esta baja
{
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("2x1 on ");
}

if (FLAG_1 == 0) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
{
  digitalWrite (LED_ON_OFF, HIGH);
  digitalWrite (LED_2X2_2X1, LOW);
  FLAG_1 = 1;
  MODO_1 = 1; // ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 1
  Serial.println ("Modo 1");

  CONTADOR_TRASERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
  CAMBIEMOS DE MODO
  CONTADOR_DELANTERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
  CAMBIEMOS DE MODO

  tiempo_anterior = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO EN EL
  QUE SE REALIZÓ EL BUCLE ANTERIOR DE COMPARACION DE FLANCOS ENTRE LAS
  RUEDAS
  tiempo_anterior_PID = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO EN
  EL QUE SE EJECUTÓ EL PID ANTERIOR

  sei();// HABILITAMOS LAS INTERRUPCIONES
  //Serial.println("MODO 2X1 ON\t"); // SE MUESTRA POR PANTALLA QUE ESTAMOS
  EN EL MODO 2X1 ON
}
}
else // SI EL SWITCH NO ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X1 ON
{
  if (FLAG_1 == 1) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
  {
    FLAG_1 = 0;
    MODO_1 = 0; // NO ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 1
  }
}

if (VALOR_ON_OFF == HIGH && VALOR_2X2_2X1 == LOW) // SI EL SWITCH ESTÁ EN
LA POSICIÓN 2X2 OFF
{
  if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1)//Si la bateria es correcta o esta baja
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("2x2 off");
  }

  if (FLAG_2 == 0) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
  {
    digitalWrite (LED_ON_OFF, LOW);
    digitalWrite (LED_2X2_2X1, HIGH);
    FLAG_2 = 1;
  }
}
```



```
MODO_2 = 1; // ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 2
Serial.println ("Modo 2");
CONTADOR_TRASERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
CAMBIEMOS DE MODO
CONTADOR_DELANTERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
CAMBIEMOS DE MODO

tiempo_anterior = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO EN EL
QUE SE REALIZÓ EL BUCLE ANTERIOR DE COMPARACION DE FLANCOS ENTRE LAS
RUEDAS
tiempo_anterior_PID = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO EN
EL QUE SE EJECUTÓ EL PID ANTERIOR

sei();// HABILITAMOS LAS INTERRUPTIONES
//Serial.println("MODO 2X2 OFF\t"); // SE MUESTRA POR PANTALLA QUE ESTAMOS
EN EL MODO 2X2 OFF
}
}
else // SI EL SWITCH NO ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X2 OFF
{
if (FLAG_2 == 1) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
{
FLAG_2 = 0;
MODO_2 = 0; // NO ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 2
}
}

if (VALOR_ON_OFF == LOW && VALOR_2X2_2X1 == LOW) // SI EL SWITCH ESTÁ EN
LA POSICIÓN 2X2 ON
{
if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1)//Si la batería es correcta o esta baja
{
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("2x2 on ");
}

if (FLAG_3 == 0) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
{
digitalWrite (LED_ON_OFF, HIGH); // DE MOMENTO COMENTADO, SE ENCIENDE EL
LED QUE INDICA QUE EL MODO_1 ESTÁ ACTIVADO
digitalWrite (LED_2X2_2X1, HIGH);
FLAG_3 = 1;
MODO_3 = 1; // ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 3
Serial.println ("Modo 3");
CONTADOR_TRASERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
CAMBIEMOS DE MODO
CONTADOR_DELANTERO = 0; // SE INICIALIZA EL CONTADOR CADA VEZ QUE
CAMBIEMOS DE MODO

tiempo_anterior = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO EN EL
QUE SE REALIZÓ EL BUCLE ANTERIOR DE COMPARACION DE PULSOS ENTRE LAS
RUEDAS
```



