

Universidad de Alcalá

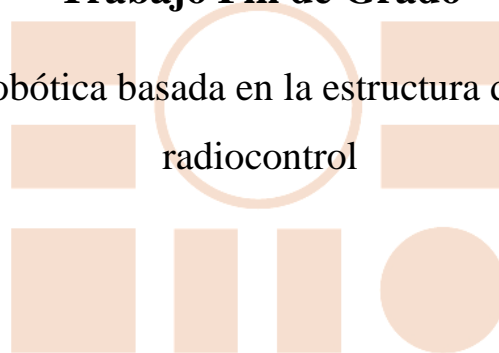
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería Electrónica de Comunicaciones



Trabajo Fin de Grado

Plataforma robótica basada en la estructura de un coche de
radiocontrol



ESCUELA POLITECNICA

Autor: Borja Díaz Rodríguez

Tutor: Julio Pastor Mendoza

2017

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE
COMUNICACIONES**

Trabajo Fin de Grado

Plataforma robótica basada en la estructura de un coche de
radiocontrol

Autor: Borja Díaz Rodríguez

Tutor: Julio Pastor Mendoza

TRIBUNAL:

Presidente: Daniel Pizarro Pérez

Vocal 1º: Pedro Revenga del Toro

Vocal 2º: Julio Pastor Mendoza

FECHA: 22 de septiembre de 2017

Agradecimientos

Este proyecto se lo tengo que agradecer a las personas que siempre se han mantenido a mi lado apoyándome en los momentos más duros, aquellas personas que siempre han confiado en mí, más incluso que yo mismo.

En especial, este proyecto se lo dedico a mis padres, quienes han hecho un esfuerzo sobrehumano para poder permitirme estudiar, quienes han hecho todo lo posible por darme la mejor educación que nadie podrá nunca recibir. Sin vosotros yo no estaría aquí, no sería como soy. Gracias de corazón, Mama, Papa, no podría estar más orgulloso y a la vez más en deuda con vosotros, os quiero.

También se lo dedico a mi hermano, quien siempre me ha intentado ayudar en todo lo posible, haciéndome pensar de una manera diferente, haciendo que las cosas parezcan fáciles. Muchas gracias hermano.

Se lo dedico a mis amigos, tanto dentro como fuera de la universidad. A ti David por haberme acompañado en este viaje desde hace más de 12 años, por haber ejercido de profesor siempre que lo he necesitado. A ti Rubén, por preocuparte en cada momento sobre cómo me iban las clases, como llevaba todo, por animarme siempre que lo necesitaba y dejarme tu hombro cuando fuera necesario. Gracias a los dos.

Y por supuesto, gracias a ti gorda, a ti Macarena, gracias por enseñarme a no rendirme nunca, a que el sacrificio siempre es recompensado. Gracias por darme fuerzas cuando no podía más, por pasarte tantas horas conmigo en la biblioteca solo para acompañarme, quien haría eso si no fueras tú. Gracias por haber pasado toda esta etapa conmigo, por estar siempre a mi lado, por los momentos buenos y los momentos no tan buenos. Este proyecto, esta carrera, te la debo a ti, creo que hubiera tirado la toalla si no fuera por tu incesante apoyo, por tu ayuda siempre que la necesitaba, por todo. Nunca podré agradecer todo lo que has hecho por mí, solo puedo volver a decirte gracias. Te quiero Macarena.

Índice General

Capítulo 1	7
I. Resumen	7
II. Abstract	8
III. Palabras Clave	9
IV. Resumen Extendido.....	10
Capítulo 2	13
2 MEMORIA	13
2.1 Introducción	13
2.1.1 Objetivos	13
2.1.2 Organización del documento.....	14
2.2 Descripción general del sistema	14
2.3 Tarjeta de desarrollo TAYOU LPC1768 Mini-DK2.....	15
2.3 Vehículo de radiocontrol	16
2.3.2 Análisis del vehículo	17
2.4 Sistema de captación y visualización	19
2.4.1 Encoder.....	20
2.4.3 Sensores de Infrarrojos	26
2.4.4 Sensor de Luminosidad	29
2.4.5 Buzzer	30
2.4.6 Final de carrera con función bumper.....	31
2.4.7 Sistema de visualización	31
2.5 Sistemas de tracción y dirección	33
2.5.1 Motor de Tracción.....	33
2.5.2 Motor de Dirección	34
2.5.3 Driver de control	35
2.5.4 Control PID	39
2.6 Conectividad	42

2.6.1	Módulo WiFi	42
2.6.2	APP	44
2.7	Sistema de alimentación.....	48
2.7.1	Convertidor DC-DC	48
2.7.2	Regulador Lineal	49
2.8	Sistema Completo	50
2.9	Conclusiones y líneas futuras.....	51
2.9.1	Conclusiones	51
2.9.2	Líneas futuras	52
3	PLANOS Y DIAGRAMAS	53
4	PLIEGO DE CONDICIONES	58
4.1	Hardware	58
4.2	Driver	58
4.3	Alimentación.....	58
4.4	Software	59
5	PRESUPUESTO	60
5.1	Coste de Equipamiento.....	60
5.1.1	Equipamiento de laboratorio	60
5.1.2	Hardware eléctrico utilizado	61
5.1.3	Hardware no eléctrico utilizado	62
5.1.4	Software Utilizado.....	62
5.2	Coste de Mano de Obra.....	62
5.3	Presupuesto total	63
6	MANUAL DE USUARIO	64
6.1	Manejo de la APP.....	64
6.2	Set IP	64
6.3	Puesta en marcha del vehículo	65
6.4	Algunas consideraciones	66
7	BIBLIOGRAFÍA.....	68

8	ANEXOS.....	70
---	-------------	----

Índice de Figuras

Figura 2. 1: Diagrama del sistema.....	14
Figura 2. 2: Tarjeta de desarrollo NXP LPC1768 Mini-DK2 [1].....	16
Figura 2. 3: Esquemático Tarjeta de desarrollo NXP LPC1768 Mini-DK2.....	16
Figura 2. 4: Subaru Impreza WRC 01 Tamiya [1].....	17
Figura 2. 5: Eje motriz y diferencial	18
Figura 2. 6: Suspensión del vehículo	18
Figura 2. 7: Alojamiento alimentación e interruptor	19
Figura 2. 8: Disco codificado	20
Figura 2. 9: Sensor de infrarrojo transmisivo.....	20
Figura 2. 10: Salidas A y B en cuadratura.....	21
Figura 2. 11: Soporte 3D para circuito de captura	22
Figura 2. 12: Circuito de captura y disco codificado	22
Figura 2. 13: Diseño e impresión del disco codificado	23
Figura 2. 14: Esquema encoder.....	23
Figura 2. 15: Sensor de Infrarrojos GP2Y0A21YK0F.....	26
Figura 2. 16: Curva característica Tensión/Distancia ⁻¹ [6].....	26
Figura 2. 17: Esquema sensor GP2Y0A21YK0F.....	27
Figura 2. 18: Tensión de salida sin condensador entre la alimentación	27
Figura 2. 19: Tensión de salida con condensador entre la alimentación	27
Figura 2. 20: Circuito ejemplo - Sensor de luminosidad.....	29
Figura 2. 21: Esquema sensor de luminosidad	29
Figura 2. 22: Buzzer	30
Figura 2. 23: Esquema buzzer	30
Figura 2. 24: Bumper	31
Figura 2. 25: Esquema bumper	31
Figura 2. 26: Panel Informativo	32
Figura 2. 27: Curva relación par-velocidad.....	33
Figura 2. 28: Curvas relación Par-Intensidad y Velocidad-Intensidad.....	33
Figura 2. 29: Sistema de dirección	34
Figura 2. 30: Motor DC y potenciómetro.....	35
Figura 2. 31: Monster Moto Shield	36
Figura 2. 32: Esquemático Monster Moto Shield.....	37

Figura 2. 33: Diagrama de bloques	40
Figura 2. 34: Módulo ESP8266 01	43
Figura 2. 35: Pinout módulo ESP8266 01	43
Figura 2. 36: APP	44
Figura 2. 37: Bloques de programación	45
Figura 2. 38: Bloques configuración IP	45
Figura 2. 39: Bloques configuración módulo ESP8266	46
Figura 2. 40: APP Java	47
Figura 2. 41: Convertidor step down	48
Figura 2. 42: Convertidor step up-down	48
Figura 2. 43: Consumo de corriente módulo ESP8266	49
Figura 2. 44: Configuración de pines KF33 [9]	50
Figura 2. 45: Circuito recomendado por el fabricante [9]	50

Índice de Tablas

Tabla 2. 1.....	24
Tabla 2. 2: Dirección del encoder	24
Tabla 2. 3: Definición pines de entrada utilizados	36
Tabla 2. 4: Definición pines de salida utilizados.....	37
Tabla 2. 5: Tabla de verdad en condiciones de operación normal	38
Tabla 2. 6: Características Eléctricas del regulador lineal KF33 [9].....	49

Capítulo 1

I. Resumen

El proyecto que se ha desarrollado se basa en una plataforma robótica basada en un vehículo de radiocontrol.

El vehículo presenta dos modos de funcionamiento. Por un lado está el control autónomo, que se ha realizado utilizando diferentes sensores. Por otro lado está el telecontrol, que se ha realizado mediante una aplicación Android que simula el control de un coche de radiocontrol.

Junto a ello, se une la implementación del comportamiento de un vehículo de producción habitual, como puede ser el encendido y apagado automático de las luces en función de la iluminación o el aviso de un golpe frontal.

II. Abstract

The project that has been developed consists of implementing a robotic station on a radiocontrol car.

The vehicle has two modes of operation. On the one hand, there is the autonomous control, which has been performed using different sensors. On the other hand, there is the telecontrol that has been performed using an Android application that simulates the control of the radiocontrol car.

Also some intelligent behavior implementation will be done to simulate the functionalities of a normal production car, like the automatic on or off switching of the lights according to illumination or the detection of a crash.

III. Palabras Clave

Vehículo, radiocontrol, robot, autónomo, microcontrolador.

IV. Resumen Extendido

Dada la importancia que tiene la robótica, la electrónica y los sensores en la actualidad, el objetivo de este proyecto ha sido poder unificar éstas en un mismo sistema.

Así, se ha realizado el estudio, diseño e implementación de una plataforma robótica basada en un vehículo de radiocontrol. Esto permite ofrecer una visión diferente del concepto de robot que comúnmente es conocido por la sociedad, ya que éste presenta cualidades como su velocidad de movimiento y actuación ante diversas situaciones.

Actualmente, también está en auge el desarrollo de vehículos de conducción autónoma, por lo que se ha partido de ésta idea para realizar una simulación de dicha conducción a pequeña escala.

Una de las características más relevantes de este proyecto es que se ha dotado al vehículo y su sistema de dos modos de conducción: control automático y telecontrol.

En el modo de control automático, el vehículo de forma autónoma circula por el entorno y detecta los obstáculos que se encuentre.

En el modo de telecontrol, es el usuario quién maneja al vehículo mediante su Smartphone.

Para el modo de control automático, se ha hecho uso de diferentes sensores que permiten al sistema la circulación autónoma mencionada anteriormente. Los sensores escogidos e implementados en la plataforma robótica son sensores de distancia de infrarrojos ya que estos permiten recoger información sobre el entorno. Esta información es recibida por el vehículo y mediante su programación, es capaz de detectar obstáculos y cambiar su trayectoria.

La ubicación de estos sensores en el vehículo es la siguiente:

- Parte frontal.
- Parte trasera.
- Parte frontal-izquierda.
- Parte frontal-derecha.

De este modo, cuando el vehículo se encuentra en movimiento la ubicación de los sensores permite controlar el espacio en el que se encuentra.

Para el modo de telecontrol se ha creado una aplicación para un Smartphone con sistema operativo Android que simula el comportamiento de un mando de radiocontrol y se comunica con el vehículo mediante un módulo WiFi posibilitando al usuario su control.

Al implementar este sistema, uno de los requisitos de este proyecto es controlar la velocidad de cada motor. Para ello se ha prescindido de la electrónica que llevaba el vehículo, sustituyéndose por un driver de control diseñado para el control de motores en el ámbito de los coches de radiocontrol.

La corriente aplicada a cada motor se calcula en base al ciclo de trabajo de una señal PWM que genera el microcontrolador. Dicho control se realiza mediante el uso de un controlador PID, permitiendo de esta manera tener un continuo control de la velocidad.

Para poder conocer la velocidad a la que circula el vehículo, se ha hecho uso de un encoder óptico situado en el eje trasero.

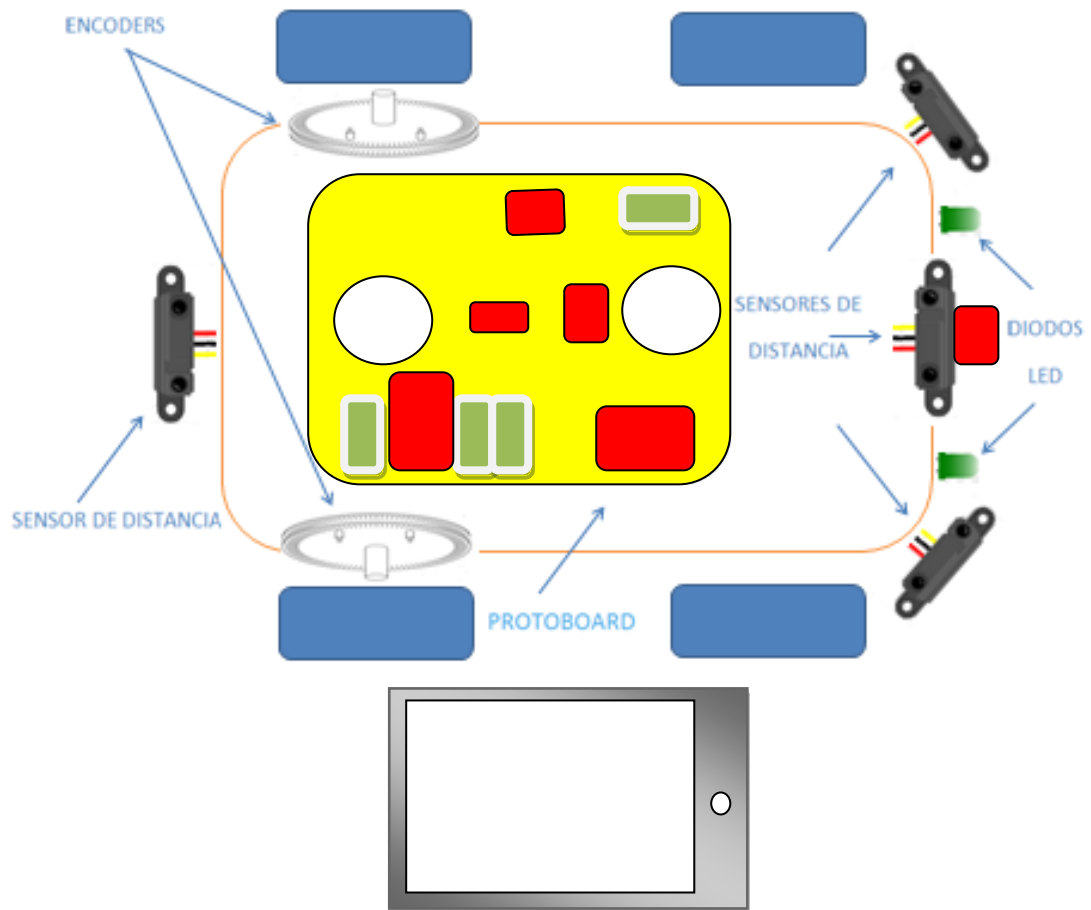
Otra implementación del vehículo se basa en el uso de sensores de confort. Esto permite simular el comportamiento de un vehículo de producción. Por tanto, se ha recurrido a un sensor de luminosidad que posibilita el encendido y apagado de luces de manera automática. Así como, un sensor de choque unido a un zumbador que emite un aviso sonoro si se produce una colisión frontal.

Toda la programación anteriormente descrita se ha realizado en lenguaje de programación C.

Como conclusión de este apartado, se ofrece el diagrama del sistema, que muestra la ubicación de cada elemento que ha sido incluido en la base del vehículo para el desarrollo del proyecto. Los sensores que no han sido representados se encuentran instalados en la protoboard alojada en el vehículo.

Cada componente será explicado detalladamente en los diversos apartados de este documento. Por ello, en este apartado sólo se hará referencia a qué elemento de la imagen corresponde a cada componente:

- Los recuadros verdes representan las baterías utilizadas.
- Los recuadros rojos representan las tarjetas de electrónica.
- Los círculos blancos representan los motores utilizados.
- El recuadro gris y blanco representa el Smartphone necesario para manejar la APP.
- Los recuadros azules representan las ruedas del vehículo



Capítulo 2

2 MEMORIA

2.1 Introducción

El presente proyecto ha surgido del interés personal en el ámbito automovilístico y electrónico. Estos ámbitos han sido unidos para crear un sistema que se acercase a una realidad vigente en nuestra sociedad: la conducción autónoma. Este tipo de conducción cada vez abarca mayor extensión en la sociedad, por lo que esta idea sirvió de base para acercarse a esta tecnología, dando lugar al proyecto creado.

El proyecto se ha basado así en una estructura o plataforma robótica, en este caso, un coche de radiocontrol al que se le ha implementado un sistema inteligente que permite su control mediante dos modos que serán desarrollados en este documento: telecontrol y automático.

Así, el principal objetivo del proyecto fue crear un robot que, cuando interactuase con el entorno, mostrase diversas capacidades como la detección y evitación de un obstáculo, la movilidad automática o el control remoto. Para poder posibilitar estas funciones, se ha hecho uso de sensores que proporcionan al sistema información del entorno e indican la luminosidad ambiente a través del encendido y apagado de luces, al igual que un vehículo de producción.

El enfoque de este documento está realizado desde una perspectiva didáctica ya que permite comprender los diferentes puntos que han de valorarse para desarrollar un robot de estas características.

2.1.1 Objetivos

El objetivo fundamental de este proyecto es el diseño, implementación y evaluación de un prototipo de una plataforma robótica, tanto en lo referente a la parte mecánica, cómo a la parte electrónica posibilitando así el control de la misma.

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Diseñar el control electrónico tanto del motor de tracción cómo del de dirección.
- Implementar todos los sensores necesarios en el vehículo tanto de manera mecánica cómo electrónica.
- Diseñar e implementar el algoritmo de control autónomo del vehículo.
- Diseñar e implementar la conectividad del vehículo que posibilite el control remoto del mismo.

2.1.2 Organización del documento

Este documento se organiza en un estudio del sistema de tracción y dirección, donde se incluye el desarrollo e implementación de la solución escogida para el control del vehículo.

Posteriormente se incluye el estudio de la electrónica utilizada para hacer posible el uso de los diferentes sensores utilizados, considerando el objetivo inicial y la integración de estos módulos en la estructura final.

Para finalizar el diseño de la estación robótica, se incluye un estudio de cómo se ha establecido comunicación con el vehículo.

Para concluir el documento, se incluye un apartado de conclusiones y líneas futuras dónde se reflexiona sobre la práctica realizada y los resultados obtenidos.

2.2 Descripción general del sistema

El sistema que se ha desarrollado es un sistema inteligente, es decir, mediante el diseño e implementación de los diferentes sensores en la plataforma robótica recibe información del entorno y cumple así, las siguientes funcionalidades:

- Evitación de los posibles obstáculos que se encuentren en la trayectoria del vehículo.
- Medir la velocidad del vehículo.
- Encendido y apagado automático de luces con baja iluminación.
- Aviso de golpe frontal.

Se observa a continuación un esquemático del sistema creado (ver Figura 2. 1):

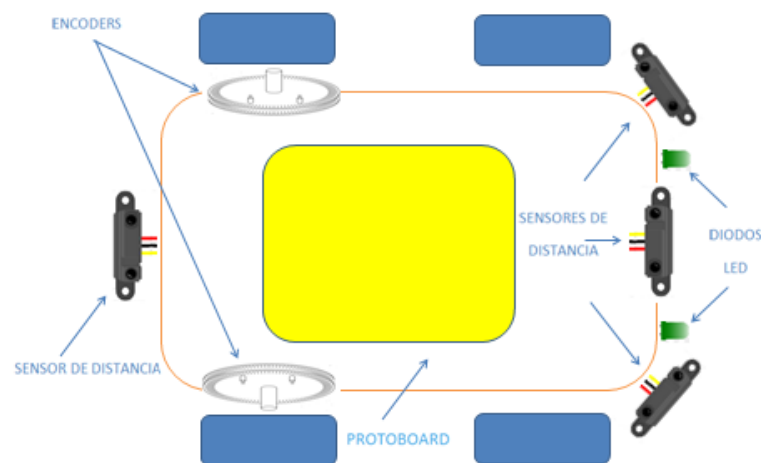


Figura 2. 1: Diagrama del sistema

2.3 Tarjeta de desarrollo TAYOU LPC1768 Mini-DK2

Una vez planteados los objetivos del proyecto y, sobre todo, el objetivo final que era crear un sistema inteligente, se determinó que era necesario utilizar una tarjeta microcontroladora cuya función fuese ejercer control sobre todo el hardware utilizado.

Para ello, se realizó un estudio de los módulos que se han utilizado, observando que requisitos técnicos se necesitaban de la tarjeta microcontroladora. Una vez realizado el estudio, se plantearon los siguientes requisitos mínimos:

- Dos canales PWM.
- Cinco canales ADC.
- Dos temporizadores de uso general.
- Al menos 20 pines de entrada/salida.
- Interfaz para el uso de un display.

Teniendo en cuenta estos requisitos, se eligió la tarjeta TAYOU LPC1768 Mini-DK2, ya que sus características se adecuan a las necesidades que presenta este proyecto .

Esta tarjeta presenta la posibilidad de uso de una interfaz TFT 2.8", lo cual limita el uso de pines disponibles a cambio de mejorar la experiencia con el usuario.

Teniendo en cuenta esta interfaz, las especificaciones técnicas de esta tarjeta son [1]:

- 512 kB de memoria flash
- Interfaz USB 2.0
- 2 UARTs
- 5 canales ADC de 12-bit de resolución
- Interfaz Codificador en Cuadratura (QEI de Quadrature Encoder Interface)
- 4 temporizadores de uso general
- 4 salidas PWM de uso general
- 25 pines de entrada y/o salida de uso general
- Interfaz para TFT 2.8 pulgadas de color
- Interfaz tarjeta SD
- Posibilidad de ser alimentado desde la fuente de 5V del USB

En la Figura 2. 2 se puede observar la tarjeta de desarrollo utilizada:

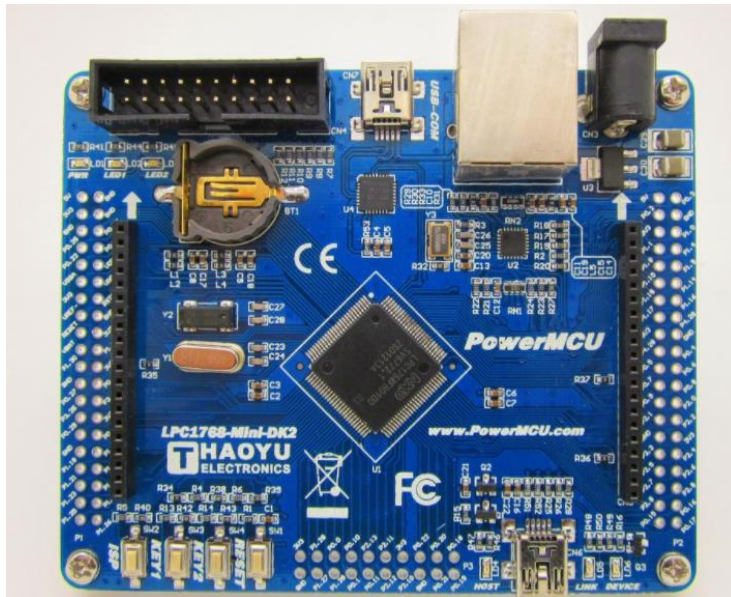


Figura 2. 2: Tarjeta de desarrollo NXP LPC1768 Mini-DK2 [1]

A continuación se muestra un esquemático de la tarjeta (ver Figura 2. 3):

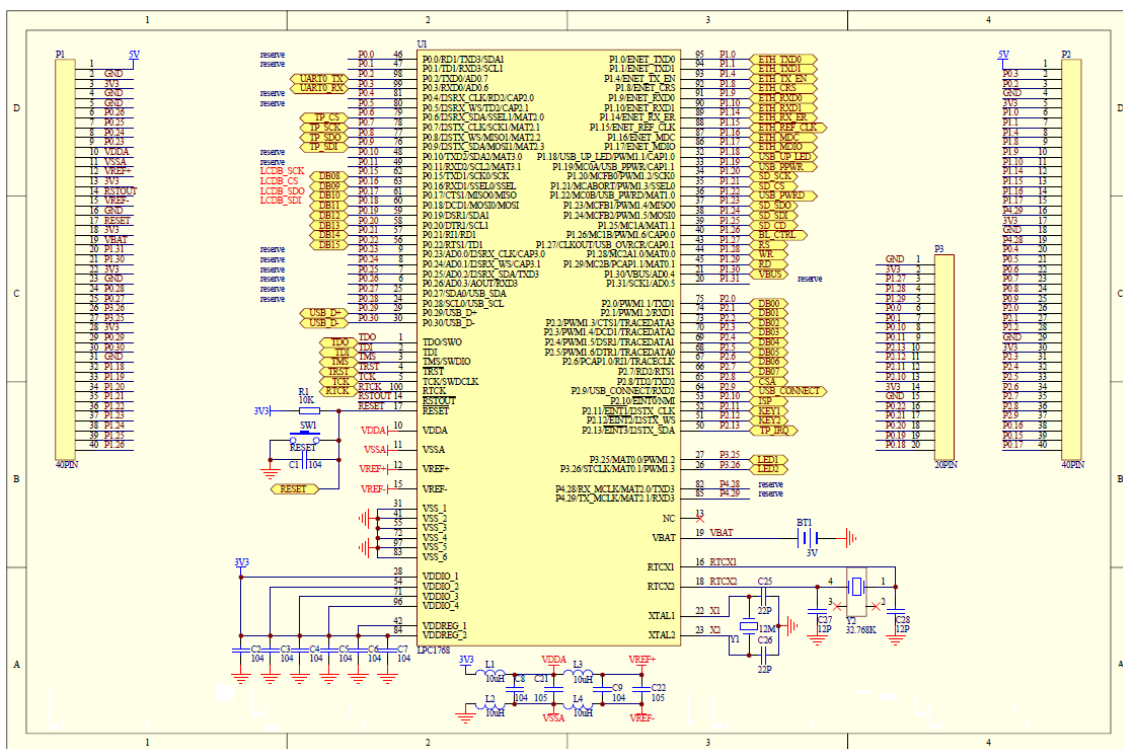


Figura 2. 3: Esquemático Tarjeta de desarrollo NXP LPC1768 Mini-DK2

2.3 Vehículo de radiocontrol

Este estudio comprende aquellas partes mecánicas y eléctricas que forman el coche de radiocontrol y que son fundamentales para el adecuado desarrollo de este trabajo.

2.3.2 Análisis del vehículo

El vehículo de radiocontrol elegido¹ es un Subaru Impreza WRC 2001 de la marca Tamiya (ver Figura 2. 4):



Figura 2. 4: Subaru Impreza WRC 01 Tamiya [1]

Para el desarrollo del proyecto se ha eliminado toda la electrónica de control que se encontraba implementada en el vehículo comercial y se han mantenido sin modificar el motor de tracción, el motor de dirección, el chasis y la alimentación, a excepción de la carrocería del vehículo, que ha requerido alguna pequeña modificación.

A continuación, se presenta un desglose de las partes de las que se compone el vehículo:

- **Eje motriz:** esta función la realiza el eje trasero, siendo éste el que proporciona la velocidad al vehículo. A él se encuentra unido el motor de tracción por medio de un diferencial, el cual permite que las ruedas traseras giren a velocidades diferentes según éste se encuentre tomando una curva hacia la derecha o hacia la izquierda. Gracias a él, la tracción del motor actúa de manera idéntica en cada una de las ruedas. (ver Figura 2. 5)

¹ Este vehículo ha sido cedido por la Universidad de Alcalá (UAH).



Figura 2. 5: Eje motriz y diferencial

- **Motor de tracción:** es el encargado de proporcionar el movimiento al vehículo. Se trata de un motor de corriente continua con escobillas.
- **Motor de dirección:** gracias a él, las ruedas directrices (ruedas delanteras) giran en el sentido deseado. Está compuesto por un motor de corriente continua unido a un potenciómetro, el cual indica en qué punto se encuentra la dirección.
- **Chasis:** se encuentra fabricado en material plástico. A él se unen todas las partes del vehículo. Una parte fundamental del chasis es la suspensión, la cual permite que el vehículo no pierda tracción ni direccionalidad sobre superficies irregulares. Se compone de cuatro muelles, dos de ellos unidos a la dirección y otros dos unidos a la tracción. (ver Figura 2. 6)



Figura 2. 6: Suspensión del vehículo

- **Alimentación:** compuesta por una batería de 9.7V. Se encuentra alojada en la parte inferior del chasis y es la encargada de proporcionar energía al vehículo. Dispone de un interruptor que permite activar o desactivar la alimentación. (ver Figura 2. 7)



Figura 2. 7: Alojamiento alimentación e interruptor

- **Carrocería:** está formada por material plástico de baja rigidez que evita daños motivados por una colisión. Se encuentra fijada al chasis por medio de cuatro tornillos, dos en la parte delantera y dos en la trasera. La altura es regulable en tres puntos, fijándola en el punto superior por facilidad de implementación de los diferentes sistemas.

2.4 Sistema de captación y visualización

En este apartado se va a realizar el estudio, diseño e implementación de los diferentes sensores que hacen posible las siguientes funcionalidades:

- Evitación de los posibles obstáculos que se encuentren en la trayectoria del vehículo.
- Medir la velocidad del vehículo.
- Encendido y apagado automático de luces con baja iluminación.
- Aviso de golpe frontal.

Para cumplir con los requisitos mencionados, es necesario hacer uso de sensores que permitan recoger la información del entorno, para poder evaluarla y utilizarla en los propósitos descritos. Para detectar los obstáculos se plantearon dos posibles soluciones: utilizar sensores de ultrasonidos o sensores de distancia por infrarrojos. Se descartaron los sensores de ultrasonidos porque, al ser la altura del robot demasiado baja, se podrían producir rebotes de los pulsos generados por el sensor contra el suelo dando lugar a una medida errónea. Por ello se utilizaron sensores de distancia por infrarrojos que no presentan este tipo de errores.

Para poder medir la velocidad del vehículo se ha utilizado un encoder adaptado al eje donde se ubica el motor de tracción.

La función automática del encendido y apagado de luces, se ha realizado mediante el uso de un sensor de luminosidad. Así mismo, para poder detectar un choque frontal se ha hecho uso de un final de carrera con función de parachoques (bumper). El aviso se realiza de manera sonora por medio de un zumbador (buzzer).

Por último, en este apartado también se estudiará el display utilizado en cuanto a su diseño y funcionalidad.

2.4.1 Encoder

Se necesita un módulo que permita medir la velocidad del vehículo. Para ello se ha hecho uso de un encoder óptico, que es un dispositivo utilizado para convertir el giro del eje trasero del vehículo de radiocontrol, en pulsos digitales. El encoder se compone fundamentalmente de:

1. Disco codificado.
2. Circuito de captura.

El disco codificado presenta en su diseño unas hendiduras que permiten el paso del haz de luz que emite el circuito de captura. El número de hendiduras que posee el disco codificado se expresa como pulsos por vuelta (PPV). (ver Figura 2. 8)

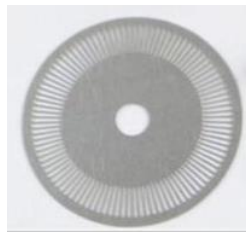


Figura 2. 8: Disco codificado

El circuito de captura del encoder está formado por un módulo emisor/receptor. Se trata de un sensor de infrarrojo transmisivo. El emisor y el receptor se posicionan opuestos entre sí, pero alineados, de modo que la luz del primero incide directamente sobre el segundo. La detección se realiza por sombra o bloqueo, es decir cuando el objeto interrumpe el haz de luz (ver Figura 2. 9).