```
tiempo_anterior_PID = tiempo_actual; // SE ACTUALIZA EL VALOR DEL TIEMPO EN
EL QUE SE EJECUTÓ EL PID ANTERIOR

sei(); // HABILITAMOS LAS INTERRUPTIONES
//Serial.println("MODO 2X2 ON\t"); // SE MUESTRA POR PANTALLA QUE ESTAMOS
EN EL MODO 2X2 ON
}
}
else // SI EL SWITCH NO ESTÁ EN LA POSICIÓN 2X2 ON
{
  if (FLAG_3 == 1) // PARA SOLO REALIZARLO UNA VEZ
  {
    FLAG_3 = 0;
    MODO_3 = 0; // NO ESTÁ SELECCIONADO EL MODO 3
  }
}
}
/* FIN FUNCIÓN CON LA QUE SELECCIONAMOS EL MODO DE FUNCIONAMIENTO */
```

## 8.2.4 CALCULO DE LA DIFERENCIA DE PULSOS:

```
void CALCULO_DIFERENCIA ()
{
    tiempo_actual = micros(); // GUARDAMOS EL TIEMPO ACTUAL

    if ((MODO_0 == 1) && (PRIMERA_VEZ_MODO_0 == 1)) // SI NOS ESTAMOS EN EL
MODO 0 Y ES LA PRIMERA VEZ QUE SE HA ENTRADO EN EL MODO0
    {
        COMPENSAR_ESFUERZO();
        UNA_VEZ = 0;
        BLOQUEO = 0;
        PRIMERA_VEZ_MODO_0 = 0;
    }
    if (((tiempo_actual - tiempo_anterior >= tiempo_calculo_diferencia) ||
(CONTADOR_DELANTERO >= PULSOS_LIMITE)) && (MODO_0 == 0) && (MODO_1 ==
1 || MODO_2 == 1 || MODO_3 == 1)) // SI ESTAMOS EN LOS MODOS 1,2,3 Y SI HA
PASADO UN TIEMPO DE 0.2 SEGUNDOS O SE HAN CONTADO 12 PULSOS O MAS EN LA
RUEDA DELANTERA
    {
        cli();//DESHABILITAMOS INTERRUPCIONES
        tiempo_diferente = (tiempo_actual - tiempo_anterior);
        dT_distinto = tiempo_diferente;

        velocidad_rueda_trasera = CONTADOR_TRASERO;
        velocidad_rueda_delantera = CONTADOR_DELANTERO;

        diferencia = (velocidad_rueda_trasera - velocidad_rueda_delantera);
        velocidad_rueda_trasera_final = (((velocidad_rueda_trasera * 50 * dT_distinto /
1000000) + (velocidad_rueda_trasera_final_anterior)) / (1 + ((50 * dT_distinto) /
1000000)))/** (TRACCION_PROP*valor_regulador_potencia)*;/
        velocidad_rueda_delantera_final = ((velocidad_rueda_delantera * 50 * dT_distinto
/ 1000000) + (velocidad_rueda_delantera_final_anterior)) / (1 + ((50 * dT_distinto) /
1000000));

        diferencia_filtrada = (velocidad_rueda_trasera_final -
velocidad_rueda_delantera_final);

        //CALCULO_DIFERENCIA_DE_PULSOS; // DE MOMENTO LO QUITO DESPUÉS
PONERLO
        FUNCION_REGULACION_DE_POTENCIA;
        TOMA_DE_DECISIONES;

        CONTADOR_TRASERO = 0;
        CONTADOR_DELANTERO = 0;

        tiempo_anterior = tiempo_actual;
        velocidad_rueda_delantera_final_anterior = velocidad_rueda_delantera_final;
        velocidad_rueda_trasera_final_anterior = velocidad_rueda_trasera_final;
        sei();// HABILITAMOS INTERRUPCIONES
    }
}
/* FIN FUNCIÓN CON LA QUE CALCULAMOS LA DIFERENCIA DE PULSOS */
```

### 8.2.5 TOMA DE DECISIONES:

```
/* FUNCIÓN CON LA QUE TOMAMOS LAS DECISIONES */
void TOMA_DE_DECISIONES()//La toma de decisiones sólo se realiza en los modos 0,
1 y 2
{
  if ((-diferencia_pulsos_limite < diferencia_filtrada) && (diferencia_filtrada <
diferencia_pulsos_limite) && (BLOQUEO == 0))// FUNCIONAMIENTO NORMAL
  { // SI LAS VELOCIDADES DE LAS RUEDAS SON APROXIMADAMENTE IGUALES Y NO
SE HA DETECTADO TRACCIÓN TOTAL ANTERIORMENTE DURANTE 3 SEGUNDOS
    UNA_VEZ = 0;
    digitalWrite (TRACCION, LOW);
    if (MODO_1)// SI ESTAMOS EN EL MODO 1
    {
      //Serial.println(" FUNCIONAMIENTO NORMAL, COMPENSANDO ESFUERZO EN
MODO 1\t");
      COMPENSAR_ESFUERZO();
      // SE LLAMA A ESTA FUNCIÓN PARA DAR UNA TENSIÓN MÍNIMA A LA RUEDA
DELANTERA
    }
    else if (MODO_2 || MODO_3)// SI ESTAMOS EN EL MODO 2 Ó 3
    {
      //Serial.println("FUNCIONAMIENTO NORMAL, TRACCIÓN PROPORCIONAL EN
MODO 2 Ó 3\t");
      TRACCION_PROPORCIONAL();
      //LA TRACCIÓN DELANTERA ES UN TANTO POR CIENTO PROPORCIONAL AL
ACELERADOR Y PROPORCIONAL AL REGULADOR DE POTENCIA
    }
  }// FIN FUNCIONAMIENTO NORMAL

  else if (diferencia_filtrada <= -diferencia_pulsos_limite) // SI LA RUEDA DELANTERA
VA MAS DEPRISA QUE LA RUEDA TRASERA
  { // FUNCIONAMIENTO RUEDA DELANTERA EN EL AIRE
    //Serial.println("FUNCIONAMIENTO RD AL AIRE COMPENSANDO ESFUERZO EN
MODO 1 2 Ó 3\t");
    COMPENSAR_ESFUERZO(); // SE LLAMA A ESTA FUNCIÓN PARA DAR UNA TENSIÓN
MÍNIMA A LA RUEDA DELANTERA
    BLOQUEO = 0;
    UNA_VEZ = 0;
    digitalWrite (TRACCION, LOW);
  }// FIN FUNCIONAMIENTO RUEDA DELANTERA EN EL AIRE

  else if ((diferencia_filtrada >= diferencia_pulsos_limite) || (BLOQUEO == 1))// SI LA
RUEDA TRASERA VA MAS DEPRISA QUE LA RUEDA DELANTERA
  { // FUNCIONAMIENTO PÉRDIDA DE TRACCIÓN EN LA RUEDA TRASERA (DERRAPE)
    digitalWrite (TRACCION, HIGH);
    if ((MODO_2) && (diferencia_filtrada >= diferencia_pulsos_limite)) // SI ESTAMOS
EN EL MODO 2
    {
      //Serial.println("FUNCIONAMIENTO DERRAPE, TRACCION PROPORCIONAL MODO
2\t");
      TRACCION_PROPORCIONAL();
      //LA TRACCIÓN DELANTERA ES UN TANTO POR CIENTO PROPORCIONAL AL
ACELERADOR Y PROPORCIONAL AL REGULADOR DE POTENCIA
```





```
}  
else if (MODO_1 || MODO_3) // SI ESTAMOS EN EL MODO 1 Ó 3  
{  
  if (diferencia_filtrada > -diferencia_pulsos_limite) // PARA QUE PUEDA OCURRIR  
  TANTO EN DERRAPE COMO EN NORMAL DURANTE 3 SEGUNDOS  
  { //SI NO ESTÁ LA RUEDA DELANTERA EN EL AIRE  
    tiempo_mantener_traccion = micros();  
    if (UNA_VEZ == 0)  
    {  
      BLOQUEO = 1; // PARA MANTENER LA SEÑAL DURANTE 3 SEGUNDOS A  
      EXCEPCIÓN DE QUE LA RUEDA DELANTERA GIRE MÁS DEPRISA QUE LA TRASERA  
      tiempo_anterior_mantener_traccion = tiempo_mantener_traccion;  
      UNA_VEZ = 1;  
    }  
  