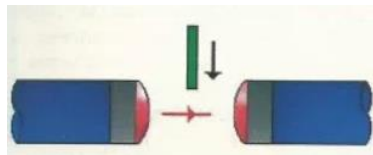


Figura 2. 9: Sensor de infrarrojo transmisivo

Las salidas de los fotodiodos pasan por dos comparadores que generan las salidas del canal A y el canal B. Debido a la técnica de integración de fase, la salida del canal A se encuentra en cuadratura con el canal B (90 grados de desfase) como se puede observar en la Figura 2. 10 [5]:

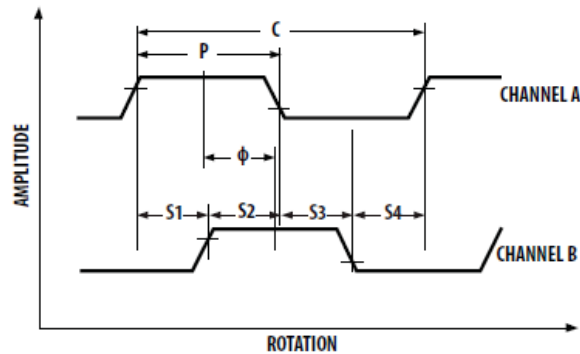


Figura 2. 10: Salidas A y B en cuadratura

Originalmente, se pretendía utilizar el encoder para las siguientes funcionalidades: realizar el control PID del motor de tracción e identificar los parámetros del motor.

Al realizar la implementación física del encoder se encontraron varias dificultades, ya que el espacio disponible en el vehículo en la parte del eje trasero era bastante reducido, lo que dificultaba el ensamblaje tanto del disco codificado como del circuito de captura. Por ello se diseñó una primera versión, la cual fue posteriormente desestimada, dando lugar a una segunda versión que es la que se implementó finalmente en este proyecto.

Versión 1 del útil de fijación

En un primer momento se diseñó en 3D, un útil para asegurar el circuito de captura al chasis del vehículo utilizando el programa OpenSCAD. Presentaba tres partes diferenciadas como puede verse en la Figura 2. 11.

1. Parte inferior formada por dos soportes que se apoyan en el eje y permiten una sujeción más firme.
2. Parte central formada por un soporte orientado a sostener el circuito de captura mediante dos tornillos.
3. Parte superior formada por un soporte con un tornillo para fijarlo al chasis del vehículo.

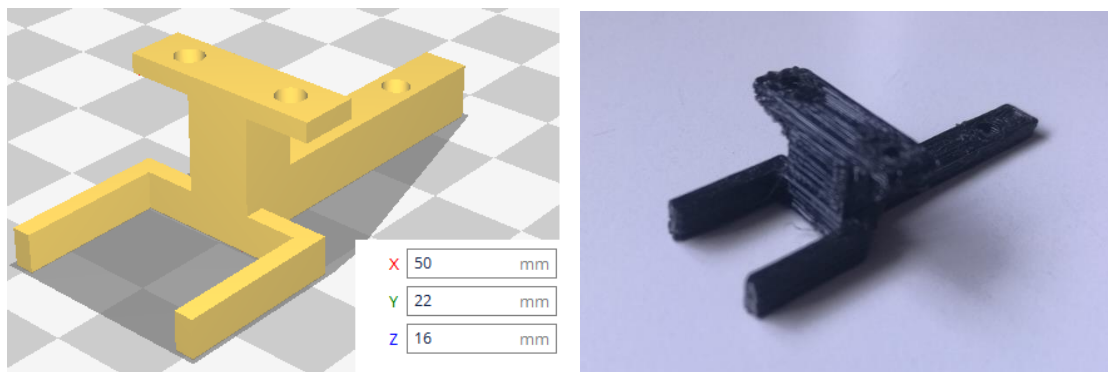


Figura 2. 11: Soporte 3D para circuito de captura

Esta idea se desestimó ya que el soporte debía fijarse al chasis del vehículo y al eje de la rueda, lo que podría suponer un daño o rotura del soporte cuando recibiese una torsión superior a su límite, sobre todo, en superficies irregulares donde el uso de la suspensión haría su mayor efecto. Así mismo, el circuito de captura y el encoder también podrían resultar dañados.

Versión 2 del útil de fijación

El diseño final se realizó con ayuda de un separador de circuito, dos tuercas junto con dos arandelas y un tornillo. Este diseño se fijó en la base de la suspensión del vehículo, sustituyendo el tornillo que tenía el coche por este sistema (ver Figura 2. 12).

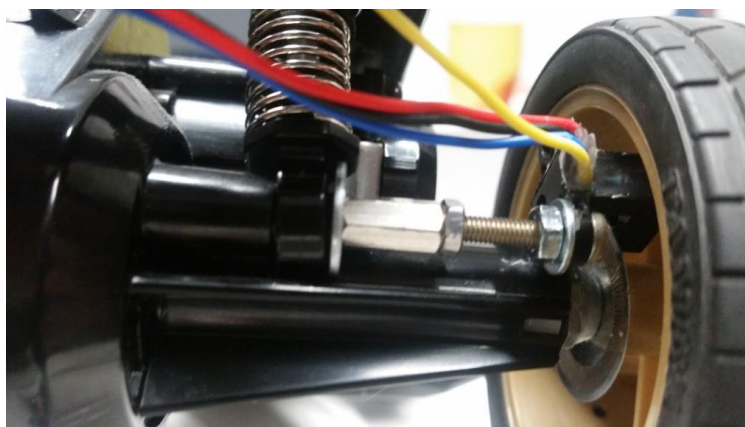


Figura 2. 12: Circuito de captura y disco codificado

Versión 1 del disco codificado

En un primer momento el disco codificado que se compró junto al circuito de captura se descartó, ya que estaba diseñado para un eje circular y el eje de las ruedas del vehículo utilizado era hexagonal.

Por tanto, al igual que con el circuito de captura, se diseñó en 3D un disco codificado de diámetro 31mm, 72 PPV y eje hexagonal (ver Figura 2. 13).

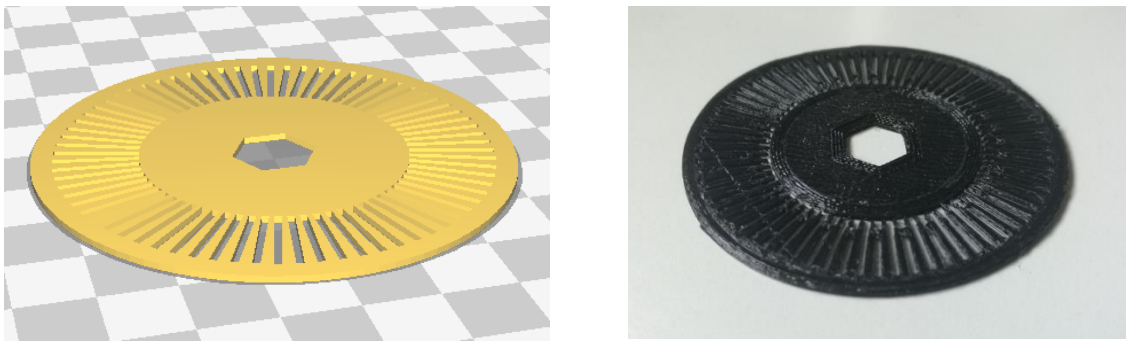


Figura 2. 13: Diseño e impresión del disco codificado

Debido a que la impresora 3D no contaba con la precisión necesaria, la realización de este disco presentaba imperfecciones. Por lo tanto, el uso de este disco no era adecuado.

Versión 2 del disco codificado

Esta situación se resolvió finalmente aumentando paulatinamente el diámetro del eje del disco codificado que se había comprado con la ayuda de un taladro. Para ello se utilizaron brocas cuyo diámetro fue aumentando en cada iteración, llegando a alcanzar los 6mm, que es el valor del diámetro del eje del vehículo.

Finalmente se consiguió que el disco quedase alojado en el interior de la llanta junto al circuito de captura, permitiendo así la lectura de la velocidad, cómo se puede ver en la Figura 2. 12.

2.4.1.1 Diseño electrónico y programación

El encoder dispone de tres pines, dos de ellos correspondientes a la alimentación (+5 V y masa) y el tercer pin a la salida del encoder (ver Figura 2. 14).

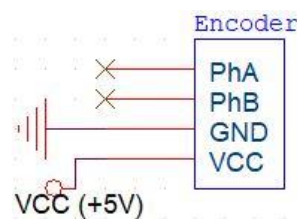


Figura 2. 14: Esquema encoder

Para la programación del encoder se han implementado dos soluciones, ya que el vehículo dispone de dos encoders.

QEI

El periférico QEI convierte un desplazamiento angular en dos pulsos de señales. Monitorizando ambos pulsos y la fase relativa de las dos señales, se puede averiguar la posición, la dirección de rotación y la velocidad. En este proyecto se hará uso de la dirección de rotación y la velocidad.

Este periférico decodifica los impulsos digitales del disco codificado para integrar la posición en el tiempo y determinar la dirección y velocidad de rotación.

Se ha utilizado el modo de fase en cuadratura para poder conocer el sentido de giro (ver Tabla 2. 2):

DIR bit	DIRINV bit	direction
0	0	forward
1	0	reverse
0	1	reverse
1	1	forward

Tabla 2. 1

Tabla 2. 2: Dirección del encoder

La velocidad de rotación en revoluciones por minuto (RPM) se representa a través de la siguiente ecuación:

$$RPM = (PCLK * QEICAP * 60) \div (QEILOAD * PPR * Edges)$$

Siendo:

- *PCLK* la frecuencia de reloj (25 MHz).
- *QEICAP* el valor del contador de velocidad capturado para el último periodo del temporizador de velocidad.
- *QEILOAD* el valor de recarga del temporizador de velocidad.
- *PPR* los pulsos por revolución. Este valor está condicionado por el disco codificado utilizado, que en este proyecto es 100.
- *Edges* puede ser dos o cuatro, basado en la configuración del modo de captura en el bit 2 (*CAPMODE*) del registro *QEICONF*², configurándose finalmente con valor cuatro.

Posteriormente, para convertir las RPM en velocidad lineal se ha hecho uso de la siguiente ecuación:

² Modo de captura. Cuando es igual a 0, solo los flancos de la fase A (PhA) son contados (x2), mientras que si es igual a 1, tanto los flancos de la fase A (PhA) como de la B (PhB) son contados, incrementando la resolución pero disminuyendo el rango.

$$velocidad = ((RPM * diámetro_{rueda} * \pi * 60) \div 1000) \left[\frac{Km}{h} \right]$$

Los pines de los que dispone el periférico QEI son:

- MCI0: Usado como la entrada de la fase A (PhA). Se encuentra asignado al pin P1.20.
- MCI1: Usado como la entrada de la fase B (PhB). Se encuentra asignado al pin P1.23.

Timer

Para conocer la velocidad de rotación de la rueda se ha utilizado un temporizador (Timer) en modo captura. En la rutina de interrupción se ha implementado el siguiente algoritmo:

1. Se borra el flag de interrupción leyendo el registro IR.
2. A la variable *cuentas* se le asigna el valor del registro CR1 (Registro de Captura 1). Éste registro contiene el valor del contador de tiempo cuando se produce un evento en la entrada CAP1.0.
3. A la variable *diferencia* se le resta la variable *temporal* (0 inicialmente).
4. A la variable *temporal* se le asigna el valor de la variable *cuentas*.
5. El tiempo transcurrido en un ciclo es igual a la diferencia entre la frecuencia del sistema.

Esto se produce de manera cíclica. Cuando el algoritmo se realiza 100 veces (número de pulsos por revolución del encoder) quiere decir que se ha completado una vuelta completa de la rueda y se puede conocer la velocidad a la que se encuentra girando.

Para conocer la velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$velocidad = \left(\frac{vueltas_s * \left(\frac{diámetro_{rueda}}{2} \right) * \pi * 3600 \left[\frac{S}{h} \right]}{1000} \right)$$

Siendo $vueltas_s$ las vueltas por segundo del disco codificado que se calcula de la siguiente manera:

$$vueltas_s = \frac{1}{tiempo_{total}}$$

Una vez hecho todo esto, se reinicia el valor de cada variable y vuelve a comenzar el bucle.

Uniendo estas dos soluciones se podría conocer la velocidad de cada rueda del vehículo. Si el vehículo se encontrara tomando una curva, cada rueda giraría a diferente velocidad gracias a la acción del diferencial. Así, se realizaría la media de ambas y se tomaría ese valor como la velocidad del vehículo.

2.4.3 Sensores de Infrarrojos

El modelado de la conducción autónoma se ha realizado a través de sensores de distancia de infrarrojos. Esto permite al vehículo la evitación de obstáculos que se encuentren en su trayectoria pudiendo avanzar así, en la dirección seleccionada por el algoritmo de control.

El módulo seleccionado ha sido el GP2Y0A21YK0F del fabricante SHARP (ver Figura 2. 15). Está compuesto por la combinación de un detector sensible a la posición (PSD), un diodo emisor de infrarrojos y un circuito de procesamiento de señal.



Figura 2. 15: Sensor de Infrarrojos GP2Y0A21YK0F

La tensión de salida de este dispositivo está relacionada con la distancia medida por el sensor. La relación tensión/distancia no es lineal y presenta la curva (ver Figura 2. 16):

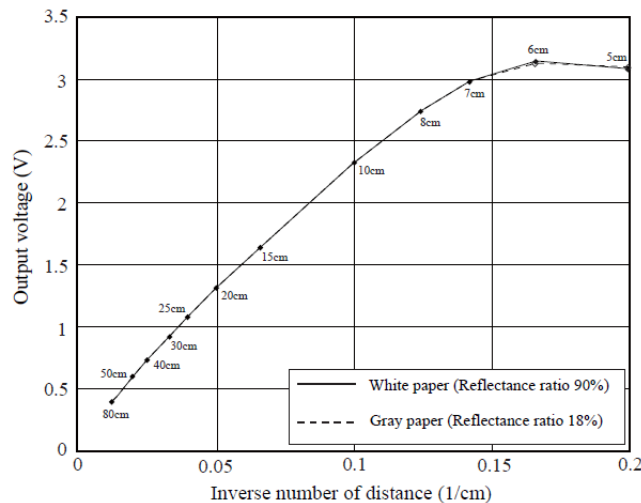


Figura 2. 16: Curva característica Tensión/Distancia⁻¹ [6]

El rango de distancia medida está comprendido desde los 10 hasta los 80 cm, como se puede apreciar en la Figura 2. 16.

Dispone de tres pines, dos de ellos correspondientes a la alimentación (+ 5V y masa) y el tercer pin a la salida del sensor (ver Figura 2. 17).

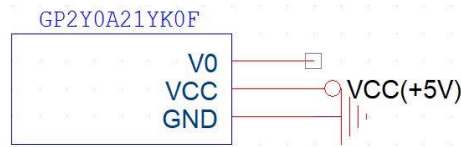


Figura 2. 17: Esquema sensor GP2Y0A21YK0F

El fabricante recomienda el uso de condensadores entre VCC y GND para poder estabilizar la tensión. Con capacidad mínima de $10\mu\text{F}$ y lo más próximo posible al sensor. Sin el uso de ellos, las medidas poseen poca precisión. Este efecto no deseado se puede observar en la Figura 2. 18:

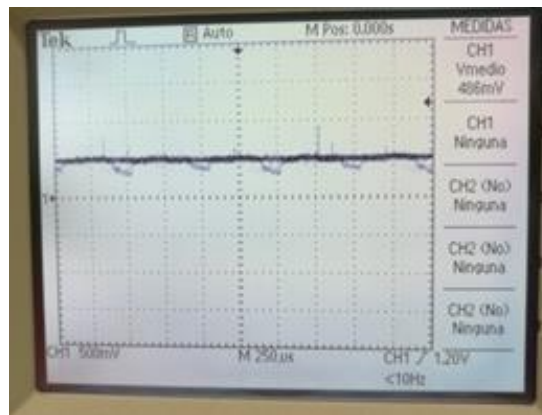


Figura 2. 18: Tensión de salida sin condensador entre la alimentación

En la Figura 2. 19, se puede apreciar la mejora sustancial en la precisión de la medida y la eliminación del ruido, producida por la estabilidad de la tensión que ofrece el sensor gracias al uso de los condensadores.



Figura 2. 19: Tensión de salida con condensador entre la alimentación

Para el correcto procesamiento de los datos entregados, es necesario convertir la salida analógica que proporciona el sensor, en un valor numérico. Para ello se necesita hacer uso de un convertidor analógico-digital (ADC), por lo que para la lectura de la tensión y posterior procesamiento se ha utilizado el periférico ADC que posee la tarjeta Mini-DK2.

Se ha configurado del siguiente modo:

- Desactivación de las resistencias de Pull-Up de cada canal.
- Configuración de los canales 0, 1, 2, 3, y 5 correspondientes con los pines P0.23, P0.24, P0.25, P0.26 y P1.31 respectivamente.
- Divisor de frecuencia configurado a 1.
- Configuración en modo activo (no se hace uso del modo *power saving*³).
- Comienzo de conversión en flanco de bajada del MAT1.0 (Timer 1).
- Asignación de prioridad 0 (máxima prioridad).

En la Figura 2. 16, se puede observar la relación entre la tensión y el inverso de la distancia. Con ayuda de la herramienta Matlab y la función *polyfit* [7], se calculó la ecuación de la recta que describe dicha gráfica, obteniendo el siguiente resultado:

$$y = -45.4991x^2 + 26.8377x + 0.0845$$

El proceso completo para obtener las medidas de cada sensor se detalla a continuación:

1. Se lee el registro de estado analógico/digital (ADSTAT) del ADC, el cual contiene el bit DONE. Este indica qué canal ha realizado la conversión.
2. Se realiza la lectura de la tensión obtenida por el sensor de infrarrojos y se almacena en la variable *voltios*.
3. Se utiliza la ecuación descrita anteriormente para realizar la conversión de voltios a centímetros. Se guarda el valor de la distancia leída en la variable *distancia*.
4. Se escribe un 0 en el byte de selección de canal (SEL) del registro de control analógico/digital (ADCR).
5. Se escribe en el byte SEL del registro ADCR el siguiente canal a realizar la conversión.

Las distancias son utilizadas para controlar el comportamiento del vehículo cuando se encuentra en modo de conducción autónomo.

³ El modo *power saving* es el modo de ahorro de energía que presenta el ADC

2.4.4 Sensor de Luminosidad

La principal función del sensor de luminosidad reside en situaciones de poca luminosidad. Nos aporta la información necesaria para activar o desactivar los LEDs frontales reproduciendo así el comportamiento de un vehículo de producción.

El sensor, alimentado a 5V, está compuesto por:

- Fotorresistencia
- Circuito de acondicionamiento
- LM393 (comparador)

El funcionamiento del mismo se describe de la siguiente forma. En la entrada del comparador se conectan la fotorresistencia y el potenciómetro, consiguiendo que, al variar el valor de potenciómetro, se pueda regular el valor de luminosidad que se activa en la salida.

En la Figura 2. 20 se observa un circuito ejemplo de funcionamiento del mismo:

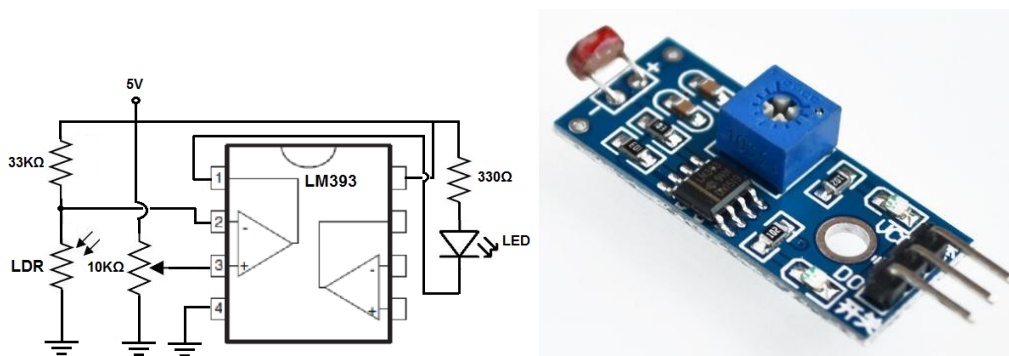


Figura 2. 20: Circuito ejemplo - Sensor de luminosidad

Su esquemático se observa en la Figura 2. 21:

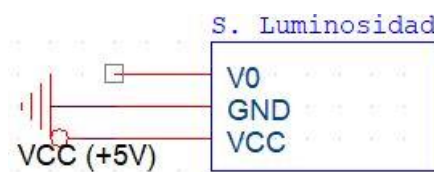


Figura 2. 21: Esquema sensor de luminosidad

Para realizar la programación del sensor de luminosidad, se han utilizados dos pines: uno de entrada y otro de salida.

El pin de entrada (pin P0.28) sirve para leer el estado de la salida del sensor. El valor de este pin dictará el estado de los LEDs, si este está por debajo del umbral seleccionado, las luces del vehículo estarán apagadas.

Una vez que se supera dicho umbral, la salida se sitúa a nivel alto. Este valor es leído por el microcontrolador y sitúa a nivel alto el pin P1.24, el cual se encuentra conectado a los LEDs.

2.4.5 Buzzer

El buzzer se ha utilizado para generar una señal acústica cuando el vehículo se golpee de manera frontal, de esta manera el usuario será notificado del choque aunque el vehículo no se encuentre visible.

El buzzer utilizado es el siguiente, Figura 2. 22:



Figura 2. 22: Buzzer

Dispone de tres pines, dos de ellos correspondientes a la alimentación (+ 5V y masa) y el tercer pin a la entrada del buzzer. Cuando dicha entrada se sitúa a nivel alto, el buzzer emite el sonido pertinente. El esquemático del buzzer se observa en la Figura 2. 23:

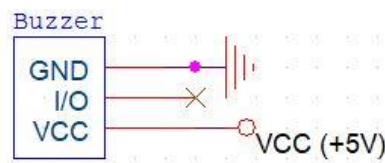


Figura 2. 23: Esquema buzzer

Para realizar la programación de este elemento se ha configurado un pin de la tarjeta de control como salida (pin P0.27). El valor de dicho pin se encuentra asignado a la variable *buzzer*.

Como se ha explicado en el apartado 2.4.6 Bumper, el uso del buzzer se encuentra directamente relacionado con el comportamiento del bumper.

Si la salida del bumper se encuentra a nivel bajo, el buzzer emitirá un pitido durante un periodo de un segundo. Una vez pasado ese tiempo, la variable *buzzer* se situará a nivel bajo y se mantendrá de nuevo a la espera.

2.4.6 Final de carrera con función bumper

El bumper ha sido utilizado para notificar al microcontrolador un choque frontal. El módulo utilizado se observa en la Figura 2. 24 [13]:



Figura 2. 24: Bumper

Dispone de tres pines, dos de ellos correspondientes a la alimentación (+5 V y masa) y el tercer pin a la salida del bumper. La salida se encuentra a nivel alto en reposo y a nivel bajo en caso de que se produzca una pulsación. En la Figura 2. 25 se observa el esquemático del bumper.

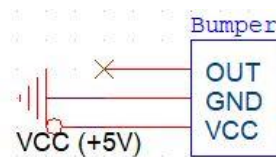


Figura 2. 25: Esquema bumper

Para hacer uso del bumper se ha configurado un pin de la tarjeta como entrada (pin P0.4). El valor de dicho pin está asignado a la variable *bumper*.

Presenta lógica inversa, es decir, en su salida hay un 1 si no está accionado. En el instante en el que se acciona el pulsador que tiene implementado, la salida toma valor cero.

El funcionamiento del bumper y del buzzer se encuentra ligado. En el instante en el que se produce un evento en el primero conlleva una reacción en el segundo.

2.4.7 Sistema de visualización

Para hacer uso de la pantalla se ha recurrido a las librerías GLCD.h y TouchPanel.h [10]. En estas librerías se encuentra la función *GUI_Text* que necesita como argumentos:

1. Pixel del eje X.
2. Pixel del eje Y.
3. Cadena de caracteres que se pretende representar.
4. Color del carácter.
5. Color del fondo.

Haciendo uso de lo anteriormente expuesto se ha creado el siguiente panel informativo (ver Figura 2.45):

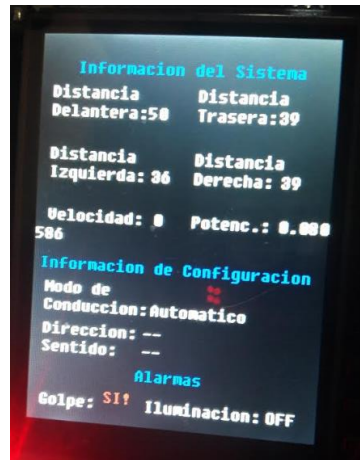


Figura 2. 26: Panel Informativo

Se puede observar como el panel cuenta con tres partes diferenciadas:

Información del Sistema

Presenta información relativa a los diferentes sensores:

- Distancia frontal, lateral y trasera.
- Velocidad medida por los encoders.

Información de Configuración

Presenta información relativa a:

- El modo de conducción seleccionado.
- Dirección de las ruedas delanteras.
- Sentido de giro de las ruedas motrices

Alarmas

Presenta información relativa a las posibles alarmas que puede generar el sistema:

- Aviso de golpe.
- Testigo de información del sistema de luces automático.

2.5 Sistemas de tracción y dirección

En este apartado se realiza el estudio, diseño e implementación de los sistemas de tracción y dirección de los que se compone el vehículo.

2.5.1 Motor de Tracción

El motor de tracción es un motor de corriente continua con escobillas que se encarga de transmitir al eje trasero la energía necesaria para propiciar el movimiento del vehículo.

Las características mecánicas más influyentes en el comportamiento del motor son el par y la velocidad. Cuando el motor se encuentra girando a máxima velocidad, el par presenta su valor mínimo, mientras que si el motor se encuentra parado, el par tiende a su valor máximo. A continuación, se muestra una gráfica representativa de esta relación, Figura 2. 27, siendo M el par y n la velocidad [3].

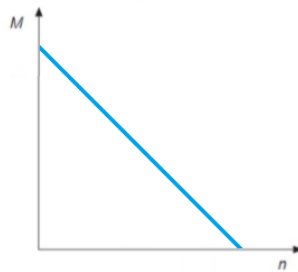


Figura 2. 27: Curva relación par-velocidad

Ambas características dependen de la corriente del motor. Si ésta es elevada, el par también lo será, mientras que si es reducida, la velocidad será elevada. En la Figura 2. 28 se puede observar esta relación:

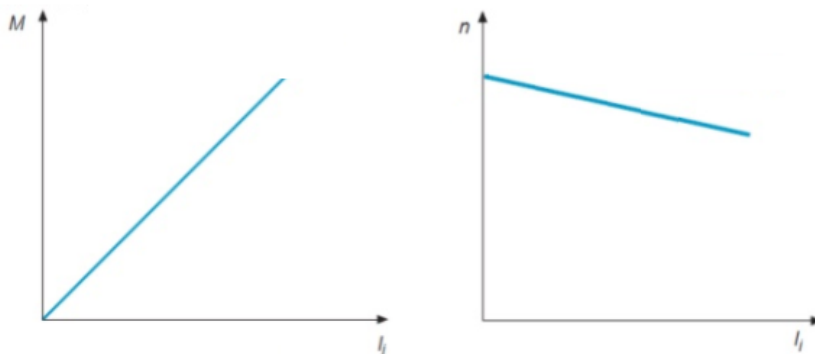


Figura 2. 28: Curvas relación Par-Intensidad y Velocidad-Intensidad

El motor utilizado presenta las siguientes características eléctricas y físicas:

- Corriente Máxima⁴: 2A
- Voltaje Máximo: 11.6V
- Longitud⁵: 50 mm
- Diámetro: 34 mm
- Diámetro del eje: 4 mm
- Longitud total: 54 mm

2.5.2 Motor de Dirección

El motor de dirección se encuentra alojado en la parte delantera del vehículo. Es el encargado de controlar el ángulo de giro de las ruedas delanteras y está constituido por un motor de corriente continua DC.

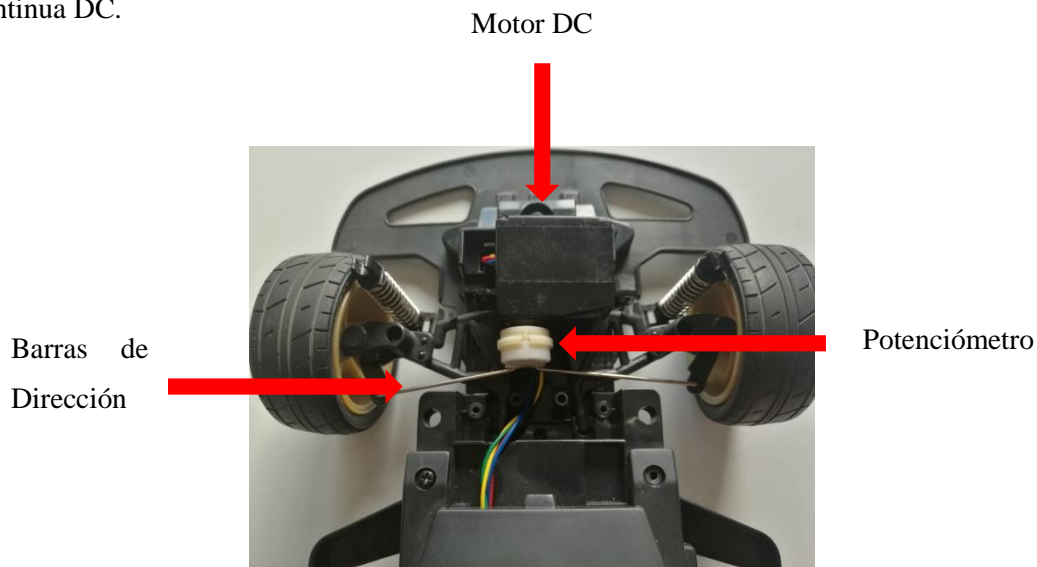


Figura 2. 29: Sistema de dirección

Al eje del motor se incorporan un potenciómetro y las barras de dirección (ver Figura 2. 29). El potenciómetro determina en qué posición se encuentra el motor, y por tanto, indica el ángulo de giro de las ruedas directrices. Para llevar a cabo esta función, basta con conocer el valor de tensión que posee el potenciómetro, ya que dependiendo del punto en el que se encuentre, presentará un valor determinado de resistencia (Ω), lo cual determinará una tensión concreta. Esta tensión oscila entre 1.7V, si la dirección se encuentra girada totalmente a la izquierda, y 3.3V si la dirección está totalmente a la derecha (ver Figura 2. 30).

⁴ La corriente máxima se obtuvo midiendo en el laboratorio la corriente consumida por el motor en una situación de estrés máximo, por lo que el valor real de la corriente máxima será superior al valor aquí indicado.

⁵ Debido a no disponer de los datos facilitados por el fabricante, todas las características físicas han sido conseguidas mediante mediciones del sistema.

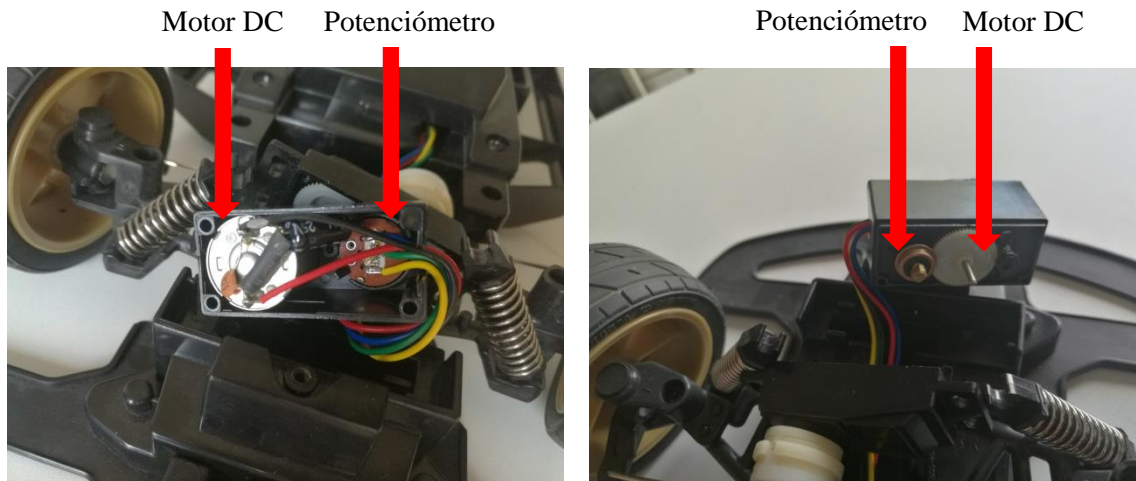


Figura 2. 30: Motor DC y potenciómetro

Las barras de dirección son las encargadas de transmitir el movimiento del motor a las ruedas del vehículo. Debido a esto, hay que prestar especial atención al valor de la corriente que se aplica al motor, ya que si ésta fuera lo suficientemente alta podría dañar gravemente la dirección del vehículo.