    if (tiempo_mantener_traccion - tiempo_anterior_mantener_traccion > 3000000)  
    {  
      BLOQUEO = 0; // PASADOS 3 SEGUNDOS LA SEÑAL NO SE MANTIENE A NO SER  
      QUE VUELVA A DETECTARSE PÉRDIDA DE TRACCIÓN EN LA RUEDA TRASERA  
    }  
    //Serial.println("FUNCIONAMIENTO DERRAPE, TRACCION TOTAL MODO 1 Y 3\t");  
    PID(); // SE LLAMA A LA FUNCIÓN PID  
  } // FIN DE SI NO ESTA LA RUEDA EN EL AIRE  
} //FIN MODO 1 Ó 3  
  
} //FIN FUNCIONAMIENTO PÉRDIDA DE TRACCIÓN EN LA RUEDA TRASERA (DERRAPE)  
}  
/* FIN FUNCIÓN CON LA QUE TOMAMOS LAS DECISIONES */
```

### 8.2.6 PID:

```
/* REALIZACIÓN DEL PID*/
```

```
void PID()
```

```
{
```

```
  nuevo_Automatico = FuncionamientoAutomatico;
```

```
  Ahora_PID = micros(); // Tiempo actual en el que se produce el PID
```

```
  dT = (Ahora_PID - tiempo_anterior_PID); // ASÍ SE GUARDA EN UNA VARIABLE EL  
TIEMPO DESDE QUE SE PRODUJO EL PID ANTERIOR Y EL NUEVO
```

```
  Error = (velocidad_rueda_trasera_final - velocidad_rueda_delantera_final); // PARA  
CALCULAR EL ERROR O DIFERENCIA DE FLANCOS ASCENDENTES CONTABILIZADOS EN  
UN TIEMPO DETERMINADO ENTRE LAS RUEDAS
```

```
  if (nuevo_Automatico && !Automatico) // SI SE PROVIENE DE UN MODO DE DAR  
TENSIÓN AL CONTROLADOR DELANTERO QUE NO SEA MEDIANTE EL PID
```

```
  {
```

```
    Inicializar(); // Para inicializar el PID cada vez que pasemos de un modo de  
funcionamiento en el que no se utilice el PID
```

```
    //Serial.println("Inicializamos PID");
```

```
  }
```

```
  errorProp = kp * Error; // SE CALCULA LA PARTE PROPORCIONAL DEL PID
```

```
  // se limita el error proporcional
```

```
  if (errorProp > 3.8)
```

```
  {
```

```
    errorProp = 3.8; // Límite superior
```

```
  }
```

```
  else if (errorProp < -3.8)
```

```
  {
```

```
    errorProp = -3.8; // Límite inferior
```

```
  }
```

```
  errorsum += (Error * dT * ki / 1000000); // es igual que errorsum = errorsum +  
Error*dT*ki/1000000000 la división entre 1000000000 es para ponerlo en función  
de microsegundos
```

```
  // SE CALCULA LA PARTE INTEGRAL DEL PID
```

```
  //hay que limitar el error integral que es el errorsum
```

```
  if (errorsum > 3.8)
```

```
  {
```

```
    errorsum = 3.8; // Límite superior
```

```
  }
```

```
  else if (errorsum < 0.54)
```

```
  {
```

```
    errorsum = 0.54; // Límite inferior
```

```
  }
```

```
  errorDer = ((Error - Error_anterior) * kd) / dT; // no se multiplica por 1000000 porque  
kd lo va a absorber // SE CALCULA LA PARTE DERIVATIVA DEL PID
```