El motor utilizado presenta las siguientes características:

- Corriente Máxima: 0.4A
- Voltaje Máximo: 11.6V
- Longitud: 22 mm
- Diámetro: 18 mm
- Diámetro del eje: 1.5 mm
- Longitud total: 33 mm

2.5.3 Driver de control

La energía entregada a ambos motores debe estar regulada y debido a esto se necesita la utilización de un módulo que lo permita. Se ha optado por utilizar un driver de control, el cual está formado por un puente en H que permite el control de la corriente entregada a ambos motores.

El módulo seleccionado para realizar esta función ha sido el VNH2SP30, el cual es un puente en H completo especialmente diseñado para el control de motores en el ámbito de los coches de radiocontrol.

Para la elección de este módulo se tuvieron en cuenta varios factores:

- Posibilidad de proporcionar valores de corriente en torno a los 2 A.

- Posibilidad de controlar dos motores DC de manera independiente.
- Facilidad de implementación.
- Relación calidad/precio.

Este módulo cumple satisfactoriamente todos los requisitos anteriormente mencionados, por lo que se usó la tarjeta Monster Moto Shield, Figura 2. 31Figura 2. 31, que implementa dos circuitos integrados VN12SP30, junto a toda la electrónica de acondicionamiento necesaria para el adecuado funcionamiento del sistema.



Figura 2. 31: Monster Moto Shield

Las especificaciones eléctricas de la tarjeta son las siguientes [4]:

- Tensión de alimentación comprendida entre 5.5V y 16V.
- Corriente máxima de salida: 14A.
- Frecuencia máxima PWM: 20KHz

La definición de los pines de entrada utilizados junto a su función es (ver Tabla 2. 3):

Pin	Símbolo	Función
D4	INA2	Modo de operación sentido horario motor 2
D5	PWM1	Entrada PWM motor 1
D6	PWM2	Entrada PWM motor 2
D7	INA1	Modo de operación sentido horario motor 1
D8	INB1	Modo de operación sentido antihorario motor 1
D9	INB2	Modo de operación sentido antihorario motor 2
0	EN1	Habilitación puente 1
1	EN2	Habilitación puente 2

Tabla 2. 3: Definición pines de entrada utilizados

La definición de los pines de salida utilizadas junto a su función es (ver Tabla 2. 4):

Pin	Símbolo	Función
2	CS1	Sensado de corriente de salida del motor 1
3	CS2	Sensado de corriente de salida del motor 2
A1	OUT _{A1}	Salida del driver del motor 1
B1	OUT _{B1}	
A2	OUT _{A2}	Salida del driver del motor 2
B2	OUT _{B2}	

Tabla 2. 4: Definición pines de salida utilizados

El esquemático del buzzer se observa en la Figura 2. 32:

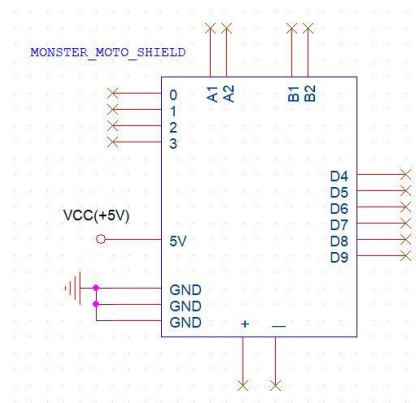


Figura 2. 32: Esquemático Monster Moto Shield

El valor de la corriente entregada a los motores se configura mediante el ciclo de trabajo de una señal PWM asignada a los pines PWM1 y PWM2.

Las entradas EN1 y EN2 (Tabla 2. 3) se encuentran conectadas a +5V para habilitar el uso de los dos motores.

El modo de operación se realiza en base al valor que se asigne a las entradas INA e INB. En la Tabla 2. 5 se pueden observar las diferentes configuraciones:

IN _A	IN _B	DIAG _A /EN _A	DIAG _B /EN _B	OUT _A	OUT _B	CS	Operating mode
1	1	1	1	H	H	High Imp.	Brake to V _{CC}
	L				I _{SENSE} = I _{OUT} /K	Clockwise (CW)	
0	1			L		H	Counterclockwise (CCW)
	0			L	L	High Imp.	Brake to GND

Tabla 2. 5: Tabla de verdad en condiciones de operación normal

De la Tabla 2. 5 se puede comprobar que dependiendo de los valores que toman las entradas IN_A e IN_B y las entradas OUT_A y OUT_B se puede seleccionar el modo de funcionamiento.

La salida del driver se encuentra en los pines A1 y B1, A2 y B2. A estos se conectan el motor de tracción y dirección respectivamente.

Los pines CS1 y CS2 permiten monitorizar el valor de la corriente que se suministra al motor. Esta característica resultó muy útil para poder medir el valor de la corriente máxima.

2.5.3.1 Diseño electrónico y programación

Para realizar la programación del driver se ha hecho uso de:

- Los canales dos y tres del periférico PWM.
- Los pines P0.0, P0.1, P0.10 y P0.11 configurados como salidas del microcontrolador.

La configuración de cada canal de PWM es idéntica, a excepción del ciclo de trabajo, y se ha realizado del siguiente modo:

- Registro MCR: se configura para permitir que se produzca una interrupción en el instante en el que el valor del registro coincida con el valor del contador del temporizador (TC). Posteriormente se reinicia el valor del registro TC.
- Periodo de la interrupción: El valor del periodo se configura sobre el registro MR0, en el cual se ha configurado un periodo de 100 μs. Se seleccionó éste para poder hacer viable tanto el control del motor de tracción como el de dirección.

A continuación, se va a proceder a explicar cómo se ha configurado el ciclo de trabajo de cada señal PWM dependiendo del canal y la forma de aplicarla según el motor al que se encuentre conectada.

Canal 1: Motor de Tracción

La señal PWM utilizada para este motor es la PWM1.2 implementada en el pin P3.25. El ciclo de trabajo se fija mediante el valor del registro MR2. El valor máximo que puede alcanzar en el modo de conducción autónomo es del 30% para evitar que la velocidad incremente de manera excesiva y se produzca un choque.

La asignación del ciclo de trabajo se realiza en la función *set_current*. Tiene como argumento la variable *velocidad_trac*, que es la velocidad que se configura ya sea automáticamente en el modo de conducción autónoma o mediante asignación directa de un valor en el modo manual. El rango de valores posibles de la variable *velocidad_trac* oscila entre 0 y 100. Esta variable se asigna al registro MR2 multiplicada por una constante para acondicionar el valor.

Después de realizar la asignación del valor a MR2, se escribe en el registro LER para permitir que el último valor escrito en el registro MR2 sea efectivo cuando el temporizador es restablecido por un evento de PWM.

Canal 2: Motor de Dirección

La señal PWM utilizada para este motor es la PWM1.3 en el pin P3.26. El ciclo de trabajo se fija mediante el valor del registro MR3. El valor máximo que éste puede alcanzar en el modo de conducción autónomo es del 4%.

La asignación del ciclo de trabajo se realiza en la función *set_direction*. Tiene como argumento la variable *velocidad_dir*, que es la velocidad que se configura ya sea automáticamente en función de la distancia de los sensores frontales-laterales en el modo de conducción autónoma o mediante asignación directa de un valor en el modo manual.

El rango de valores posibles de la variable *velocidad_dir* oscila entre 0 y 100. Esta variable se asigna al registro MR3 multiplicada por una constante para acondicionar el valor.

Después de realizar la asignación del valor a MR3, se escribe en el registro LER para permitir que el último valor escrito en el registro MR3 sea efectivo cuando el temporizador es restablecido por un evento de PWM.

2.5.4 Control PID

El controlador PID se utiliza para controlar los motores utilizados en el vehículo. Para realizar la asignación del ciclo de trabajo y, por tanto, del nivel de corriente introducido a los motores, se ha hecho uso de un controlador PID que regule en todo momento la energía entregada al motor (ver Figura 2. 33).

A continuación se va a proceder a explicar el funcionamiento de un PID:

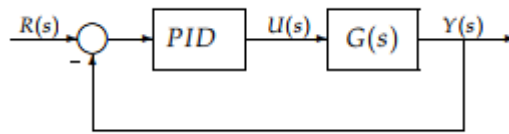


Figura 2. 33: Diagrama de bloques

El controlador PID incluye tres acciones:

- P: control proporcional. Contribuye a la salida con una excitación proporcional al error. Presenta error en régimen permanente.
- I: control integral. Contribuye a la salida con una excitación proporcional al error acumulado. Permite que si se dan referencias o perturbaciones constantes, el error en régimen permanente sea cero. Así mismo, es conveniente limitar el error acumulado en la implementación del control para tener controlado el valor de la excitación.
- D: control derivativo. La ventaja que presenta es el aumento de la velocidad de la acción de control. Por otro lado, tiene la desventaja de amplificar las señales de ruido y de poder provocar saturación en el actuador.

El método de ajuste utilizado para poder conocer el valor de cada constante que hace posible el control ha sido experimental, es decir, se impuso un valor a cada constante y se fue comprobando de manera experimental la respuesta del sistema. El control óptimo se consiguió ajustando paulatinamente cada constante.

Como se puede observar en la ecuación en diferencias de un PID, las constantes K_i y K_d dependen del tiempo, por lo que la función PID tiene que ejecutarse en una interrupción periódica del microcontrolador.

2.5.4.1 Algoritmo de control del motor de tracción

El algoritmo de control se realiza mediante el uso de la función *func_traction* que a su vez llama a las funciones *func_PID_trac* y *set_current*.

La función *func_PID_trac* se utiliza para realizar el control del motor de corriente continua haciendo uso de un controlador PID, el cual permite constantemente tener la velocidad controlada en función de la distancia medida por el sensor delantero o trasero. Se hace uso de la siguiente ecuación:

$$velocidad = error * K_p + error_{acumulado} * K_i + entrada_{anterior} * K_d$$

Una vez que se tiene calculada la velocidad, se tienen en cuenta las siguientes condiciones en función de la distancia delantera y trasera del vehículo hasta el obstáculo más próximo:

- Si la distancia delantera es mayor de 60 cm, el vehículo avanzará hacia delante a la velocidad máxima permitida.
- Si la distancia delantera es menor de 60 cm, el vehículo empezará a disminuir su velocidad paulatinamente, hasta llegar a los 30 cm.
- Si la distancia delantera es menor de 30 cm, el vehículo comprobará el sensor de infrarrojos trasero:
 - Si no hay ningún obstáculo presente, el vehículo retrocederá hasta que la distancia delantera sea mayor de 60 cm, momento en el que el vehículo avanzará de nuevo.
 - Si hay algún obstáculo a menos de 60 cm tanto en la parte posterior como anterior, el vehículo se detendrá totalmente.

La función *set_current* usará el valor de la velocidad que se ha calculado para poder crear la PWM.

2.5.4.2 Algoritmo de control del motor de dirección

El algoritmo de control se realiza mediante el uso de la función *func_direction* que a su vez llama a las funciones *func_PID_dir* y *set_direction*.

La función *func_PID_dir* se utiliza para realizar el control del motor de continua haciendo uso de un PID, el cual permite en todo momento tener la dirección de las ruedas controlada en función de la distancia medida por los sensores laterales y del valor leído del potenciómetro.

La función tiene en cuenta la tensión del potenciómetro que indica dónde se encuentra la dirección en ese instante, junto con la dirección objetivo a la que se desea ir. Según esta relación, el control inyectará más corriente al motor o menos, dependiendo de si ha alcanzado el punto deseado o si por el contrario se encuentra en el lado opuesto.

Las tensiones del potenciómetro se escalan a valores dentro del rango ± 100 para facilitar la operación con los mismos.

El valor de la dirección objetivo a la que se desea ir se calcula en las funciones *func_derecha* y *func_izquierda* ejecutando el siguiente algoritmo:

- Se toman 50 centímetros como valor límite superior, es decir, si la distancia a un obstáculo es superior a este límite en ambos sensores, el motor se situará en el centro y el vehículo circulará en línea recta.
- Si la distancia a un obstáculo es inferior a 50 centímetros, se activan las variables izquierda o derecha indicando que existe un obstáculo en uno de los laterales. En este estado, por cada cinco centímetros que disminuya la distancia del vehículo con respecto al obstáculo, aumentará el ángulo de giro en un 25%. Esto quiere decir que en el momento en el que la distancia a un obstáculo sea igual o inferior a 30 centímetros, el ángulo de giro de la dirección se situará en el 100%.
- Si se detecta un obstáculo en los dos laterales, la dirección del vehículo se situará en el centro.

Una vez que se calcula el valor de la velocidad, la función *set_direction* es la encargada de crear la PWM relativa al valor calculado.

Antes de generar la PWM, se realiza una comprobación de seguridad para asegurar la integridad de la mecánica que acompaña al motor. Así, se mide el valor de la tensión del potenciómetro junto con las variables que indican la dirección de giro del vehículo. Si la tensión es superior a 3.2 V y se pretende girar a la derecha o por el contrario es menor que 1.8 V y se pretende girar a la izquierda, se configura un ciclo de trabajo igual a cero para evitar cualquier movimiento y evitar daños en el sistema de la dirección.

2.6 Conectividad

2.6.1 Módulo WiFi

El módulo WiFi ha sido utilizado como puente de comunicación entre el microcontrolador y el Smartphone donde se encuentre instalada la app.

Para ello se ha utilizado el módulo WiFi ESP8266, el cual presenta muchas características, de las cuales nos interesan:

- 802.11 b/g/n
- WiFi 2.4 GHz, soporta WPA/WPA2
- Modo WiFi: Soporta los modos de operación STA/AP/STA+AP (estación/punto de acceso/estación + punto de acceso).
- Bus: UART
- Protocolos de red IPv4: TCP/UDP/HTTP/FTP

El encapsulado elegido para ello ha sido el ESP8266 01 (ver Figura 2. 34):

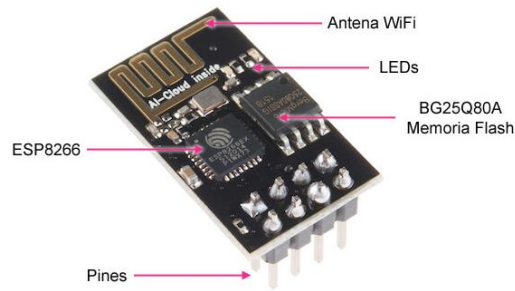


Figura 2. 34: Módulo ESP8266 01

Presenta la siguiente configuración de pines (ver Figura 2. 35):

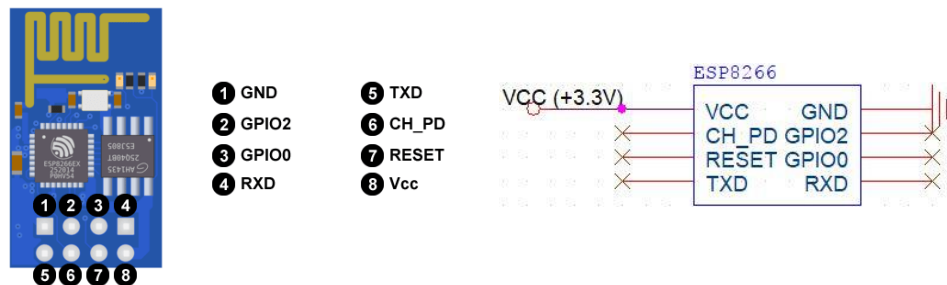


Figura 2. 35: Pinout módulo ESP8266 01

La configuración de los mismos debe ser:

- Vcc: Conectado a 3.3V.
- GND: Conectado a masa.
- CH_PD: Este pin es el *Chip Enable*, tiene que conectarse a 3.3V.
- TXD: Conectado a la entrada RX perteneciente a la UART del microcontrolador.
- RXD: Conectado a la entrada TX perteneciente a la UART del microcontrolador.
- RESET: Conectado a masa. Si se quisiera hacer uso de esta entrada, se debería conectar a un pin del microcontrolador y ponerlo a 1 cuando se quisiera hacer un reinicio del módulo.

El módulo contiene por defecto un firmware, el cual permite que toda la configuración se realice por comandos AT, incluyendo cabecera HTTP en cada envío [12]. Para poder realizar el envío de manera transparente, es decir, que el receptor sólo reciba la cadena de caracteres que el usuario ha enviado, se actualizó el módulo a una versión que lo hace posible.

Para que el módulo funcione de la manera deseada, hay que configurarlo en modo STA (modo estación) y conectarse a una red WiFi (la misma a la que se conectará el Smartphone o

dispositivo móvil). De esta manera, se crea una conexión entre el vehículo (mediante el módulo WiFi) y el Smartphone o dispositivo móvil.

2.6.2 APP

El vehículo puede controlarse de manera remota mediante el uso de una aplicación Android. Esta aplicación simula el control del vehículo como si se tratase de un mando de radiocontrol unido a la posibilidad de seleccionar el modo de conducción del vehículo (autónomo o telecontrolado).

Se han desarrollado dos versiones de la aplicación. La primera de ellas se diseñó mediante la herramienta web App Inventor. Para el desarrollo de la segunda aplicación se utilizó como base de la misma el código de una aplicación desarrollada en Java aplicando algunas modificaciones para lograr la finalidad deseada.

Versión 1:App Inventor

Esta herramienta tiene dos partes diferenciadas, la primera de ellas se utiliza para el desarrollo de la interfaz de usuario, mientras que la segunda sirve para desarrollar el comportamiento de la aplicación.

El desarrollo de la interfaz se realiza de manera gráfica, desplazando los elementos (botones, cajas de texto, checkbox...) que se deseen a la pantalla que aparece en el menú principal (ver Figura 2. 36):

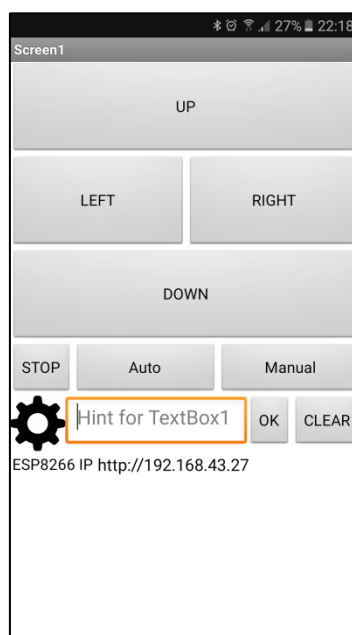


Figura 2. 36: APP

Una vez que se han organizado todos los elementos se procede a realizar la programación de los mismos. Cada elemento utilizado puede realizar diferentes acciones (pulsar, mantener pulsado, cesar pulsación, entre otras). Las funcionalidades se representan mediante bloques de diferente color: amarillo representa control, verde para elementos web, morado para procedimientos y granate para texto.

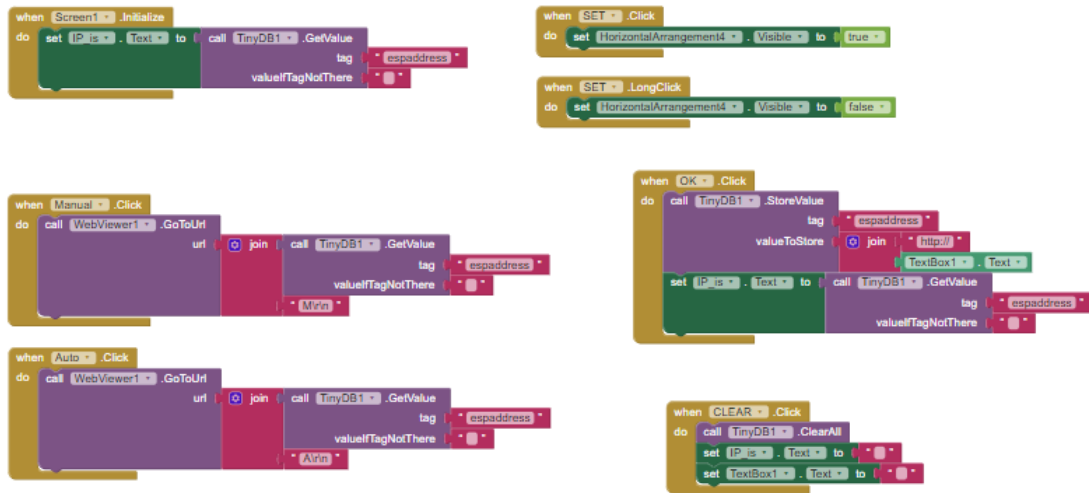


Figura 2. 37: Bloques de programación

La Figura 2. 37 representa una parte de la programación que se ha realizado para diseñar el control del vehículo. Presenta las siguientes funcionalidades:

- Posibilidad de configurar la dirección IP donde se realizará la petición Web. Una vez configurada, no será necesario volver a introducirla de nuevo salvo que se necesita cambiar de dirección IP, ya que posee almacenamiento para esa variable.
- Posibilidad de seleccionar el modo de conducción deseado: autónomo o manual.
- Presenta cinco botones: avance, retroceso, girar a la izquierda, girar a la derecha y parada.

Para configurar la dirección IP se han empleado los siguientes bloques (ver Figura 2. 38):

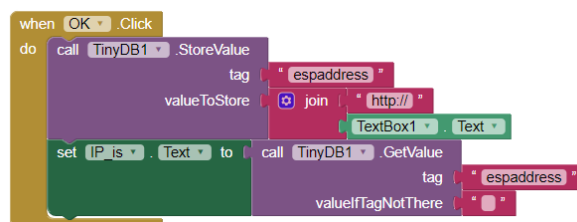


Figura 2. 38: Bloques configuración IP

En el instante que se pulsa el botón OK, se realiza una llamada al elemento de almacenamiento el cual guarda en la etiqueta *espaddress* el valor de la dirección IP (lo que permite que la usen otros bloques). Este valor es usado por la etiqueta *IP_is* y se muestra por pantalla.

El funcionamiento de los comandos enviados al módulo ESP8266 es idéntico en cada botón utilizado. Para configurar su función se han empleado los siguientes bloques (ver Figura 2. 39):

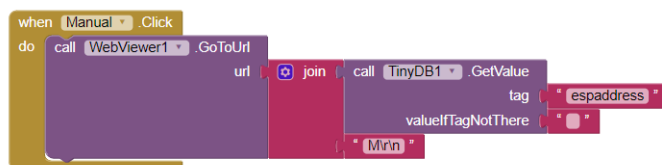


Figura 2. 39: Bloques configuración módulo ESP8266

Estos bloques pertenecen al botón Manual, por lo que cuando éste se pulse se realizará una llamada al elemento *WebView*, el cual realiza una petición Web a la IP configurada [y con la cadena de caracteres *M\r\n*. Esta cadena es interpretada por la tarjeta de desarrollo y configura el modo de funcionamiento del vehículo en modo manual. Por tanto la petición es:

http://espaddress/M\r\n

Este mensaje se forma con cabecera HTTP y es entregado al módulo ESP8266, el cual lo envía por el periférico UART a la tarjeta de desarrollo. Por lo que se debería realizar un análisis en la tarjeta que dividiera el mensaje recibido y solo se interpretase el comando enviado por la aplicación Android.

Para implementar el control de seguridad del que dispone el vehículo, se debería realizar el envío periódico e indefinido de un comando. Esta funcionalidad no se encuentra disponible en la herramienta web App Inventor, por lo que no se ha implementado.

Para poder utilizar la aplicación desarrollada se necesitaría un módulo ESP8266 sin ninguna modificación en el firmware para poder conectarse a él de forma directa (modo servidor). Por este motivo no se ha podido implementar esta solución.

Versión 2: Aplicación Java

Para el desarrollo en Java se ha utilizado como base una aplicación que realizaba las siguientes funciones [15]:

- Apertura de un socket utilizando las librerías Socket. Para ello hay que indicar la dirección IP *IP* y el puerto *port*.
- Una vez abierto el socket, enviaba una cadena de caracteres al pulsar un botón, mediante la función `SendMessage`.

Se ha utilizado este ejemplo para poder cubrir la funcionalidad de la aplicación. Para ello se han añadido otros seis botones que envían por comando las diferentes cadenas de caracteres que se han configurado en el proyecto para realizar el control remoto del vehículo.

Los botones que se han creado son (ver Figura 2. 40):

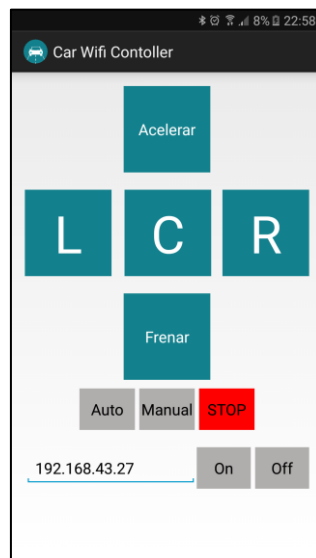


Figura 2. 40: APP Java

Cada botón añadido se ha añadido de manera gráfica, situándolo en el punto deseado de la pantalla. Esta selección se ha realizado mediante el uso de un *Switch Case*.

Presenta un cuadro de texto para poder cambiar la dirección IP del dispositivo. El puerto es siempre constante ya que siempre usa el 23.

Se ha diseñado un bucle *while* que permite implementar la siguiente condición de seguridad: Si el módulo no recibe la cadena de texto `T\r\n` en un periodo de tiempo inferior a un segundo, se habilita en el programa principal de la tarjeta de desarrollo la variable *stop* que hace que se detenga por completo el vehículo y de esta manera evitar los posibles daños causados por una colisión.

Para poder utilizar la aplicación hay que conectar tanto el smartphone Android como el módulo ESP8266 (actualizado) a un punto de acceso común.

Debido a todo lo anteriormente expuesto, se ha seleccionado esta aplicación para realizar el telecontrol del vehículo, debido a las ventajas que presenta tanto en su funcionalidad como en su implementación.

2.7 Sistema de alimentación

2.7.1 Convertidor DC-DC

Se han utilizado dos convertidores DC-DC para acondicionar el nivel de tensión al necesario en los siguientes casos [11]:

- Disminuir la tensión de alimentación de la batería de 9.7 V a 5 V la cual se encuentra conectada a la mini-dk2.
- Disminuir la tensión proporcionada por las dos baterías que se encuentran en serie de 7.4 V (3.7 V + 3.7 V) a 5 V y de esta manera poder alimentar los diferentes tipos de sensores y el driver.

Los convertidores usados son los siguientes (ver Figura 2. 41 y Figura 2. 42):

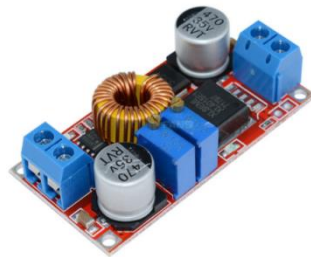


Figura 2. 41: Convertidor step down

Se trata de un convertidor step Down. La tensión de salida oscila entre el 0.8 V y 30 V.



Figura 2. 42: Convertidor step up-down

Se trata de un convertidor step Up-Down. La tensión de salida oscila entre el 1.25 V y 30 V.

La regulación de la tensión se realiza mediante el uso de un potenciómetro en cada uno de los casos.

2.7.2 Regulador Lineal

El regulador lineal se ha utilizado para disminuir y mantener constante la tensión de alimentación del módulo WiFi ESP8266. Es muy importante que se mantenga en unos en unos 3.3V, ya que el módulo es muy frágil y con tensiones sensiblemente superiores se podría dañar fácilmente.

La corriente de salida necesaria tiene que ser en torno a los 250 mA, ya que el módulo ESP8266 puede producir picos de corriente (ver Figura 2. 43):



Figura 2. 43: Consumo de corriente módulo ESP8266

Debido a estos requisitos, se necesitaba un regulador que entregase al menos 250 mA y que tuviera bajo drop out, por lo que finalmente se eligió el módulo KF33 (ver Tabla 2. 6) . Presenta una tensión de drop out de 0.4 V y una corriente límite de salida de 1A.

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$I_O = 50 \text{ mA}, V_I = 5.3 \text{ V}$	3.234	3.3	3.366	V
		$I_O = 50 \text{ mA}, V_I = 5.3 \text{ V}, T_a = -25 \text{ to } 85^\circ\text{C}$	3.168		3.432	
V_I	Operating input voltage	$I_O = 500 \text{ mA}$			20	V
I_O	Output current limit			1		A

Tabla 2. 6: Características Eléctricas del regulador lineal KF33 [9]

Se ha utilizado el encapsulado DPAK el cual presenta la siguiente configuración de pines (ver Figura 2. 44) :

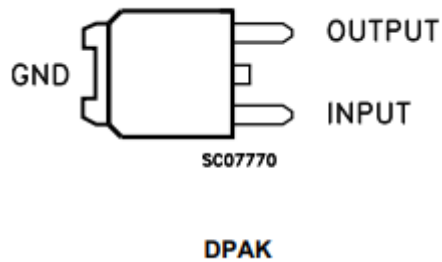


Figura 2. 44: Configuración de pines KF33 [9]

Se ha acondicionado del modo que recomienda el fabricante (ver Figura 2. 45):

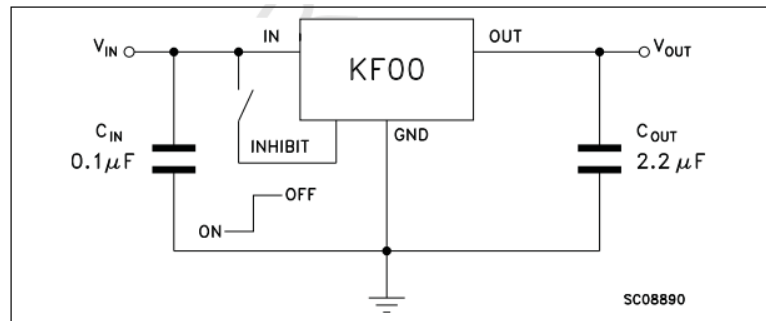


Figura 2. 45: Circuito recomendado por el fabricante [9]

De esta manera evitamos que la tensión oscile debido a los picos de corriente que se producen.

2.8 Sistema Completo

El comportamiento del sistema completo presenta la siguiente secuencia:

- En la inicialización del programa, se configuran los diferentes periféricos y/o entradas utilizadas.
- Si el sistema se encuentra en modo automático:
 - Comprueba los valores del potenciómetro de la dirección como medida de seguridad.
 - Calcula la velocidad del motor de tracción en base al controlador PID implementado y aplica la corriente al motor.
 - Evalúa el sentido de giro necesario.
 - Calcula la velocidad del motor de dirección en base al controlador PID implementado y aplica la corriente al motor.

- Si el sistema se encuentra en modo manual:
 - El comportamiento del vehículo está determinado por la acción del usuario.
- En el transcurso de este proceso, se obtienen las medidas leídas por los sensores de infrarrojos, la velocidad del vehículo y la información que recogen los sensores. Así mismo se actualiza la información remitida en el display.

2.9 Conclusiones y líneas futuras

La finalidad de este apartado es la reflexión sobre el sistema completo que se ha desarrollado con este proyecto. Se analiza el punto de partida y el punto de meta, es decir, si con este trabajo se han conseguido los objetivos propuestos en un principio.

Además, se ofrecen algunas ideas o posibles mejoras que se podrían realizar en el futuro con el fin de mejorar aquellos aspectos que permitan esta posibilidad otorgando facilidad a la implementación y diseño del sistema en general.

2.9.1 Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto era la creación de un sistema inteligente que, basado en una plataforma robótica, fuese capaz de circular por el entorno, detectando obstáculos y modificando así su trayectoria. Además, este sistema tendría dos modos de control: automático y telecontrol.

Se considera que este aspecto se ha logrado ya que el vehículo es capaz de recibir información del entorno mediante los sensores utilizados y modifica su trayectoria para poder esquivar los obstáculos pertinentes. Esto sucede cuando el vehículo se encuentra en modo automático.

En el modo de telecontrol también se considera logrado el objetivo ya que se ha creado, partiendo de cero, una aplicación para un Smartphone con sistema operativo Android que, una vez instalada y comunicada con el módulo WiFi del vehículo, permite al usuario su control asemejándose a un mando de radiocontrol.

Además, la realización de este proyecto ha partido de la investigación sobre ámbitos de electrónica o control, ofreciendo multitud de conocimientos que se han aplicado en el proyecto y se constituyen como ventajas en el aprendizaje del alumno. Estos conocimientos han sido teóricos y empíricos, lo que supone un mayor aprendizaje.

Por último, se han observado las dificultades que conlleva la creación de un robot con un sistema inteligente y se han buscado soluciones a cada una de estas dificultades con el objetivo final de conseguir que el proyecto cumpliera las expectativas planteadas.