```
  // se limita el error derivativo
```

```
  if (errorDer > 2)
```

```
  {
```

```
    errorDer = 2; // Límite superior
```

```
  }
```

```
  else if (errorDer < -2)
```

```
  {
```

```
    errorDer = -2; // Límite inferior
  }
  salida = ((errorsum) + errorProp + errorDer); // LA SALIDA DEL PID TOTAL ES LA SUMA
DE TODAS LOS TÉRMINOS, EL PROPORCIONAL, EL INTEGRAL Y EL DERIVATIVO
//hay que limitar la salida total

  if (salida > 3.8)
  {
    salida = 3.8; // Límite superior
  }
  else if (salida < 0.54)
  {
    salida = 0.54; // Límite inferior
  }
  else
  {
    //No se hace nada pues se queda como está
  }

  velocidad_RD_float = ((salida * (31.4)) + 80); // SE TRADUCE ESA SEÑAL DE TENSIÓN
A VALORES ENTRE 0 Y 255 (0 Y 5 VOLTIOS) Y SE REALIZA DE ESTA FORMA PARA QUE
AMBOS MOTORES EMPIECEN A FUNCIONAR A LA VEZ
  velocidad_RD_int = velocidad_RD_float;
  if (velocidad_RD_float - velocidad_RD_int > 0.5)
  {
    velocidad_RD_int += 1;
  }

  velocidad_RD_int = constrain(velocidad_RD_int, 0, 165); // Se limita la señal a
comandar al motor delantero
  Mandar_al_controlador();
  //-----
  Error_anterior = Error; // Se guarda la diferencia de flancos ascendentes anterior
  Automatico = nuevo_Automatico;
  tiempo_anterior_PID = Ahora_PID; // Se guarda el tiempo en el que se realizó el
último PID
}
/* FIN REALIZACIÓN DEL PID*/
```

### 8.2.7 REGULACIÓN DE POTENCIA:

```
/* FUNCIÓN REGULACIÓN DE POTENCIA */  
void FUNCION_REGULACION_DE_POTENCIA()  
{  
    valor_regulador = analogRead(Regulador_de_potencia); // Guardamos el valor del  
    acelerador  
    if (valor_regulador <= 100)  
    {  
        valor_nuevo = 0.1;  
    }  
    else if (100 < valor_regulador && valor_regulador <= 200)  
    {  
        valor_nuevo = 0.2;  
    }  
    else if (200 < valor_regulador && valor_regulador <= 300)  
    {  
        valor_nuevo = 0.3;  
    }  
    else if (300 < valor_regulador && valor_regulador <= 400)  
    {  
        valor_nuevo = 0.4;  
    }  
    else if (400 < valor_regulador && valor_regulador <= 500)  
    {  
        valor_nuevo = 0.5;  
    }  
    else if (500 < valor_regulador && valor_regulador <= 600)  
    {  
        valor_nuevo = 0.6;  
    }  
    else if (600 < valor_regulador && valor_regulador <= 700)  
    {  
        valor_nuevo = 0.7;  
    }  
    else if (700 < valor_regulador && valor_regulador <= 800)  
    {  
        valor_nuevo = 0.8;  
    }  
    else if (800 < valor_regulador && valor_regulador <= 900)  
    {  
        valor_nuevo = 0.9;  
    }  
    else// (900 < valor_regulador && valor_regulador <= 1023)  
    {  
        valor_nuevo = 1.0;  
    }  
    //Serial.println(valor_regulador);  
    //Serial.println(valor_nuevo);  
}  
/* FIN FUNCIÓN REGULACIÓN DE POTENCIA */
```



### 8.2.8 COMPENSAR ESFUERZO:

```
/*-----FUNCIÓN COMPENSAR ESFUERZO-----*/  
void COMPENSAR_ESFUERZO()  
{  
    Automatico = FuncionamientoManual;  
    nuevo_Automatico = FuncionamientoManual;  
    velocidad_RD_int = 80; // esto es lo que tenía calculado inicialmente QUE  
    CORRESPONDE A LA TENSIÓN MÍNIMA QUE DAR A LA RUEDA DELANTERA PARA QUE  
    LOS IMANES DEJEN DE EJERCER OPOSICIÓN AL GIRO DE LA RUEDA  
  
    analogWrite(controlador_delantero, velocidad_RD_int);  
    tiempo_anterior_PID = micros();  
}  
/*-----FIN FUNCIÓN COMPENSAR ESFUERZO-----*/
```



### 8.2.9 TRACCIÓN PROPORCIONAL:

```
/* FUNCION PARA DAR UNA TRACCIÓN UN TANTO POR CIENTO PROPORCIONAL */  
void TRACCION_PROPORCIONAL()  
{  
  Automatico = FuncionamientoManual;  
  nuevo_Automatico = FuncionamientoManual;  
  valor_acelerador = analogRead(Acelerador); // LEEMOS EL VALOR QUE LLEGA POR  
  EL PIN AL QUE SE CONECTA EL ACELERADOR  
  valor_acelerador_traducido = map(valor_acelerador, 0, 1023, 18, 255); // Con el  
  mapeado conseguimos que ambas ruedas empiecen a funcionar a la vez pero no  
  significa que ambas ruedas circulen constantemente a la misma velocidad.  
  Serial.println(valor_acelerador_traducido);  
  
  if (valor_acelerador_traducido >= 165) // SE LIMITA EL MÁXIMO  
  {  
    valor_acelerador_traducido = 165;  
  }  
  /*valor_acelerador_traducido_float =  
  valor_acelerador_traducido*proporcion_acelerador*valor_nuevo;  
  valor_acelerador_traducido = valor_acelerador_traducido_float;  
  if(valor_acelerador_traducido_float - valor_acelerador_traducido > 0.5)  
  {  
    valor_acelerador_traducido += 1;  
  }*/  
  
  analogWrite(controlador_delantero, valor_acelerador_traducido);  
  tiempo_anterior_PID = micros();  
}  
/* FIN FUNCION PARA DAR UNA TRACCIÓN UN TANTO POR CIENTO PROPORCIONAL */
```



### 8.2.10 INICIALIZAR:

```
/* FUNCION QUE INICIALIZA ALGUNOS PARÁMETRO DEL PID AL PASAR DEL MODO  
MANUAL AL AUTOMATICO */  
void Inicializar()  
{  
    errorsum = 0.0;  
    Error_anterior = 0.0;  
}  
/* FIN FUNCION QUE INICIALIZA ALGUNOS PARÁMETRO DEL PID AL PASAR DEL MODO  
MANUAL AL AUTOMATICO */
```



### 8.2.11 MANDAR AL CONTROLADOR:

```
/*----FUNCIÓN QUE MANDA LA SEÑAL AL CONTROLADOR----*/  
void Mandar_al_controlador()  
{  
  if (velocidad_RD_int * valor_nuevo >= 165) // SE LIMITA EL MÁXIMO  
  {  
    valor_acelerador_traducido = 165;  
    analogWrite(controlador_delantero, 165);  
  }  
  analogWrite(controlador_delantero, (velocidad_RD_int * valor_nuevo));  
}  
/*----FIN FUNCIÓN QUE MANDA LA SEÑAL AL CONTROLADOR----*/
```



### 8.2.12 LEER TENSIÓN:

```
void leer_tension ()
{
    volatile int voltaje = analogRead (lectura_voltaje); //Se lee el voltaje del pin 0
    analogico

    voltaje_leido = map (voltaje, 0, 1023, 0, 500); //Se mapea entre 0-500 para
    despues dividir entre 100 y obtener un valor con dos difras decimales
    voltaje_leido = voltaje_leido / 100;          //Se pasa el valor con dos
    decimales

    voltaje_filtrado = voltaje_filtrado + (voltaje_leido - voltaje_filtrado)/
    SAMPLES_TO_AVERAGE; //Se actualiza la media

    voltaje_modificado = map (voltaje_filtrado, 0, 1023, 0, 100); //se hace mapea
    el voltaje para traducirlo a porcentaje

    if (voltaje_filtrado >= 1.88)
    {
        voltaje_filtrado = voltaje_filtrado*100; //Se vuelve a pasar con dos
        decimales para tener mayor precision
        volt_traducido_vumetro = map (voltaje_filtrado, 187, 500, 25, 255); //Se
        mapea el valor para poner un 0 cuando en la entrada haya 16 V y un 5 para
        cuando haya 0 V
        voltaje_filtrado = voltaje_filtrado/100;
    }
    else
        volt_traducido_vumetro = 0; //Si la tension es menor que 18 V poner 0 V a
        la salida siempre

    analogWrite (tension_vumetro, volt_traducido_vumetro);

    Serial.print (voltaje_filtrado);
    Serial.print (" ");
    Serial.println (volt_traducido_vumetro);

    if (voltaje_filtrado <= 2.60 && voltaje_filtrado >= 1.88) //Voltaje
    correspondiente a 25-18 V en los ultacondensadores para indicar que la carga
    esta baja
    {
        bateria_baja = 1;
        lcd.setCursor (7,1);
        lcd.print (" ");
        lcd.write (byte (0)); //Se imprime el primer caracter de la bateria
        lcd.write (byte (1)); //Se imprime el segundo caracter de la bateria
        lcd.print (" ");
    }
    else if (voltaje_filtrado < 1.88) //Voltaje por debajo de los 18 V que el boost
    ya no podria elevar a 36 V
```



```
bateria_baja = 2;
else
{
  if (bateria_baja == 2) //se borra la pantalla para eliminar letras no deseadas
    lcd.clear ();
  else if (bateria_baja == 1) //Se borra el icono de la bateria
  {
    lcd.setCursor (8,1);
    lcd.print (" ");
  }
  else
    bateria_baja = 0;
}
}
```

### 8.2.13 MUESTRA VELOCIDAD:

```
void muestra_velocidad ()
{
  if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1) //Si la bateria es correcta o esta baja
  {
    //Se producen 16 interrupciones en una vuelta, por lo que habra que tenerlo en
    cuenta
    if ((millis() - t_actual) > 1000) //se pone a cero cuando se pasa el tiempo de un
    segundo
    {
      cli(); //deshabilitamos las interrupciones globales para realizar los calculos
      vel_lineal = rpm * pi / 8 * 3.6 * DIAMETRO_RUEDA / 2; //V=R*W por lo que hay
      que pasar las rpm a rad/s y despues la velocidad lineal que esta en m/s a Km/h
      sei(); //habilitamos las interrupciones de nuevo
      lcd.setCursor(0, 0); //Se empieza en el caracter 0, de la linea 1

      if (vel_lineal < 10)
      {
        lcd.print("Speed: ");
        lcd.setCursor(7, 0);
        lcd.print(vel_lineal);
      }

      else
      {
        lcd.print("Speed:");
        lcd.setCursor(6, 0);
        lcd.print(vel_lineal);
      }

      lcd.setCursor(11, 0);
      lcd.print(" Km/h");//muestra la velocidad con 2 decimal

      rpm = 0; //se pone a cero las rpm
      t_actual = millis(); //se actualiza el tiempo
    }
  }
  else //si no hay bateria
  {
    lcd.setCursor (0, 0);
    lcd.print(" LOW BATTERY ");
  }
}
```

### 8.2.14 MUESTRA TENSIÓN:

```
void muestra_tension ()
{
    lcd.setCursor (0, 0);

    if (voltaje_modificado < 100 && voltaje_modificado > 9) //Para cuando la tension
este comprendida entre el 10 y el 99 %
    {
        lcd.print ("Carga:  ");
        lcd.setCursor(12, 0);
        lcd.print(voltaje_modificado);
    }

    else if (voltaje_modificado < 9) //Para cuando la tension este comprendida entre el
0 y el 9%
    {
        lcd.print ("Carga:  ");
        lcd.setCursor(13, 0);
        lcd.print(voltaje_modificado);
    }

    else //Para cuando la bateria sea del 100%
    {
        lcd.print ("Carga:  ");
        lcd.setCursor(11, 0);
        lcd.print(voltaje_modificado);
    }

    lcd.setCursor(14, 0); //Se empieza en el caracter 0, de la linea 1
    lcd.print(" %");
}
```

**8.2.15 MUESTRA POTENCIA:**

```
void mostrar_potencia ()
{
  if (bateria_baja == 0 || bateria_baja == 1) //Si la bateria es correcta o esta
  baja
  {
    valor_regulador = analogRead(Regulador_de_potencia); // Guardamos el
    valor del acelerador

    if (valor_regulador <= 100)
    {
      valor_nuevo = 0.1;
    }
    else if (100 < valor_regulador && valor_regulador <= 200)
    {
      valor_nuevo = 0.2;
    }
    else if (200 < valor_regulador && valor_regulador <= 300)
    {
      valor_nuevo = 0.3;
    }
    else if (300 < valor_regulador && valor_regulador <= 400)
    {
      valor_nuevo = 0.4;
    }
    else if (400 < valor_regulador && valor_regulador <= 500)
    {
      valor_nuevo = 0.5;
    }
    else if (500 < valor_regulador && valor_regulador <= 600)
    {
      valor_nuevo = 0.6;
    }
    else if (600 < valor_regulador && valor_regulador <= 700)
    {
      valor_nuevo = 0.7;
    }
    else if (700 < valor_regulador && valor_regulador <= 800)
    {
      valor_nuevo = 0.8;
    }
    else if (800 < valor_regulador && valor_regulador <= 900)
    {
      valor_nuevo = 0.9;
    }
    else// (900 < valor_regulador && valor_regulador <= 1023)
    {
      valor_nuevo = 1.0;
    }
  }
}
```



```
lcd.setCursor(0, 1); //Se empieza en el caracter 0, de la linea 2

if (valor_nuevo == 1) //Si la potencia seleccionada es 100% se hace un
espacio menos para conseguir
{ //El signo de % al final del todo
  //lcd.print("Power: ");
  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print(valor_nuevo * 100, 0);
}

else //Si la potencia seleccionada es menor del 100% se
pone un espacio de más por
{ //la misma razon que antes
  //lcd.print("Power: ");
  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(12, 1);
  lcd.print(valor_nuevo * 100, 0);
}

lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print(" %");
}
else //Si no hay bateria
{
  lcd.setCursor (0, 1);
  lcd.print (" CHARGE NEEDED! ");
}
}
```



### **8.3 PLANOS:**

A continuación, se mostrarán los planos en un fichero .pdf aparte necesarios para la fabricación de dicho control y su correspondiente envolvente, el orden de estos será:

#### **8.3.1 PLANOS CONTROL:**

Planos necesarios para la fabricación del control de los convertidores de los motores, el orden de estos planos es:

PLANO 1 DIMENSIONES.

PLANO 2 SERIGRAFIA.

PLANO 3 COMPONENTES.

PLANO 4 SOLDADURA.

PLANO 5 MÁSCARA DE SOLDADURA TOP.

PLANO 6 MÁSCARA DE SOLDADURA BOTTON.

PLANO 7 TALADRADO.



### 8.3.2 PLANOS CONECTOR:

De igual forma que en el punto anterior, se incluye el orden de los planos para la fabricación del conector de los sensores y las señales de los aceleradores.

PLANO 1 DIMENSIONES.

PLANO 2 SERIGRAFIA.

PLANO 3 COMPONENTES.

PLANO 4 SOLDADURA.

PLANO 5 MÁSCARA DE SOLDADURA TOP.

PLANO 6 MÁSCARA DE SOLDADURA BOTTON.

PLANO 7 TALADRADO.







### **8.3.3 PLANOS ENVOLVENTE:**

Se incluyen los planos de la envolvente del control y del conector, necesarios para la fabricación de las mismas.

- PLANO 1 UNIÓN MANILLAR-BASE.
- PLANO 2 ENGANCHE MANILLAR 1.
- PLANO 3 ENGANCHE MANILLAR 2.
- PLANO 4 BASE CONTROL.
- PLANO 5 TAPA CONTROL.
- PLANO 6 BASE CONECTOR.
- PLANO 7 TAPA CONECTOR.
- PLANO 8 JUNTA ESTANQUEIDAD CONROL.
- PLANO 9 JUNTA ESTANQUEIDAD CONECTOR.