2.9.2 Líneas futuras

En este apartado se expondrán una serie de ideas que se constituyen como posibles mejoras aplicables al proyecto y que se han deducido con la realización de este proyecto aunque no han llegado a ser implementadas por diversos motivos.

2.9.2.1 Vehículo impreso en 3D

Con el progreso en la realización del proyecto surgieron inconvenientes para albergar las diferentes partes que constituyen el proyecto en el vehículo. Así, una de las propuestas de mejora futuras, se basaría en la impresión de la carrocería completa del vehículo. Si se imprimiese éste, incluyendo partes como chasis, ejes e incluso ruedas, se podrían introducir de manera sencilla todos los componentes del proyecto. Además, su impresión otorgaría otras posibilidades como la modificación del proyecto o la selección de otros componentes más comunes actualmente.

2.9.2.2 Motor Brushless

Otra de las propuestas se basa en la utilización de motores de tipo brushless. Éstos permitirían una mejora en el rendimiento del vehículo ya que prescinden del uso de escobillas en su funcionamiento. Por tanto, se produce una disminución de la fricción y con ello, un posible aumento de la velocidad y la autonomía del vehículo.

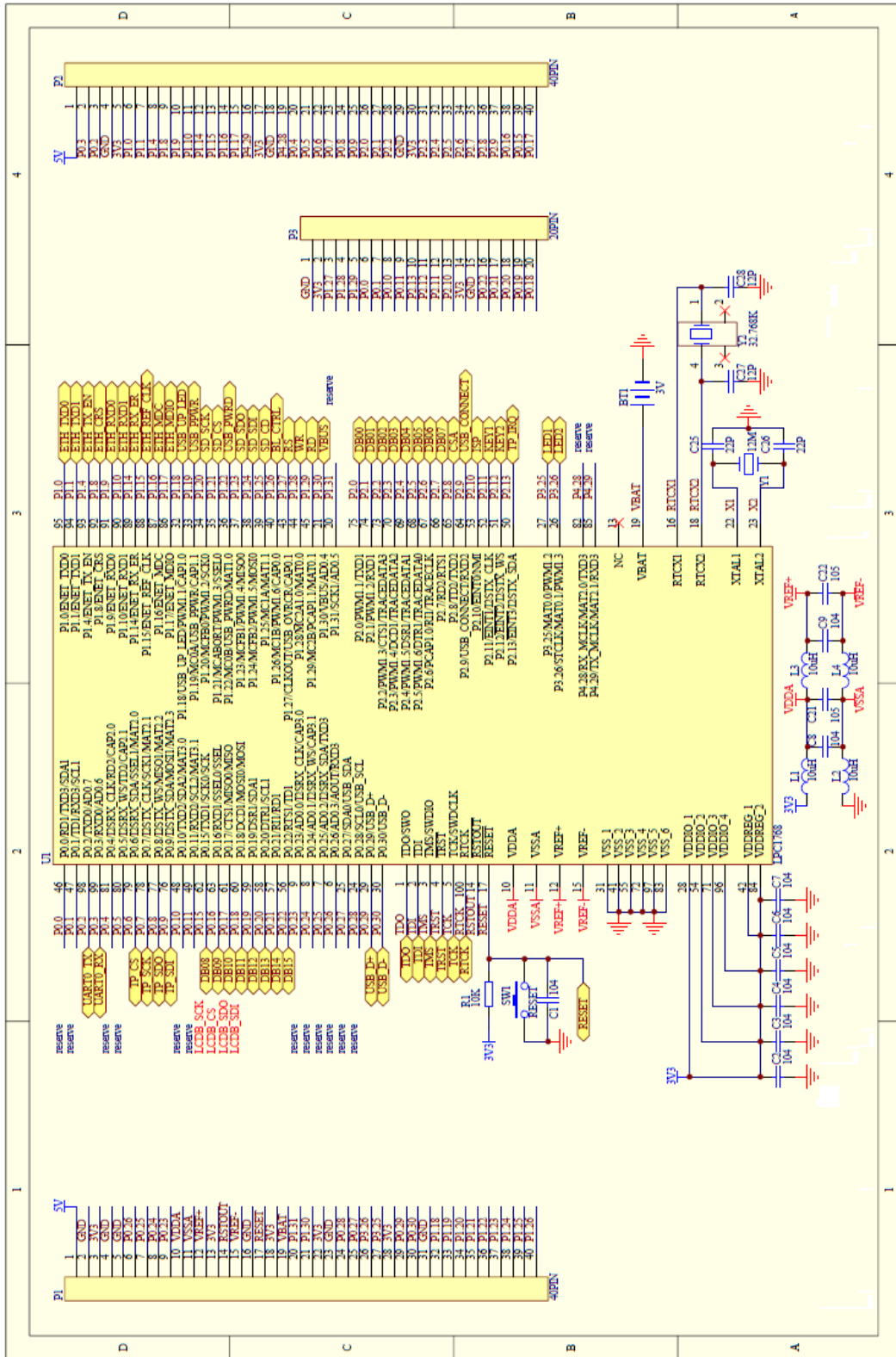
2.9.2.3 Encoder Magnético

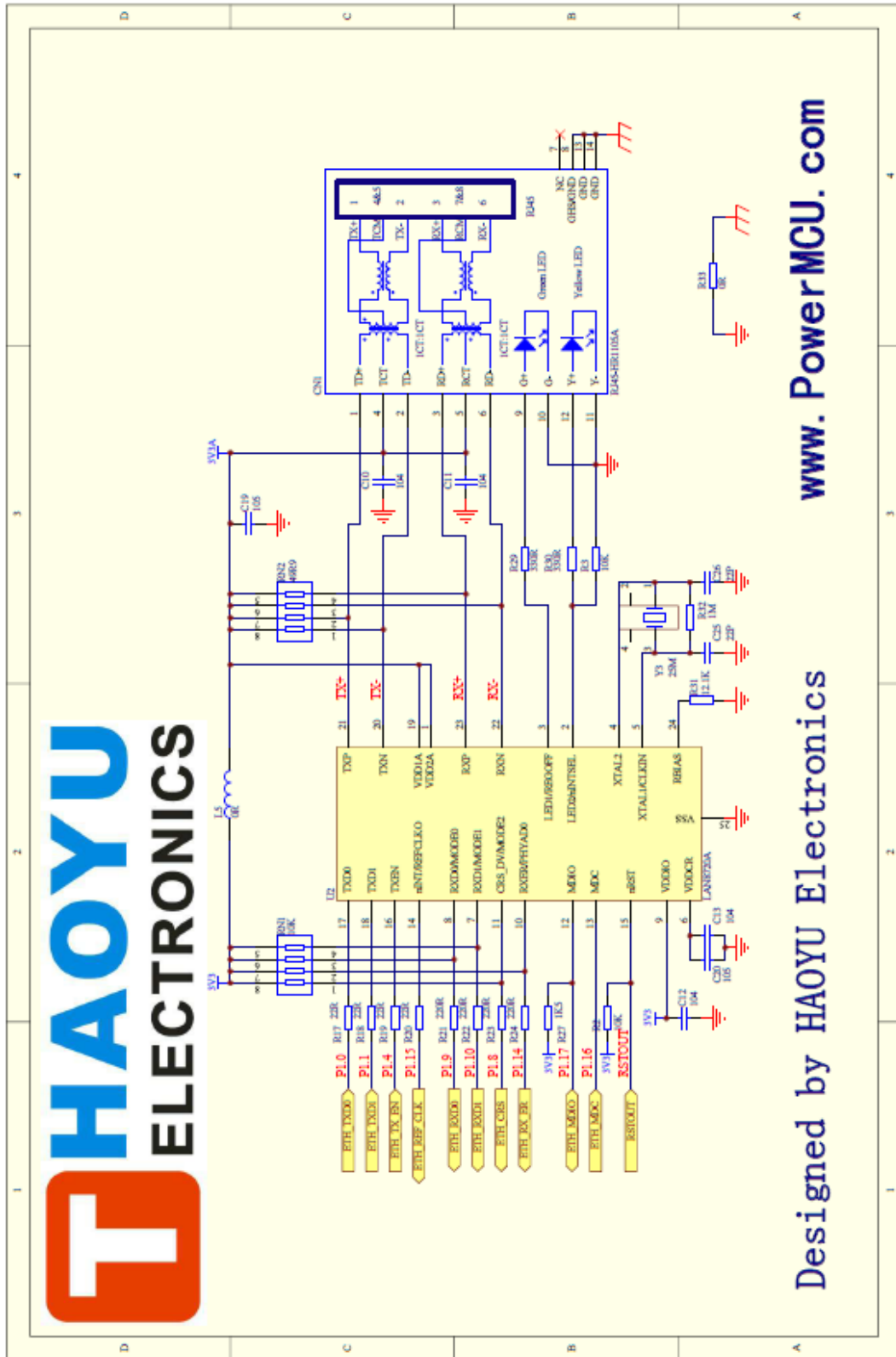
Un encoder magnético permite aumentar la resolución y la precisión debido al aumento de pulsos por revolución. Por ello, se propone el uso de este tipo de encoders que hubiesen permitido medir la velocidad correctamente careciendo de los errores que han surgido, en ocasiones, en este proyecto con el uso del encoder óptico.

2.9.2.4 Tarjeta SD

Aunque se consiguió escribir en la tarjeta SD la velocidad medida por el encoder, debido a la problemática explicada anteriormente en este documento, no se pudo realizar el control del motor de tracción en base a un PID basado en la velocidad del mismo. De esta manera, se propone como mejora futura, la utilización de la herramienta Matlab que otorgaría la ayuda necesaria para identificar la planta del motor.

3 PLANOS Y DIAGRAMAS

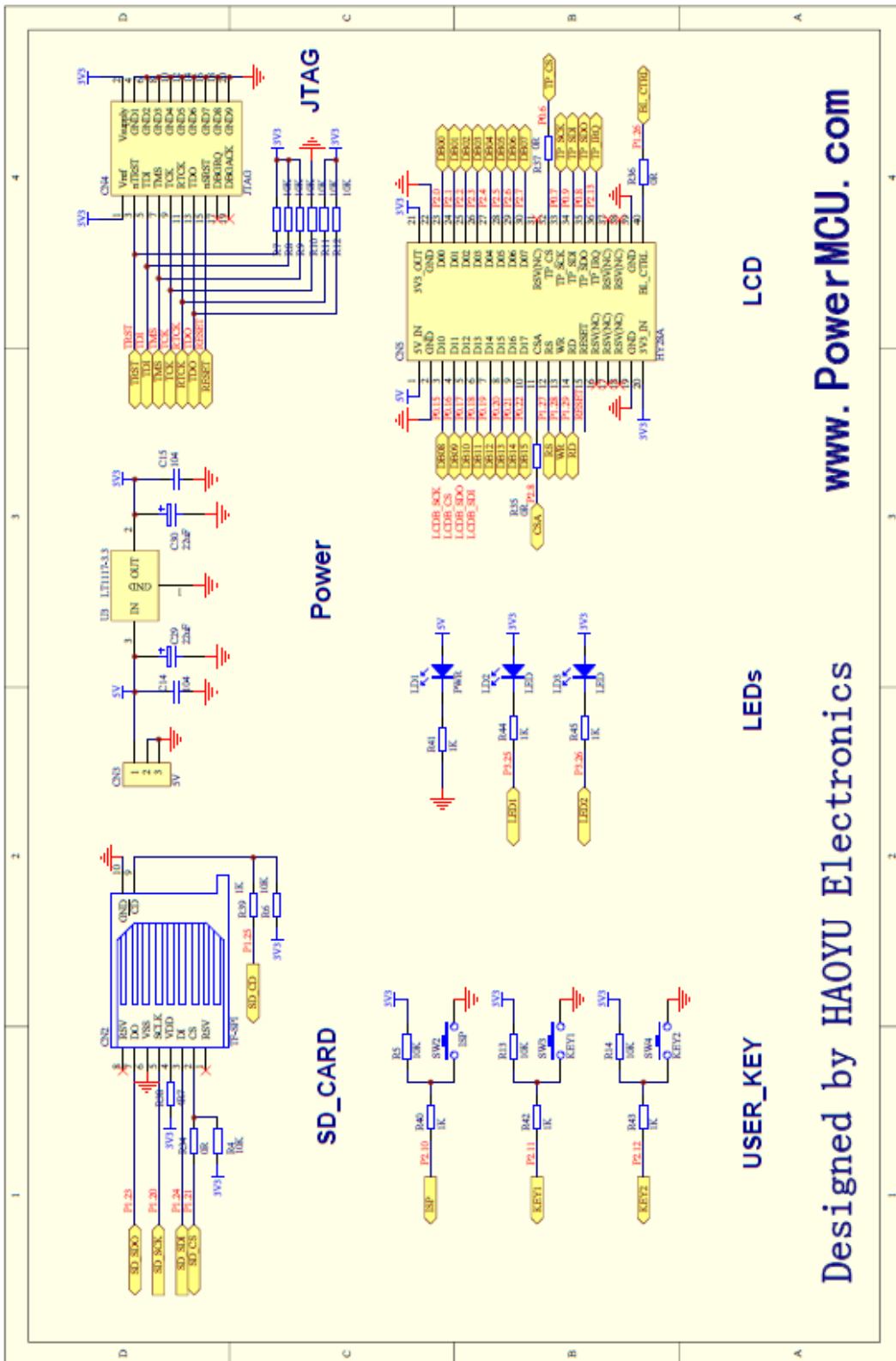


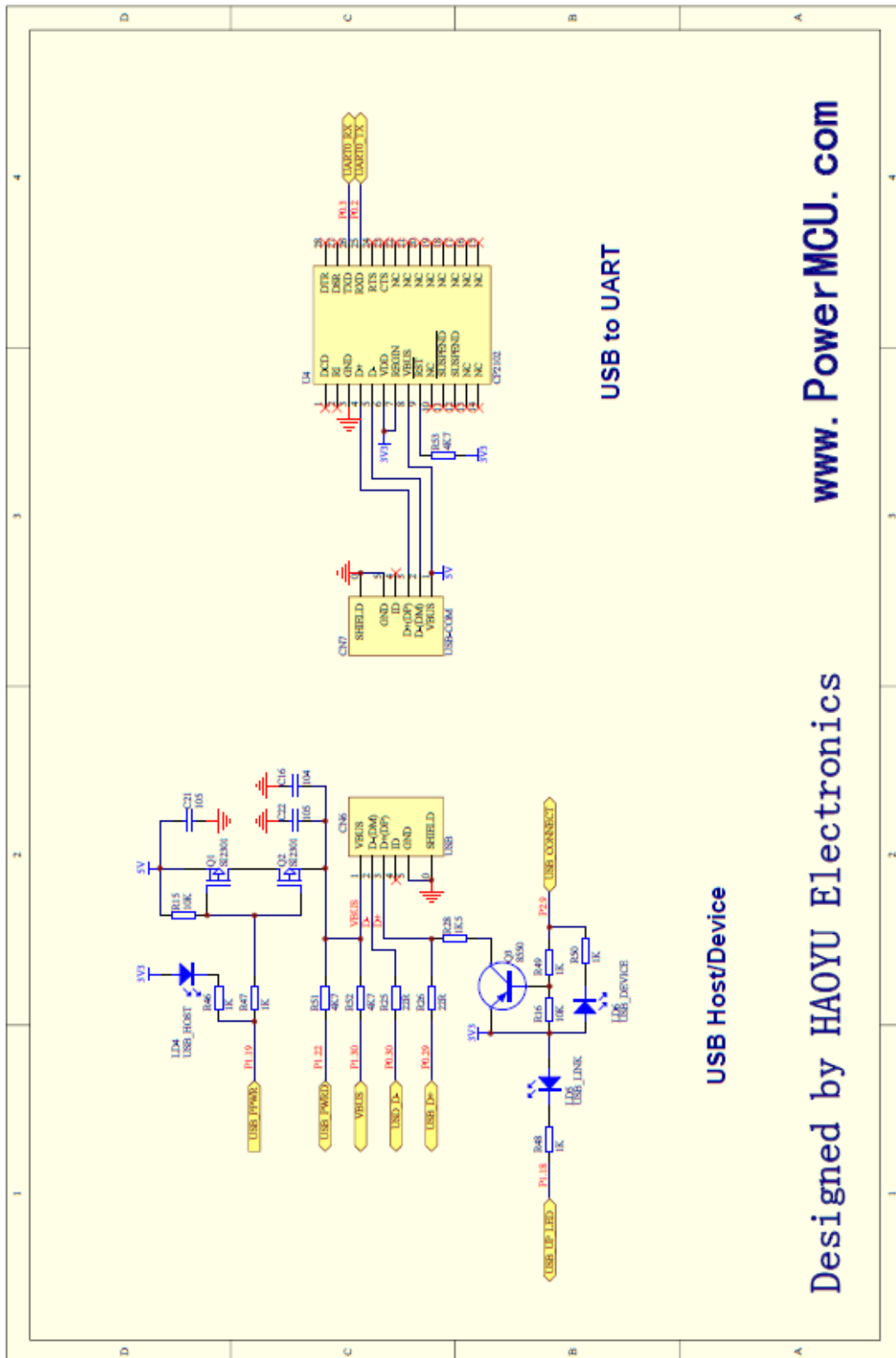


T **HAOYU**
ELECTRONICS

www.PowerMCU.com

Designed by HAOYU Electronics





USB Host/Device

USB to UART

Designed by HAOYU Electronics

www.PowerMCU.com

4 PLIEGO DE CONDICIONES

El pliego de condiciones tiene la finalidad de fijar los niveles técnicos y de calidad mínimos. La ejecución del proyecto deberá ser efectuado por un ingeniero electrónico de comunicaciones.

4.1 Hardware

Los requisitos de hardware mínimos son:

- Tarjeta de desarrollo TAYOU Mini-DK2 con LCD 2.8”.
- Vehículo de radiocontrol de características similares al Subaru Impreza WRC 2001 Tamiya.
- Módulo WiFi con conexión UART.
- Encoder óptico con salida en cuadratura (el utilizado tiene 100 PPV).
- Sensores de infrarrojos con salida analógica compatibles con el modelo GP2Y0A21YK0F del fabricante Sharp y con alcance mínimo de 80cm.

4.2 Driver

Los requisitos que tiene que cumplir el driver son:

- Estar formado por dos puentes en H completo.
- El driver deberá presentar una corriente de salida mínima de 2 A.
- El driver deberá disponer de dos canales totalmente diferenciados para poder realizar el control de ambos motores.
- La tensión de alimentación de la parte lógica debe ser de 5 V.
- La tensión de entrada al driver debe estar comprendida entre los 9 y los 11 V.

4.3 Alimentación

Se deben considerar los siguientes aspectos:

- Deben existir cuatro alimentaciones diferenciadas necesarias en:
 1. Motor de tracción y de dirección (9.6V - 650 mAh).
 2. Tarjeta mini-dk2 (5V - 650mAh).
 3. Sensores (5V - 1300mAh).
 4. Módulo WiFi (3.3V - 1800mAh).
- Hay que proporcionar a los sensores de infrarrojos una alimentación estable.
- Se debe asegurar la entrega mínima de corriente para el módulo WiFi.

4.4 Software

Se deben considerar los siguientes aspectos:

- Keil uVision V4 o superior con compilador de código C.
- Librería LPC17xx CMSIS y CM3 (Cortex-M3).
- Librerías GLCD y Touchpanel.

5 PRESUPUESTO

En este apartado se describe el presupuesto necesario para desarrollar este proyecto. En él se incluyen el coste de equipamiento, el coste de mano de obra y el coste total.

5.1 Coste de Equipamiento

Para el coste de equipamiento, se ha tenido en cuenta que los elementos hardware utilizados son considerados bienes amortizables. Así, se tendrá en cuenta el tiempo de amortización de cada uno de ellos según la Ley del Impuesto de Sociedades [8] vigente desde enero de 2015. Esta expone en una tabla los porcentajes y periodos de amortización aplicables a sociedades y autónomos. De esta, se ha sustraído la siguiente información relativa al tiempo de amortización de los componentes de este proyecto, siendo:

- Para sistemas y programas informáticos, el tiempo de amortización es de ocho años.
- Para equipos electrónicos, el tiempo de amortización es de diez años.
- Para útiles y herramientas, el tiempo de amortización es de ocho años.

Valorando estas, se han obtenido los siguientes resultados presupuestarios.

5.1.1 Equipamiento de laboratorio

Concepto	Cantidad amortizada (años)	Coste unitario	Periodo de amortización (años)	Subtotal (€)
PC Lenovo G580	1	600.00 €	8	75 €
Osciloscopio	1	600.00 €	10	75 €
Fuente de Alimentación	1	180.00 €	10	18 €
Multímetro	1	30.00 €	10	3 €
Equipo de Soldadura	1	50.00 €	8	6.25 €
Coste Total				177.25 €

Tabla 5. 1: Coste equipamiento de laboratorio`

5.1.2 Hardware eléctrico utilizado

Concepto	Cantidad	Coste Unitario	Periodo de amortización (años)	Subtotal (€)
Tarjeta Mini-dk2 LPC 1768	1	27.00 €	10	2.70 €
Pantalla Mini-dk2	1	15.00 €	10	1.50 €
Depurador J-Tag	1	13.00 €	10	1.30 €
Cable mini-USB	2	0.5 €	--	1€
Placa Protoboard	1	18.00 €	10	1.80 €
Monster Moto Shield	1	10.00 €	10	1€
Encoder	2	3.00 €	10	0.30 €
Sensor Infrarrojo	4	3.00 €	10	0.30 €
WiFi ESP8266	1	10.00 €	10	1€
Sensor Luminosidad	1	2.00 €	10	0.20 €
Bumper	1	2.00 €	10	0.20 €
Buzzer	1	2.50 €	10	0.25€
Batería 9.7 V	2	20.00 €	--	20 €
Batería 3.7 V	3	5.00 €	--	5 €
Convertidor DC-DC	2	4.50 €	10	0.45 €
Regulador Lineal KP33	1	1.00 €	10	0.10 €
LED	2	2.00 €	10	0.20 €
Condensador electrolítico 100uF	4	0.40 €	--	1.6 €
Condensador cerámico 10nF	4	0.10 €	--	0.4 €
Cable de pines	40	0.20 €	--	8 €
Cable 1 hilo	1	0.20€/metro	--	0.2 €
Interruptor	4	1.00 €	--	4 €
Vehículo Radiocontrol	1	80.00 €	20	4€
Coste Total				55.50 €

Tabla 5. 2: Coste hardware eléctrico utilizado

5.1.3 Hardware no eléctrico utilizado

Concepto	Cantidad	Coste Unitario	Subtotal (€)
Tira de pines M-M	40	0.20 €	8.00 €
Cable 1 hilo	1	0.20 €/metro	0.20 €
Tornillos 1/8"	3	0.05 €	0.15 €
Tuercas 1/8"	3	0.05 €	0.15 €
Tira de 20 pines	2	1.00 €	2.00 €
Coste Total			7.00 €

Tabla 5. 3: Coste hardware no eléctrico utilizado

5.1.4 Software Utilizado

Concepto	Cantidad	Coste Unitario	Periodo de amortización (años)	Subtotal (€)
Keil uVision 4	1	3340 €	6	556.66 €
MatLab	1	2000 €	6	333.33 €
PsPice	1	2580 €	6	0 €
App Inventor	1	0 €	6	0 €
Coste Total				0 €
				1319.99 €

Tabla 5. 4: Coste software utilizado

5.2 Coste de Mano de Obra

Concepto	Cantidad	Coste Unitario	Subtotal (€)
Modificación disco codificado	1	10.00 €	10.00 €
Desarrollo Proyecto	250	30€/hora	7500.00 €
Mecanografiado del documento	50	15€/hora	750.00 €
Coste Total			8260.0

Tabla 5. 5: Coste mano de obra

5.3 Presupuesto total

Concepto	Subtotal (€)
Equipamiento de laboratorio	177.25 €
Hardware eléctrico	55.50 €
Hardware no eléctrico	7.00 €
Software	1319.99 €
Mano de obra	8260.00 €
Coste Total	9822.24 €

Tabla 5. 6: Presupuesto total

El importe total del presupuesto asciende a la cantidad de: NUEVE MIL OCHOCIENTOS VEINTIDOS EUROS CON VEINTICUATRO CÉNTIMOS

En Alcalá de Henares a 20 de Septiembre de 2017

Borja Díaz Rodríguez

6 MANUAL DE USUARIO

En esta sección se explicará el funcionamiento del sistema creado con el fin de otorgar la ayuda necesaria al usuario que desee controlarlo.

Esta información será explicada en diversos apartados que ayudan a clarificar cada una de las partes y funciones del proyecto.

6.1 Manejo de la APP

La aplicación WiFi creada para este proyecto presenta un diseño sencillo y concreto que ayuda a facilitar su uso. Esta dispone de seis botones o cuadros de interacción con diversas funciones:

- El botón Acelerar situado en la parte superior de la pantalla. Envía orden de avanzar al vehículo.
- El botón Frenar situado en la parte inferior de la pantalla. Envía orden de retroceder al vehículo.
- El botón LEFT situado en la parte izquierda de la pantalla. Envía orden de girar a la izquierda.
- El botón RIGTH situado en la parte derecha de la pantalla. Envía orden de girar a la derecha.
- El botón Centro situado en la parte central de la pantalla. Envía orden de situar la dirección en el centro.
- El botón STOP situado en el lateral izquierdo de la parte central de la pantalla. Envía orden de parar el sistema.
- Los botones ON/OFF situados en la parte inferior derecha de la pantalla. Abre o cierra el puerto socket creado.
- Por último, los botones Auto y Manual, que ofrecen al usuario la opción que desee para manejar el vehículo: “Modo manual” donde el usuario es el encargado de controlar el vehículo con los diversos botones explicados anteriormente o el “Modo automático” donde se activan los sensores explicados en este proyecto para otorgar al coche su propia autonomía.

6.2 Set IP

Presenta un cuadro de texto donde introducir la dirección IP del módulo ESP8266. Esta será usada para establecer la conexión con el módulo.

6.3 Puesta en marcha del vehículo

Para poner en marcha el vehículo debemos activar cuatro interruptores que se explican a continuación su ubicación y función:

- Interruptor 1, situado en la parte inferior del coche. Se encarga de encender los motores, es decir, permite la alimentación de la batería que se encarga de proporcionar energía a los motores. Se muestra a continuación una imagen que clarifica la ubicación de dicho interruptor. (ver Figura 6. 1)



Figura 6. 1: Interruptor 1

- Interruptor 2, situado en la parte posterior/trasera del coche, en el lateral derecho. Se encarga de alimentar los sensores de infrarrojos, el buzzer, el sensor de luminosidad y el bumper. Se muestra a continuación una imagen de su ubicación en el vehículo. (ver Figura 6. 2)



Figura 6. 2: Interruptor 2

- Interruptor 3, situado en el lateral izquierdo del vehículo. Se encarga de alimentar la tarjeta de desarrollo Mini-DK2 (ver Figura 6. 3).



Figura 6. 3: Interruptor 3

- Interruptor 4, situado en el frontal del vehículo, siendo visible desde la parte externa de la carrocería. Se encarga de proporcionar la corriente necesaria al modulo WiFi ESP8266 para su funcionamiento. (ver IMAGEN)

Estos son los cuatro interruptores que el usuario debe activar y, seguidamente, debe situar el vehículo en el suelo y conectar la App. El vehículo se encuentra por defecto en “Modo automático” por lo tanto, en cuanto sea activado comenzará a funcionar.

El orden de encendido de los interruptores deberá ser:

- Interruptor 3.
- Interruptor 2.
- Interruptor 4.
- Interruptor 1.

6.4 Algunas consideraciones

Si durante el uso del vehículo, este se aleja demasiado y, por tanto, pierde la conexión del módulo WiFi y el Smartphone, el coche se detendrá en el punto en el que se encuentre y no volverá a estar en funcionamiento hasta que el usuario reinicie la conexión y mande la orden de avanzar al vehículo.

Si el vehículo accede a una zona donde la luz es menor que la del umbral prefijado por defecto, las luces LED del vehículo se activarán de manera automática.

Por último, si el vehículo, en su recorrido chocase con algún obstáculo, el sensor de golpe se accionará y enviará un mensaje a la pantalla que se encuentra dentro del vehículo para informar de lo sucedido.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Z. China, "LPC1768-Mini-DK2 Development board", Hotmcu.com, 2017. [Online]. Available: <http://www.hotmcu.com/lpc1768minidk2-development-board-p-55.html>
- [2] T. (TL-01), "Tamiya - 1/10 RC Subaru Impreza WRC 2001 Kit (TL-01)", 2017. [Online]. Available: <https://www.rcjaz.co.uk/tamiya-58273-110-rc-subaru-impreza-wrc-2001-kit-tl01-p-3287.html>.
- [3]. A. Iglesias Castro, (2013, Feb 18) "Motores eléctricos de corriente continua" [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/aicvigo1973/motores-electricos-de-corriente-continua>
- [4]. SparkFun Electronics, (2017) SparkFun Monster Moto Shield. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/10182>
- [5]. Avago Technologies, (2015) "Data sheet" [Online]. Available: <http://www.mouser.com/ds/2/678/V02-1057EN0-1130969.pdf>
- [6]. Sharp, (2006) "GP2Y0A21YK0F Distance Measuring Sensor Unit Measuring distance: 10 to 80 cm Analog output type" [Online]. Available: http://www.socle-tech.com/doc/IC%20Channel%20Product/Sensors/Distance%20Measuring%20Sensor/Analog%20Output/gp2y0a21yk_e.pdf
- [7]. Matlab, (2017) "Polynomial curve fitting" [Online]. Available: <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/polyfit.html?requestedDomain=www.mathworks.com>
- [8]. España. Ley del Impuesto sobre Sociedades. *BOE*, 28 de noviembre de 2014, p. 996939-97097. [Online] Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-12328>
- [9]. STMicroelectronics, (2014) "Very low drop voltage regulators with inhibit" [Online]. Available: www.st.com/resource/en/datasheet/kfxx.pdf
- [10]. Keil, (2014), "LPC17xx Uart Example" [Online]. Available: http://www.keil.com/download/docs/208/1768_uart.asp

- [11]. J. Roldán Viloría, “*Motores de corriente continua*”. 2014. Paraninfo.
- [12]. L. del Valle Hernández, “Guía para configurar un ESP-01, el módulo WiFi basado en ESP8266” [Online]. Available: <https://programarfacil.com/podcast/como-configurar-esp01-wifi-esp8266/>
- [13]. Aliexpress, “Impact Sensor” [Online]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/5-pcs-Free-Shipping-Impact-Switch-Collision-Switch-Sensor-Module-With-Dupont-Line/32295483232.html?spm=a219c.search0204.8.4.V3BlhE>
- [14]. NXP (2016). UM10360 LPC176x/5x User manual. [Online]. Available: <http://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10360.pdf>
- [15]. GitHub, “Configuration Socket”. Available: <https://github.com/gatemo1/Configuration-Socket-Port-App>
- [16]. Prometec (2016). “Modificando el firmware ESP8266”. [Online]. Available: <https://www.prometec.net/firmware-esp8266/>

8 ANEXOS

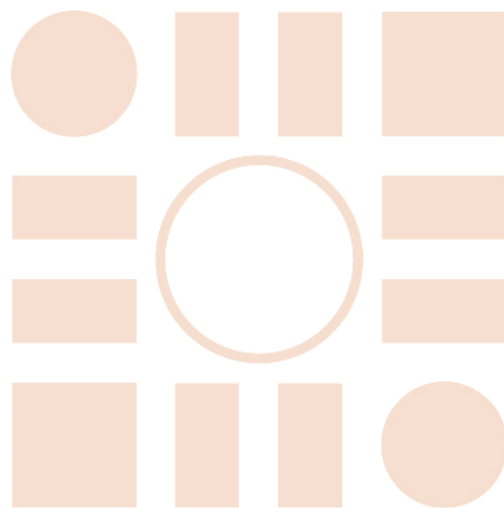
Actualización Firmware ESP8266

La actualización de firmware se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- Conectar el módulo ESP8266 al ordenador mediante un adaptador FTDI a USB. Para poder realizar la actualización, hay que conectar la alimentación (+3.3V), GPIO0 a nivel bajo y el pin de habilitación del chip (CH_PD) a nivel alto.
- Con ayuda de la herramienta ESP Flash Downloader se realiza la actualización del módulo. Para ello hay que elegir el fichero binario que se desee instalar (este módulo se actualizó con la versión v2.3.0), el puerto COM correspondiente a la conexión del adaptador FTDI-USB y la dirección por la que empezará la instalación (0x00000).

Al finalizar este procedimiento, el módulo WiFi estará actualizado [15].

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá