

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

Plataforma docente para desarrollo con robots móviles: ITO-II

Miriam del Río Valle
JUNIO 2015

Plataforma docente para desarrollo con robots móviles: ITO-II

AUTOR: Miriam del Río Valle
TUTOR: Guillermo González de Rivera Peces

The logo for HCTLab, featuring the letters 'HCT' in black and 'Lab' in red, all in a bold, sans-serif font.

Human Computer Technology Lab
Dpto. Tecnología Electrónica y de Comunicaciones
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Junio 2015

Resumen

En el presente proyecto fin de carrera se ha diseñado y construido un prototipo de robot cuya finalidad es el aprendizaje de la robótica tanto si se parte desde el desconocimiento de la materia como si se maneja en los niveles más avanzados, donde el usuario podrá implementar las funciones que desee.

Antes de realizar el diseño y la fabricación de este robot se ha realizado un estudio sobre el estado del arte, para poner en situación el proyecto respecto a otras tecnologías parecidas. En este apartado también se incluye el estudio previo realizado al proyecto sobre los sensores y el microcontrolador.

Posteriormente viene una fase de desarrollo, en primer lugar se explican las herramientas utilizadas para llevarlo a cabo y los sensores seleccionados para su integración, tanto aquellos que se han considerado esenciales y forman parte desde las primeras pruebas, como otros cuya incorporación es interesante pero no esencial. Tras esta parte, se muestra cómo se han integrado los sensores al diseño de la placa, y el resultado de cada prototipo tras la finalización de la construcción. Se incluyen los dos prototipos realizados y sus diseños correspondientes. Con la intención de que el robot pueda ser utilizado desde el primer momento, se han programado diferentes rutinas para que los sensores instalados queden en funcionamiento, éstas son sólo un ejemplo, el usuario puede modificarlas o incluir cualquier otra funcionalidad que se le ocurra con éstos sensores o incluir otros.

Por último, se muestran las pruebas realizadas para verificar el funcionamiento del robot y se incluyen unas conclusiones y trabajos futuros.

Palabras clave

Sensor, ITO-II, microcontrolador, robot,

Abstract

In this final degree project, a prototype robot has been designed and built. The goal is that the user can learn robotics, starting from a lack of knowledge of the topic and taking him to advanced levels in which he can implement the function that he wants.

Before designing and constructing this robot, a study was made of the state of the art, in order to situate this project in relation to others with similar technology. In this section, the preliminary study made before the project about the sensors and the microcontroller is also included.

In this paper, after the preliminary study there is a developmental phase. Firstly, the tools used and the selected sensors are explained, either those considered essential and integrated in the prototypes from the beginning, or those that are interesting but not essential. Following this, the design and integration of sensors on the board are explained, and each prototype is shown after its construction. In this report, all finished prototypes are included with their corresponding designs. So that the robot can be used from the beginning, several functions have already been programmed. Due to this, the installed sensors are operational, although these are only examples. The user can modify or include other functionalities which occur to him with these sensors or with others.

Finally, the tests to check the robot's operation are shown. The report ends with the conclusions and possible future tasks in relation to this project.

Key words

Sensor, ITO-II, microcontroller, robot.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi tutor Guillermo González de Rivera Peces por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto. Quiero agradecer también al grupo HCTLab por toda la ayuda recibida y tantos buenos momentos compartidos.

No puedo olvidarme de aquellas personas que me han acompañado casi desde el primer momento de la carrera, Xu, Luis y Karim, con los que estos años universitarios no se quedan solo en las aulas sino en un montón de recuerdos que formarán siempre parte de mi vida en la universidad. Hemos crecidos juntos en cada aprobado, en cada suspenso, en cada descanso que se no iba de las manos dando toques, en cada año superado y en cada defensa del proyecto de cada uno de nosotros.

También quiero agradecer a mi amiga Bea haber estado a mi lado siempre, por apoyarme y creer en mí cuando dije que quería ser ingeniera, por buscar siempre un momento para vernos y por haberme ayudado a revisar esta memoria. Espero que por mucho tiempo que pase nuestras citas en el Starbucks sigan inquebrantables.

Agradecer también a mi familia, especialmente a mis padres, que me han apoyado en todo momento e inculcado en mi aprendizaje, muchos valores y actitudes que me han hecho ser la persona que soy ahora.

Por último quiero agradecer a Jose Ignacio por todo su apoyo y cariño demostrado estos años, gracias por hacerme creer que podía, que aunque quedase poco tiempo podía aprobar esa asignatura, por ayudarme hasta el último momento a entender una fórmula horrible y por enseñarme que en un examen puede fallar la memoria en una fórmula pero no un razonamiento para llegar a ella. Gracias por tranquilizarme antes del examen, por estar en cada victoria y apoyarme en cada derrota, gracias porque tu ayuda y apoyo que han sido imprescindible para poder terminar como ingeniera esta carrera.

INDICE DE CONTENIDOS

Resumen	5
Palabras clave	5
Abstract	7
Key words.....	7
1 Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Organización de la memoria.....	3
2 Estado del arte	5
2.1 Introducción.....	5
2.1.1 Robótica.....	5
2.1.2 Robótica educativa	5
2.1.3 Robots educativos en el mercado	6
2.1.3.1 Arduino [3].....	6
2.1.3.2 Texas Instruments [6].....	7
2.1.3.3 Robots Moway [7].....	8
2.1.3.4 Robot SR1 [8].....	8
2.1.3.5 ITO-I.....	9
2.2 Estudio previo de tecnologías	11
2.2.1 Microcontrolador	11
2.2.1.1 ¿Qué es?.....	11
2.2.1.2 Descripción del Microcontrolador: Atmega32u4 [10]	12
2.2.2 Estudio de los sensores y actuadores	14
3 Desarrollo	29
3.1 Introducción.....	29
3.1.1 Altium.....	30
3.1.2 Atmel Studio.....	30
3.2 Selección de los sensores y actuadores.....	30
3.2.1 Sensores principales	31
3.2.1.1 Sensor de posición	31
3.2.1.2 LEDs.....	32
3.2.1.3 Sensor de luz.....	32
3.2.1.4 Zumbador	32
3.2.1.5 Infrarrojo corto alcance	33
3.2.1.6 Motorreductor.....	34
3.2.1.7 Encoder.....	35
3.2.1.8 Pulsador	37
3.2.1.9 Driver motor	38
3.2.1.10 Fuente de alimentación.....	41
3.2.1.11 Módulo con una IMU, una brújula digital, y un sensor de presión / temperatura barométrica.....	41
3.2.1.12 Regulador Buck-Boost	44
3.2.1.13 Fuente de alimentación.....	45
3.2.2 Sensores secundarios	46
3.2.2.1 Pantalla LCD	46
3.2.2.2 Sensor acústico	46
3.2.2.3 Reproductor de sonido.....	47

3.2.2.4 Sensor infrarrojo	48
3.2.2.5 Sensor temperatura	48
3.2.1 Esquemático final	49
3.2.2 Diseño	53
3.2.3 Construcción	54
3.3 Primer prototipo	56
3.4 Segundo prototipo	58
3.4.1 Modificaciones respecto al primer prototipo	58
3.5 Software	60
3.5.1 Rutina inicialización	61
3.5.2 Rutinas ledrojo, ledazul y ledamarillo	61
3.5.3 Rutina Juego de luces	61
3.5.4 Rutina <i>pulsadoresled</i>	61
3.5.5 Rutina luz	61
3.5.6 Rutina distancia	63
3.5.7 Rutina seguidor de línea	64
3.5.8 Rutina control driver	64
3.5.9 Rutina zumbador	68
3.5.10 Programa por defecto	70
4 Pruebas y resultados	71
4.1 Introducción	71
4.2 Prueba Seguidor de línea	72
4.3 Prueba Encoder	73
4.4 Prueba sensor distancia	74
4.5 Prueba zumbador	74
4.6 Prueba drivers	75
4.7 Prueba pulsadores	75
4.8 Prueba RGB	76
4.9 Prueba LDR	76
4.10 Prueba regulador	77
5 Conclusiones y trabajo futuro	79
5.1 Conclusiones	79
5.2 Trabajo futuro	79
Referencias	81
Glosario	83
Anexos	I
A Manual de usuario	I
B Diseños del prototipo	V

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Robot Walle de Walt Disney Picture	5
Figura 2: Robot Arduino	7
Figura 3: Texas Instruments	7
Figura 4: Robot Moway.....	8
Figura 5: Robot SR1.....	9
Figura 6: Plataforma Ito-I	9
Figura 7: Plataforma ITO-I vista planta	10
Figura 8: GPBOT	10
Figura 9: Robot ITO-I.....	11
Figura 10: Distribución de pines Atmega32U4	13
Figura 11: LASER	15
Figura 12: Esquema de funcionamiento de un sistema basado en tiempo de vuelo	15
Figura 13: Ultrasonido	16
Figura 14: Sensor de posición infrarrojo.....	16
Figura 15: LEDs de colores.....	17
Figura 16: LDR	17
Figura 17: Buzzers	18
Figura 18: Circuito para seguidor de línea	18
Figura 19: Mecanismo de funcionamiento de un motorreductor	19
Figura 20: Fórmula de cálculo del Torque o par.....	19
Figura 21: Encoder absoluto con codificación Gray	20
Figura 22: Encoder incremental efecto Hall.....	20
Figura 23: Pulsadores.....	21
Figura 24: Driver de motor	21
Figura 25: LCD Screen.....	22
Figura 26: Sensores de temperatura	23
Figura 27: Sensor de sonido	24
Figura 28: Acelerómetro aplicado a dispositivos de telefonía	25
Figura 29: Integrado reproductor de sonido.....	26
Figura 30: Sensor infrarrojo	26
Figura 31: Fuentes de alimentación	27
Figura 32: Placa de aprendizaje.....	29
Figura 33: Testeo de compomponentes	30
Figura 34: Sensor de posición GP2D150A	31
Figura 35: LED RGB LF5WAEMBGMBW	32
Figura 36: LDR NSL-19M51	32
Figura 37: Zumbador KMTG1003-F.....	33
Figura 38: Infrarrojo de corto alcance CNY70	33
Figura 39: Circuito de acondicionamiento del sensor CNY70.....	33
Figura 40: motorreductor 298:1	34
Figura 41: Anclaje del motor a la placa	34
Figura 42: Montaje motor con anclaje	35
Figura 43: Montaje motor con rueda	35
Figura 44: Rueda de giro	35
Figura 45: Kit encoder Pololu	36
Figura 46: Explicación gráfica encoder	36
Figura 47: Salidas del encoder.....	37
Figura 48: Integración motor - Kit encoder.....	37
Figura 49: Esquemático Kit encoder	37
Figura 50: Pulsador EVQ11U05R	38
Figura 51: Modo de f sentido corrientes modo hacia delante y hacia atrás	39
Figura 52: Configuración resistencia pull-up y pull down	40
Figura 53: Mini-USB	41

Figura 54: Conector hembra fuente DC	41
Figura 55: MPU6050.....	42
Figura 56: Diagrama de bloques de MPU6050.....	43
Figura 57: Diagrama de bloques barómetro	43
Figura 58: módulo con varios sensores	44
Figura 59: Encapsulado del regulador	44
Figura 60: Configuración con la salida fijada a 5V.....	45
Figura 61: Placa regulador.....	45
Figura 62: Soporte de batería.....	45
Figura 63: Pantalla LCD modelo FDCC1601E-RNNYBW-66SE	46
Figura 64: Pantalla LCD modelo FECC1602B-RNNYBW-66SE.....	46
Figura 65: Sensor sonido modelo K1208047	47
Figura 66: Arduino MP3 Shield con micro SD	48
Figura 67: Receptor TSOP4838	48
Figura 68: Sensor temperatura TMP36FSZ	48
Figura 69: Esquema microcontrolador	49
Figura 70: Conectores	50
Figura 71: Esquema de programador ISP y pulsador USB	50
Figura 72: Esquema del mini USB	50
Figura 73: Esquema de la entrada de voltaje externo	51
Figura 74: Esquema CNY70.....	51
Figura 75: LEDs.....	51
Figura 76: Pulsadores.....	51
Figura 77: Esquema zumbador y LDR	52
Figura 78: Esquema Driver y motor con encoder.....	52
Figura 79: Esquema conectores Sharp.....	52
Figura 80: Esquema zócalo para módulo IMU, brújula y sensor temperatura	53
Figura 81: Diseño PCB en Altium	53
Figura 82: Gerber capa Top (rojo), Boton (azul), mechanical 2 (morado) y NC Drill (verde).....	54
Figura 83: Placa del segundo prototipo	55
Figura 84: Fresadora LPKF Protomat S100.....	55
Figura 85: Diseño primer prototipo.....	57
Figura 86: Primer prototipo finalizada la fabricación	57
Figura 87: Diseño Altium de la sujeción del sensor Sharp.....	58
Figura 88: Placa de la sujeción del sensor Sharp.....	59
Figura 89: Diseño segundo prototipo	59
Figura 90: Segundo prototipo finalizada la fabricación	60
Figura 91: Configuración registros MUX y REFS.....	62
Figura 92: Registro ADCSRA	62
Figura 93: Salida ADC	63
Figura 94: Ciclo de trabajos.....	65
Figura 95: Salida generada con registro de comparación 127 en Timer0	65
Figura 96: Funcionamiento de FAST PWM	66
Figura 97: Registro TCCR1A TCCR3a	66
Figura 98: Registro TCCRxA del timer 1 y 3.....	67
Figura 99: Configuración del registro TCCRA	69
Figura 100: Configuración registros TCCRB.....	70
Figura 101: Flujo del programa por defecto	70
Figura 102: TDS2024C	71
Figura 103: EL302RT	71
Figura 104: Salida CNY70	72
Figura 105: Prueba seguidor de línea	73
Figura 106: Salida encoder	73
Figura 107: Prueba sensor Sharp.....	74
Figura 108: Entrada buzzer.....	75
Figura 109: Entrada al driver del motor	75
Figura 110: Prueba pulsadores.....	76

Figura 111: Prueba RGB	76
Figura 112: Prueba sensor LDR.....	77
Figura 113: Pantalla “Device programming”	I
Figura 114: AVRISpmkII000200015261.....	II
Figura 115: Configuración de los fusibles	II
Figura 116: Cargar bootloader	III
Figura 117: Flip	IV

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de modelos A-Star	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2: Dispositivos principales y secundarios	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3: Drivers	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4: Configuración de driver 8833.....	39
Tabla 5: Configuración driver 8835 (Modo 0)	40
Tabla 6: Configuración driver 8835 (Modo 1)	40
Tabla 7: Registro ADMUX.....	62
Tabla 9: Configuración driver	64
Tabla 10: Configuración del los bits COM de los timer 1 y 3	67
Tabla 11: Configuración del los bits CS de los timer 1 y 3	67
Tabla 12: Configuración de los bits WGM de los timer 1 y 3.....	68
Tabla 13: Configuración de los bits DTSP4x del timer 4	69
Tabla 14: Configuración de los bits CS del timer 4	69

1 Introducción

1.1 Motivación

A lo largo de la última década, los avances en la tecnología han ido tomando una mayor importancia en la vida de las personas, entendiendo tecnología como aquellos conocimientos científico-técnicos cuya finalidad es satisfacer tanto las necesidades actuales como predecir las futuras. En particular, el avance en la robótica está cada vez más presente en gran variedad de áreas, lo que ha promovido que la adquisición de conocimientos relacionados con la robótica sea esencial. Por ello, es importante que conocimientos sobre la robótica sean puestos al alcance de las generaciones más jóvenes como una herramienta para el aprendizaje multidisciplinar, a la vez que puedan entender el funcionamiento de la robótica en el entorno que les rodea.

En el Real Decreto 3473/2000[1] se modificó las bases que establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria, en él se fijaron los contenidos sobre control automático y la robótica en la educación secundaria en España.

En la actualidad la robótica educativa está experimentando gran incremento en este ámbito educativo [2]. Ya hay colegios pioneros en impartir tanto en primaria como en secundaria la asignatura de robótica, que pretende desarrollar de manera más práctica, atractiva y sencilla habilidades motoras y cognitivas. Esta asignatura pretende promover el autodescubrimiento, la responsabilidad y las capacidades creativas.

La motivación de este proyecto es la colaboración con el aprendizaje de la robótica, desde un entorno sencillo y controlado, hasta la profundización y ampliación de manera libre. Por ello, ITO-II está diseñado tanto para su difusión en colegios e institutos, en los cuales se podrá planificar el aumento progresivo de dificultad y conocimientos, como para el uso de una robótica más avanzada en universidades o el uso libre para implementar funcionalidades del robot.

En este proyecto se realiza la parte hardware y una serie de rutinas para poner en funcionamiento al robot, aunque el proyecto ITO-II engloba una parte más. Su culminación sería la realización de una interfaz gráfica que permita la utilización del robot sin entrar ni conocer el código, a partir de ella se seleccionarían las funcionalidades que se desean y se solicitarían los parámetros necesarios para la programación de los mismos.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es la realización y construcción del diseño de un robot móvil, dotado de una serie de sensores y actuadores, que le hagan capaz de interactuar con el entorno. La idea es dotar a la unidad robótica de las herramientas necesarias para que pueda ser utilizado tanto por usuarios inexpertos como por usuarios avanzados.

Para poder enseñar los conceptos básicos de robótica, se ha diseñado una estructura que facilita el rápido aprendizaje a usuarios inexpertos. Para ello, esta estructura tiene unos sensores incorporados y unas rutinas que se podrá cargar en él, siguiendo unas sencillas instrucciones. Para usuarios con un mayor control y que deseen ampliar la funcionalidad de ITO-II, tienen la posibilidad de reescribir la programación e incorporar nuevos sensores o dar nuevas utilidades a los existentes.

Para alcanzar dicho propósito, el proyecto se subdivide en una serie de objetivos intermedios:

- Selección de los sensores adecuados que cubran unas necesidades básicas y que resulten útiles y atractivas al usuario.
- Diseño y fabricación de un primer prototipo de prueba con el que se ha verificado el funcionamiento del robot y previsto mejoras en diseño.
- Diseño y construcción del prototipo final.
- Desarrollo de un conjunto de rutinas para facilitar el uso y el aprendizaje a terceras personas.

La diferenciación del proyecto ITO-II con otros robots existentes en el mercado se centra en una reducción de los costes, modularidad de los sensores y actuadores, una mayor usabilidad y la posibilidad de personalización de la plataforma a entidades que soliciten características específicas. Estas características hacen posible acercar a cualquier usuario la posibilidad de aprender robótica.

El proyecto ITO-II no termina aquí, el objetivo de la usabilidad se completará con la realización de una interfaz gráfica, propuesta en trabajos futuros, que destaque por su fácil uso y permita la utilización de la plataforma a cualquier usuario. La selección de los sensores ha sido realizada para un propósito general, pudiendo ser modificada para un propósito más específico si se diera una oferta con requisitos determinados.

1.3 Organización de la memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- **Introducción:** Se exponen las motivaciones que llevaron a emprender este proyecto y los objetivos del mismo.
- **Estado del arte:** Comienza poniendo en situación el proyecto respecto a otros ya existentes. Posteriormente se ha incorporado el estudio previo de los sensores, controladores y del microcontrolador del proyecto.
- **Desarrollo:**
 - **Breve introducción de los programas utilizados:** Altium y Atmel Studio.
 - **Selección de los componentes seleccionados:** Se especifica que sensores han sido seleccionados para su incorporación, y el modelo de los mismos.
 - **Primer prototipo:** En esta parte se incluye el diseño realizado en Altium y la construcción resultante del estudio realizado.
 - **Segundo prototipo:** Tras realizar las pruebas en el primer prototipo, se han incorporado modificaciones y añadido algunos componentes que faltaban.
 - **Software:** Aquí se presenta el esquema seguido para la implementación de las funciones que darán usabilidad al robot.
- **Integración, pruebas y resultados:** Se exponen las pruebas realizadas tras la construcción e implantación de las funciones, además se muestra los resultados de las mismas e imágenes del prototipo final.
- **Conclusiones y trabajo futuro:** Aquí se establecen las conclusiones a las que se llega después de realizar el proyecto, finalmente se mencionan varias ideas para continuar este proyecto.
- **Glosario**
- **Anexos:**
 - **Manual del usuario**
 - **Anexos**

2 Estado del arte

2.1 Introducción

Este proyecto tiene la finalidad de servir de soporte a la robótica educativa, por ello antes de empezar se van a introducir dos conceptos claves: Robótica y robótica educativa.

2.1.1 Robótica

Es la rama de la tecnología que se dedica al diseño y construcción de robots. Combina diferentes disciplinas como mecánica, informática, electrónica, inteligencia artificial, física e ingeniería de control entre otras.



Figura 1: Robot Walle de Walt Disney Picture

2.1.2 Robótica educativa

Es el conjunto de actividades pedagógicas que apoyan y fortalecen áreas específicas del conocimiento, además de desarrollar competencias en el alumno a través de la utilización de robots.

Uno de los principales objetivos de la robótica educativa es la generación de entornos de aprendizaje, en los que el estudiante pueda concebir, desarrollar y poner en práctica diferentes ideas que le permita resolver ciertos problemas. Con ello se crean las condiciones adecuadas para que el alumno pueda adquirir conocimientos a través de la robótica. Otros objetivos que se pretenden lograr a través del aprendizaje son:

- Mejorar cualidades como el orden, el trabajo en equipo y la responsabilidad
- Desarrollar capacidades creativas y la motricidad.

Al lograr estos objetivos se generan beneficios a medio plazo, pero también cabe destacar aquellos beneficios generados a largo plazo como el conocimiento generado, que hace que la industria evolucione. Esto tendrá un impacto en las nuevas tecnologías, por ello es positivo iniciar a las nuevas generaciones desde educación básica, donde el conocimiento se adquirirá mediante un descubrimiento guiado, hasta unos conocimientos avanzados tanto en formación profesional como a nivel universitario, donde gracias a los conocimientos previos adquiridos se podrá profundizar más.

El estudio de la robótica se compone de dos fases: una primera de hardware, en la que se define la estructura y capacidades del robot, y una segunda de software, donde se configura las acciones de éste.

2.1.3 Robots educativos en el mercado

Un robot educativo es aquel que permite al usuario aprender robótica a través él, independientemente de si es la parte hardware, software o las dos. A continuación se muestra una serie de robots educativos considerados como referencia dentro del mercado actual.

2.1.3.1 Arduino [3]

El grupo de robótica Complubot [4], (Asociación de Robótica Educativa con sede en Madrid) lleva desde 2003 realizando actividades relacionadas con la robótica educativa con jóvenes entre 6 y 18 años [5]. En 2013 lanzaron el robot Arduino, con el objetivo de proporcionar una plataforma sencilla, estable y económica sobre la que se pueda experimentar. Con esta plataforma se puede aprender electrónica, mecánica y software.

Este pequeño robot, cuyo microcontrolador es Atmega32u4, dispone de un gran número de pines para la conexión de periféricos, dos potenciómetros, pulsadores, brújula digital, lector de tarjetas SD, altavoz, motores y una pantalla a color como salida, todos los dispositivos se controlan desde la biblioteca del robot. El hardware, el software y la documentación son de libre acceso, por lo que se puede estudiar su funcionamiento y utilizar este diseño como punto de partida para los robots propios.

El robot Arduino es el resultado del esfuerzo colectivo de un equipo internacional que tiene como fin hacer de la ciencia una manera divertida de aprender.



Figura 2: Robot Arduino

2.1.3.2 Texas Instruments [6]

Es una plataforma robótica para el microcontrolador Stellaris LM3S9B92. Utiliza una serie de componentes analógicos de Texas Instruments para accionamiento del motor, fuente de alimentación y funciones de comunicación. El robot viene con sensores integrados y con dos cabeceras de 20 pines, que permiten comunicaciones estándares inalámbricas. También hay pines para conexiones no inalámbricas para dar la posibilidad de que la conexión sea más segura y fiable. El software dispone de un inicio rápido y, para su depuración sólo requiere de un único cable USB.

La aplicación EVALBOT's, de inicio rápido, proporciona el software al robot. En ella se incluye tanto ejemplos como un programa base para el aprendizaje. Los ejemplos se basan en la extensa biblioteca StellarisWare, y pueden ser modificados para cumplir con nuevos desafíos utilizando las herramientas de desarrollo integradas.



Figura 3: Texas Instruments

2.1.3.3 Robots Moway [7]

Moway es un robot, nacido en el País Vasco de mano de la empresa MiniRobots. Fue pensado y diseñado para ser utilizado como herramienta educativa.

Se trata de un robot con una morfología predeterminada: no hay nada que montar y las posibles modificaciones en el hardware se limitan a los sensores extra que se pueden incorporar utilizando el kit de expansión. Así que principalmente su uso se enfoca al apoyo del aprendizaje de software.

Moway te ofrece 3 niveles de enseñanza para aprender a programar, desde el más básico para alumnos de secundaria, hasta los más complejos aptos para ciclos formativos y universidad. El software que emplea está basado en un diagrama de flujo.



Figura 4: Robot Moway

2.1.3.4 Robot SR1 [8]

El SR1 es un robot multifuncional de desarrollo y aprendizaje, dirigido a todo aquel que desee aprender o profundizar en la construcción real de robots móviles. Este robot está pensado para ser una plataforma idónea dónde realizar todo tipo de proyectos. Además cuenta con una serie de ampliaciones disponibles en la página web. El resultado es un robot compacto, robusto y duradero que destaca por sus múltiples y avanzadas posibilidades, su versatilidad y su gran cantidad de accesorios que incluyen ruedas todo terreno, torreta móvil, cámara inalámbrica y radio módem entre otros.

El Robot SR1 está diseñado para que se pueda desenvolver de forma autónoma en un entorno interior, siendo capaz de evitar y superar los obstáculos que se encuentren en su trayectoria gracias a su gran cantidad de sensores, destacar los de contacto, iluminación, inclinación, infrarrojos, ultrasonidos y temperatura. Para poder utilizarlo desde el primer momento, el robot viene con un conjunto de programas y ejemplos para aprender poco a poco su utilización, esos programas están en Basic (un tipo de programación de ordenadores) y vienen comentados paso a paso para poder comprender el proceso. El robot está recomendado a partir de 12 años, puesto

que se considera que con esta edad se es capaz de montar y seguir las instrucciones de uso del robot SR1.



Figura 5: Robot SR1

2.1.3.5 ITO-I

El antecedente que inspiró este proyecto fue ITO-I, este robot al contrario que los anteriores citados no está comercializado, su uso es exclusivamente interno.

Surgió de la necesidad de disponer de un módulo flexible y con cierta potencia para desarrollar las prácticas de la asignatura de Robótica de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid. El objetivo de este robot es el control de una serie de dispositivos considerados básicos, entre ellos se considera imprescindible el control de motores, pulsadores y sensores infrarrojos.

ITO-I, al contrario que ITO-II, precisa de un chasis donde incorporar el hardware. El chasis está construido con láminas de aluminio y, en su parte posterior han sido integrados dos motores que dotan de movimiento al prototipo mediante dos ruedas de tipo oruga. En las figuras 6 y 7 se pueden ver diferentes imágenes del chasis.



Figura 6: Plataforma Ito-I



Figura 7: Plataforma ITO-I vista planta

El módulo de hardware se introduce en el orificio del medio. El hardware es una GPBot [9], un sistema flexible y de propósito general para el diseño y la implementación de sistemas basados en microcontroladores. Utiliza un microcontrolador MC68HC908GP32 de Motorola que aporta 4 puertos de entrada y salida de 8 bits, una memoria Flash de 32KB, una memoria de RAM de 512B, una unidad de comunicaciones serie asíncrona y otra síncrona, dos temporizadores de 16 bits y 8 canales de conversión analógico/digital.

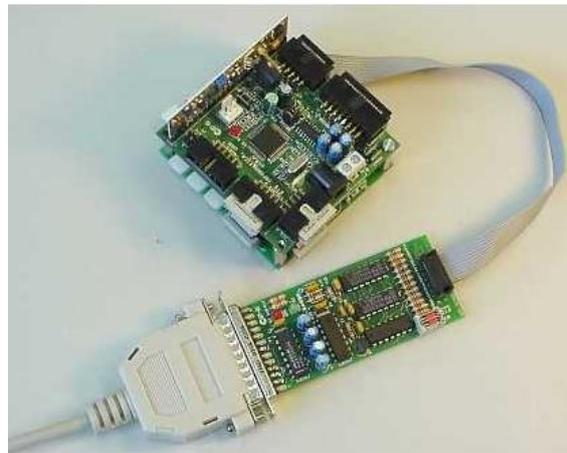


Figura 8: GPBOT

El módulo GPBot está formado por varios componentes listados a continuación:

- La propia GPBot: Es la tarjeta principal, contiene el microcontrolador, el conector de alimentación, los puertos de entrada/salida, el módulo de radio y las conexiones puerto serie.
- La GPBot_Ifaz: esta tarjeta ha sido diseñada como interfaz entre la tarjeta principal y los actuadores considerados esenciales, pulsadores, motores y sensores infrarrojos. Mencionar que también aporta una serie de pines entrada/salida de uso libre, 8 de ellos con conversión analógico-digital.
- GP_Mon: tarjeta de adaptación y conversión de señales que comunica la GP_Bot con el ordenador para su programación y depurado. Dispone de dos led, uno para comunicar que

recibe la alimentación y otro para indicar que se está produciendo una transferencia en serie.

La GPBot dispone de una serie de sencillos programas para aprender su funcionamiento, también cuenta en su página [9] con un manual de usuario y programación.

Situando la GPBot encima del soporte anteriormente mostrado, el robot ITO-I queda operativo.



Figura 9: Robot ITO-I

La realización de una segunda versión de este proyecto surge de la necesidad de realizar una plataforma modular con ciertos sensores ya integrados, de esta manera no es necesario que el usuario tenga una base cuando empiece a usarlo. Una de las primeras mejoras que se ha tenido en mente ha sido la de eliminar el chasis, se pretende con esto que el propio chasis sea la placa, y en ella añadir directamente las ruedas dando un resultado más compacto y una reducción de costes. Destacar también entre las mejoras necesarias simplificar el modo de programación y realizar una interfaz con la que el usuario pueda poner en funcionamiento el robot sin necesidad de conocer el código de programación.

2.2 Estudio previo de tecnologías

Lo primero que se expone en este apartado es el microcontrolador, imprescindible en cualquier sistema electrónico con el que se pueda interactuar, comenzando por una introducción al concepto de microcontrolador para más adelante definir las características del modelo utilizado para este proyecto. En el segundo sub-apartado se incluye el estudio realizado de los sensores y actuadores que se ha llevado a cabo para la selección de los integrados.

2.2.1 Microcontrolador

2.2.1.1 ¿Qué es?

Un microcontrolador es un circuito integrado en el que se puede grabar en la memoria un programa realizado en ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores. Un microcontrolador está formado por tres unidades funcionales principales: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida. La unidad central de procesamiento se encarga de ejecutar una a una y de manera secuencial las instrucciones del programa guardado en memoria, para ello precisa de una señal de reloj que marca el tiempo que tarda en ejecutarse cada instrucción. El microcontrolador tiene unos pines que lo comunican con el exterior. A través de estos pines y del programa cargado, el microcontrolador puede interactuar con el exterior, pudiendo establecer una comunicación con otros dispositivos mediante distintos protocolos de comunicación, leer sensores, pulsadores, encender y apagar leds, controlar motores, etc.

Además de la zona de memoria donde se guarda el programa, el microcontrolador también dispone de una zona de memoria volátil llamada SRAM, esta memoria se borra cuando se desconecta de la alimentación. Esta memoria sirve para agilizar el acceso a los datos, en ella se guardan aquellos que se usan frecuentemente ahorrando el tiempo y la búsqueda a la memoria principal.

2.2.1.2 Descripción del Microcontrolador: Atmega32u4 [10]

La decisión de integrar este modelo de microcontrolador de 8 bits y encapsulado TQFP-44 perteneciente a la empresa Atmel [11] se basa en varios factores, a continuación se exponen los más destacados.

Este microcontrolador se caracteriza por un bajo consumo y por disponer de conexión USB, esto hace que no sea necesaria la conversión serie/USB, permitiendo dejar el puerto serie libre para programación y evitar conflictos de programación de periféricos con este puerto.

Dispone de hasta 12 canales de conversión de 10 bit (A/D), interfaz JTAG, una memoria flash de 32KB, 1KB de memoria EEPROM, 26 entradas/salidas programables, 8 canales PWM, una frecuencia máxima de reloj de 16 MHz, un amplio margen de temperatura de funcionamiento (-40°/85°) y entrada de alimentación (2.7V y 5.5V). Además se puede programar mediante USB, gracias al bootloader (programa de arranque que se encarga de dejarlo todo preparado para la ejecución), permitiendo actualizar el programa cargado sin necesidad de un programador.

Mencionar también que cumple con todos los requisitos necesarios para la realización del proyecto además de permitir un diseño sencillo y económico.

Por último y no menos importante, este microcontrolador ya ha sido probado en el grupo HCTLab, por ello se cuenta ya con prototipos en los que ha respondido correctamente y sirven de apoyo en un primer contacto con el microcontrolador.

A continuación se muestra el microcontrolador con la distribución de pines.

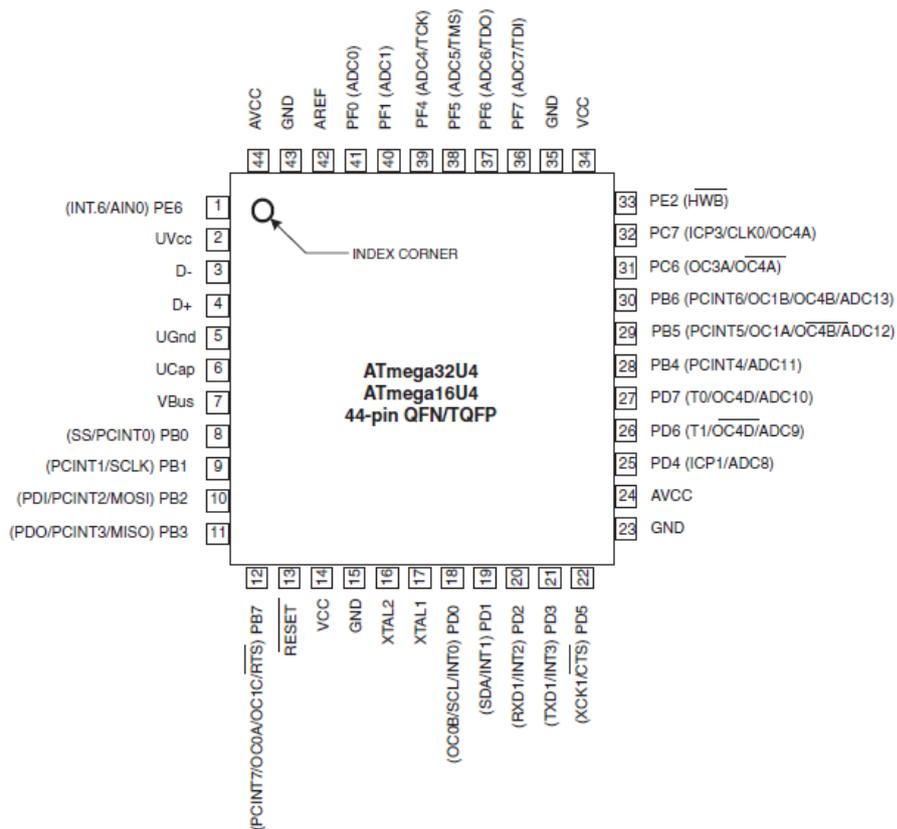


Figura 10: Distribución de pines Atmega32U4

- Los pines Vcc, AVcc, UVcc, AGND, UGND y GND son los pines de alimentación del microcontrolador, por lo que a través de ellos se alimenta al microcontrolador.
- Los pines XTAL1 y XTAL2 se utilizan para conectar un cristal externo y que el microcontrolador pueda generar la señal de reloj necesaria para su funcionamiento.
- D- y D+ se usan para establecer la comunicación con el puerto USB del ordenador.
- El pin AREF establece una tensión analógica de referencia para el convertor analógico digital.
- El resto de los pines (PCx, PDx, PFx y PBx) son los puertos de entrada/salida del microcontrolador y pueden realizar una o varias funciones, serán entradas o salidas dependiendo de cómo se configuren en el programa. Además, algunos de estos pines estarán asociados al convertor analógico/digital (ADC), a las salidas de los timers (contadores) y a los módulos hardware de comunicación que hay dentro del microcontrolador. A través de ellos se puede establecer una comunicación con otros dispositivos mediante distintos protocolos (RS232, I2C/TWI, SPI, etc.).

La memoria está organizada en posiciones de 8 bits, a cada conjunto de 8 bits (un byte) se le asigna una dirección de memoria. Esta dirección es utilizada por el programa grabado en el microcontrolador para leer o escribir y así, poder utilizar y almacenar información.

La memoria del microcontrolador se divide en varios tipos de memorias:

La memoria Flash de 32 Kbytes se utiliza para almacenar el programa que se debe ejecutar de manera secuencial. Esta memoria no se pierde cuando se desconecta la alimentación del microcontrolador y no puede ser modificada mientras se ejecuta el programa.

A continuación de la memoria Flash se encuentra el resto de memorias, 32 conjuntos de 8 bits (32 bytes) que van de la dirección 0x00 a la 0x1F y se corresponden con unos registros de acceso rápido que utiliza la CPU durante la ejecución del programa. En la dirección 0x20 comienzan los registros que van a configurar y controlar el funcionamiento de los pines del microcontrolador y el funcionamiento de los distintos módulos hardware (ADC, timer, etc.) que se pueden encontrar en el interior de éste.

En la dirección 0x100 está la memoria SRAM, ésta es una memoria volátil, es decir, la información que contiene se pierde cuando se desconecta la alimentación. Se utiliza para almacenar variables, ya que se puede modificar durante la ejecución del programa.

Por último se encuentra 1 Kbyte de memoria EEPROM, es una memoria en la que se puede leer y escribir mientras se ejecuta el programa, y que almacena la información aunque no se alimente al microprocesador.

2.2.2 Estudio de los sensores y actuadores

Tras realizar un estudio del mercado y ver todas las posibilidades que ofrece, se ha profundizado en una serie de sensores que se han considerado interesantes para el proyecto.

2.2.2.1 Sensor de posición

Se quiere incorporar un sensor capaz de detectar objetos con los que pudiera colisionar el robot. Para ello, se ha estudiado los siguientes tipos de tecnología: LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), ultrasonido e infrarrojo.

2.2.2.1.1 LASER

Los sensores láser combinan las ventajas de la alineación de un haz de detección visible con el mayor alcance de detección de un láser (hasta 200 metros con una precisión de milímetros).

Sus principales ventajas son su eficiencia, su pequeño tamaño, la relación entre su coste y las prestaciones que ofrece, su consumo y la modulación de la radiación emitida.

Los posibles usos del láser son casi ilimitados y se ha convertido en una tecnología valiosa en muchos campos [12].



Figura 11: LASER

2.2.2.1.2 Ultrasonido

Emiten ondas sonoras cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano, aproximadamente 20 kHz, y en la práctica pueden llegar, incluso, a los GHz.

El funcionamiento de estos sensores está basado en el concepto del tiempo de vuelo, en el cual, la distancia se calcula midiendo el tiempo de retorno de la onda y conociendo la velocidad del sonido.

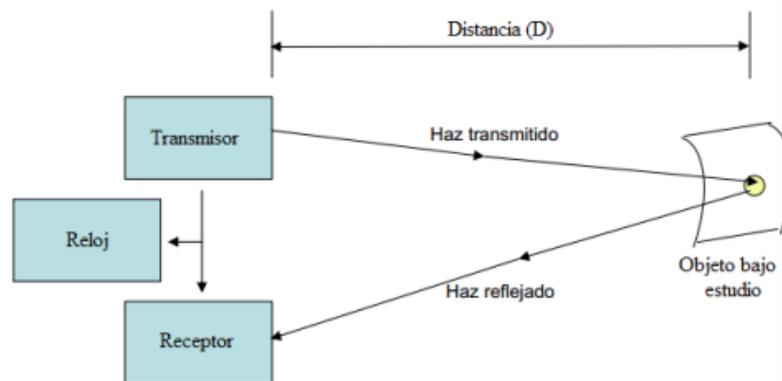


Figura 12: Esquema de funcionamiento de un sistema basado en tiempo de vuelo

Su principal ventaja es que es capaz de detectar materiales traslucidos que la tecnología laser no es capaz de detectar, como el cristal, plástico transparente, agua...

En la figura 13 se puede ver el emisor y el receptor de ultrasonidos, que captarán los objetos que se encuentren dentro de su apertura angular.

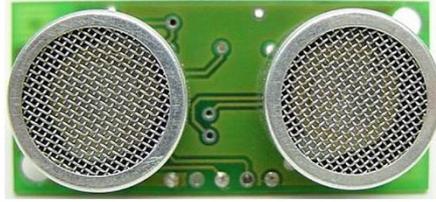


Figura 13: Ultrasonido

2.2.2.1.3 Infrarrojo:

Estos sensores presentan en la misma cara un emisor y un receptor infrarrojo, de esta forma el sistema permite medir la radiación proveniente del reflejo de la luz emitida por el emisor infrarrojo. Esta configuración es sensible a la luz ambiente y al coeficiente de reflexión del objeto.

Estos sensores están diseñados para la detección, clasificación y posicionamiento de objetos de diferentes formas, colores y superficies.



Figura 14: Sensor de posición infrarrojo

2.2.2.2 LEDs

Los LEDs (Light Emitting Diode), también conocidos como diodos luminosos, son semiconductores capaces de emitir una radiación en forma de luz.

Pueden tener múltiples utilidades: desde avisar cuando se supera un umbral o se detecta un obstáculo hasta de depurador.

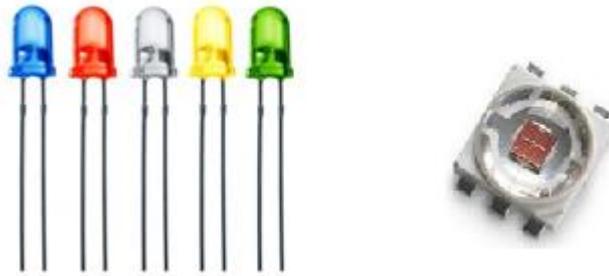


Figura 15: LEDs de colores

2.2.2.3 Fotoresistor

Los fotoresistores se usan para detectar el nivel de luz del entorno y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Incluyen un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y pueden incluir una electrónica asociada con el objetivo de condicionar, compensar y formatear la señal de salida.

También son conocidos como LDR (Light Dependant Resistor), debido a que son dispositivos capaces de variar su resistividad dependiendo de la luz que incide en la superficie del receptor.

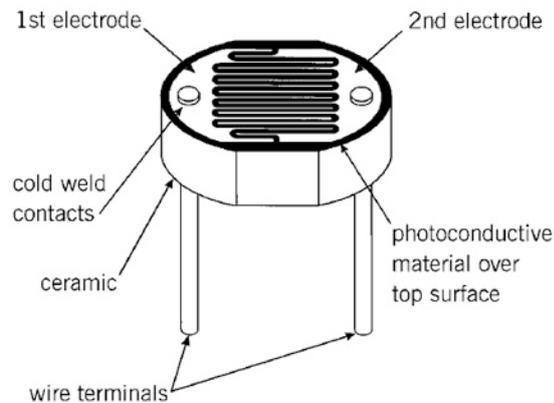


Figura 16: LDR

2.2.2.4 Zumbador

El zumbador o buzzer, es un mecanismo de señalización o aviso que emite un sonido o zumbido continuo de un mismo tono, en algunos casos programable a través de la frecuencia del pulso de entrada.

Se basa en un disco formado por una placa cerámica con una capa metálica. Si el disco es controlado por un circuito oscilante externo se denomina transductor piezoeléctrico, si por el contrario el circuito oscilador está incluido en la carcasa se denomina zumbador piezoeléctrico.

Normalmente emiten en las frecuencias más comunes entre 2000Hz y 5000Hz.



Figura 17: Buzzers

2.2.2.5 Infrarrojo de corto alcance

Se quiere incorporar un sensor capaz de realizar la funcionalidad de seguidor una línea negra, aunque se puede realizar con otro tipo de sensores que no sean los infrarrojos de corto alcance (menos de 5cm), éstos son lo más económicos.

El funcionamiento se basa en detectar cambio de reflectividad mediante una emisión de radiación infrarroja (fotodiodo) y un detector (fototransistor). El emisor emite un haz, y el fototransistor recibe la reflexión de éste tras ser reflejada en una superficie. La salida de los sensores se puede tratar tanto digital como analógicamente, en el primer caso se diferencia el color negro del resto, debido a que absorbe casi todo el haz emitido y, en el segundo caso, se es capaz de diferenciar más colores.

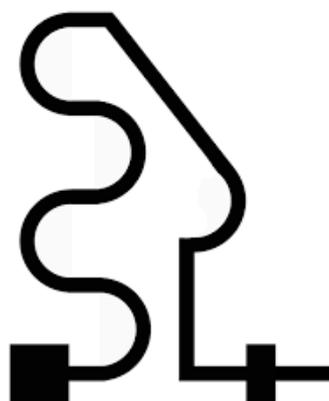


Figura 18: Circuito para seguidor de línea

2.2.2.6 Motorreductor

Un motorreductor reduce la velocidad de giro del motor y aumenta el par que es capaz de mover.

El funcionamiento se basa en la utilización de varios engranajes que ralentizan la velocidad de la rueda de la salida, a continuación se muestra un ejemplo:

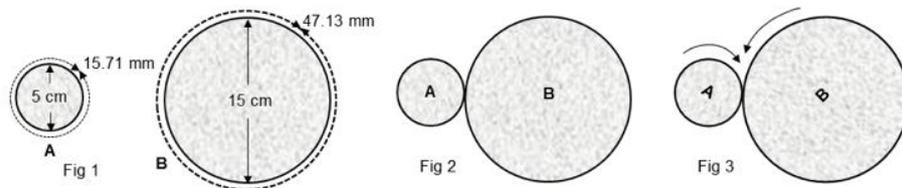


Figura 19: Mecanismo de funcionamiento de un motorreductor

En la tercera representación de la figura 19 se puede ver como la rueda A pone en funcionamiento a la rueda B, aunque para lograr que la rueda B de una vuelta completa es necesario que la rueda A de tres vueltas. El número de vueltas se puede calcular dividiendo el radio de la rueda mayor entre el de la rueda menor, este número 3 es la relación de reducción del motorreductor y se indica como 3:1.

Con este ejemplo se ha conseguido reducir la velocidad de la rueda B a la tercera parte de la de A. Para continuar disminuyendo la velocidad se pueden encadenar ruedas adicionales hasta dónde sea necesario para la aplicación. Con este sistema no sólo estaremos disminuyendo la velocidad si no también aumentando “el par” o “torque” (fuerza de giro).

Cada motor funciona a una determinada potencia en HP y a velocidad expresada en RPM, estas dos características determinan el torque del motor. El torque delimitará cuánta carga y a qué velocidad podremos girarla. Ambas características están interrelacionadas, a continuación se muestra la fórmula para el cálculo del torque.

$$\text{PAR (en kg-m)} = \frac{\text{POTENCIA (en HP)} \times 716}{\text{VELOCIDAD DE GIRO DEL REDUCTOR (RPM)}}$$

Figura 20: Fórmula de cálculo del Torque o par

2.2.2.7 Encoder

Un encoder es un dispositivo electromecánico capaz de convertir la posición angular de un eje a un código digital. Con ello se puede obtener la posición angular y la distancia recorrida. Existen de diferentes tipos:

- **Encoder absoluto:** Se caracteriza por conservar sus datos de posición durante la pérdida de alimentación eléctrica. Es una excelente opción en sistemas que requieren operación a prueba de fallos. Si se trata de un encoder de 256 posiciones, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares en las que se codifica en código Gray o binario la posición.

El inconveniente es la cantidad de líneas que es necesario leer y conectar y que, debido a la complejidad del disco óptico que codifica las posiciones la resolución no suele ser muy elevada.

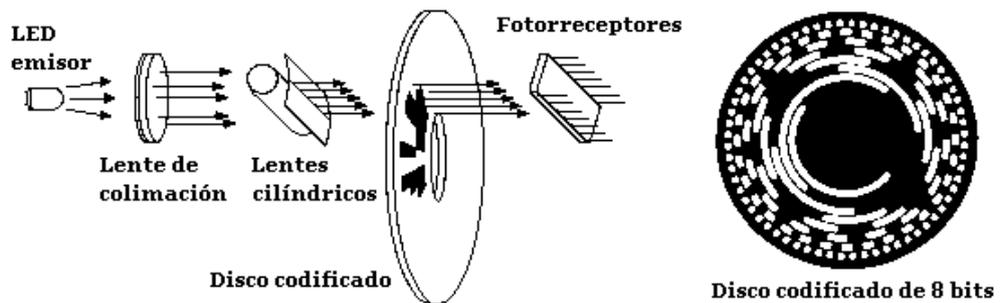


Figura 21: Encoder absoluto con codificación Gray

- **Encoder óptico incremental:** Produce una salida digital relacionada con la posición de un eje giratorio, es decir, la señal de salida transmite un pulso por cada ángulo girado. Un ejemplo de esto sería que un determinado encoder que tenga 1000 pulsos por rotación quiere decir que se tiene un pulso cada 0.36° ($360^\circ/1000$). Pueden ser de dos tipos dependiendo el número de canales de salida que tenga.

- Unidireccionales: Utilizados siempre que no sea necesario conocer la dirección de rotación del eje.
- Bidireccionales: Tienen dos canales de salida desfasados y son capaces de detectar el sentido de rotación

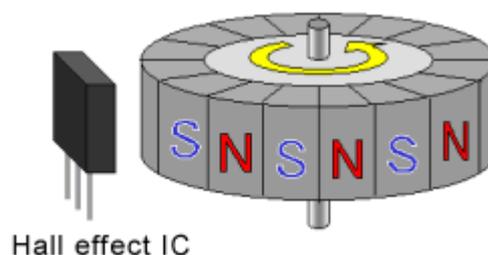


Figura 22: Encoder incremental efecto Hall

2.2.2.8 Pulsador

Está constituido por una lámina conductora que establece contacto con los dos terminales al oprimir el botón, permitiendo el flujo de corriente. Además, posee muelle que hace recobrar a la lámina su posición de reposo al cesar la presión sobre el botón pulsador. Su principal función es activar funcionalidades en aparatos eléctricos y electrónicos.



Figura 23: Pulsadores

2.2.2.9 Driver motor

Es un controlador que permite al microcontrolador manejar motores. Dependiendo del driver y de las necesidades, un driver puede controlar el inicio y la detección del motor, el sentido de la rotación (hacia adelante o hacia atrás), la selección/regulación de la velocidad, la regulación o limitación del torque y la protección contra sobrecargas y fallos. Es un buen complemento para aplicaciones de robótica.



Figura 24: Driver de motor

2.2.2.10 LCD Screen

Un LCD (Liquid Crystal Display) es un visualizador pasivo (no emite luz por sí mismo) de muy bajo consumo.

Cada fila o columna de la pantalla tiene un solo circuito eléctrico, donde cada pixel se dirige a la vez por direcciones de fila y de columna. Cuando el pixel recibe tensión de alimentación no refleja la luz y aparece en la pantalla un pixel oscuro, en caso contrario no se verá nada.

Este tipo de pantalla se conoce como matriz pasiva–dirigida debido a que entre cada periodo de refresco el píxel debe conservar su estado sin la necesidad de una carga eléctrica constante. A medida que el número de columnas y filas se incrementa, el contraste disminuye y el tiempo de respuesta aumenta.



Figura 25: LCD Screen

2.2.2.11 Sensor temperatura

Un sensor de temperatura es un dispositivo capaz de transformar un cambio de temperatura en una señal que posteriormente es procesada. Existen diferentes tipos de sensores de temperatura, entre ellos destacan:

- **Termopar:** Basa su funcionamiento en la producción de un voltaje del orden de los milivoltios dependiente de la diferencia de temperatura entre su extremo frío y su extremo caliente. Entre sus principales ventajas se encuentra un amplio rango de medida y su bajo coste, como desventaja hay que mencionar que su precisión no es alta.
- **Termistor:** Está basado en una resistencia variable en función de la temperatura. Existen los termistores tipo NTC, cuya resistencia disminuye al aumentar la temperatura y los termistores tipo PTC, en los que la resistencia aumenta con la temperatura. Sus principales desventajas son su compleja calibración y su salida no lineal.
- **RTD:** Es un sensor basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Como conductores se usan metales como el platino, el cobre, el níquel o el molibdeno, siendo el más utilizado por su mayor linealidad, rapidez y rango de temperaturas el platino. De entre los tres tipos de sensores de temperatura, sin duda éste es el que ofrece una mayor precisión, y por consiguiente el más costoso.

Un sensor de temperatura está formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores y la cubierta que lo envuelve, rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente.



Figura 26: Sensores de temperatura

2.2.2.12 Sensor acústico

Este sensor permite medir el nivel de decibelios del ambiente, y en caso necesario, actuar a través de un controlador. También es capaz de discriminar tonos.

Su funcionamiento es el de un transductor, es decir, transforma una señal acústica como es el sonido a otra eléctrica.

Se clasifican en tres tipos diferentes:

- **Capacitivos:** El micrófono de condensador está formado por una membrana llamada diafragma. Sus movimientos respecto a una placa fija y paralela a ella determinan las variaciones de la capacidad eléctrica de un condensador que se derivan en variaciones de tensión. Este tipo de micrófono se caracteriza por el bajo nivel de ruido y tener una adecuada sensibilidad acústica. Sus principales inconvenientes son la susceptibilidad para la humedad y la pequeña capacidad de salida.
- **Piezo-eléctricos:** Este tipo de micrófono utiliza la fuerza producida por la presión del aire para deformar un material piezoeléctrico que a su vez, genera carga eléctrica. Este micrófono es muy robusto mecánicamente aún cuando tiene una sensibilidad acústica más baja.
- **Electrodinámicos o de bobina móvil:** Este sensor utiliza la velocidad comunicada al diafragma por la presión sonora para inducir una fuerza electromotriz en la bobina móvil que se halla en el interior de un campo magnético. Su ruido interno es muy bajo,

por contra la respuesta en frecuencia no es muy buena y es sensible a campos magnéticos externos y vibraciones.

La integración de este tipo de sensores en un robot aporta tres utilidades principalmente:

- Controlar que el ruido ambiente no supere ciertos decibelios.
- Recibir órdenes a través de sonidos (palabra o tonos).
- Determinar la dirección de estos sonidos.

Las dos últimas opciones dotan al robot de gran capacidad para interactuar con el medio.

Se considera un sensor muy útil y con múltiples funcionalidades. Está presente en muchas estructuras, especialmente en sistemas de alarma y domótica, lo que lo hace cercano al usuario.



Figura 27: Sensor de sonido

2.2.2.13 Sensor acelerómetro de 3 ejes

Un acelerómetro es un sensor capaz de medir la aceleración con relación a un estado de caída libre (la única fuerza que interactúa es la gravedad). Por poner un ejemplo, un acelerómetro en reposo sobre la superficie de la Tierra mide una aceleración de -9.81 m/s^2 . Por el contrario, un acelerómetro en caída libre mide 0 m/s^2 .

Existen tres tipos de acelerómetros:

- **Piezoeléctricos:** Son los más comunes. Su funcionamiento se basa en la carga eléctrica, proporcional a la fuerza, producida al comprimir un retículo cristalino.
- **De condensador:** Miden el cambio de capacidad eléctrica de un condensador mediante una masa sísmica (masa suspendida mediante un mecanismo elástico) situada entre las placas del mismo, que al moverse hace cambiar la corriente que circula entre las placas del capacitor.
- **De efecto Hall:** Utilizan un imán de masa sísmica y un sensor de efecto Hall que detecta cambios en el campo magnético

Un acelerómetro de tres ejes es capaz de medir la aceleración a lo largo de tres ejes en el espacio X, Y y Z. Modelos de uno y de varios ejes detectan la magnitud y dirección de la aceleración o

fuerza g como una cantidad vectorial y, se pueden utilizar para detectar la orientación (a través de los cambios de peso), coordenadas de aceleración, vibraciones, golpes...

Los acelerómetros son cada vez más presente en dispositivos electrónicos portátiles y dispositivos de juego, para detectar la posición del dispositivo.

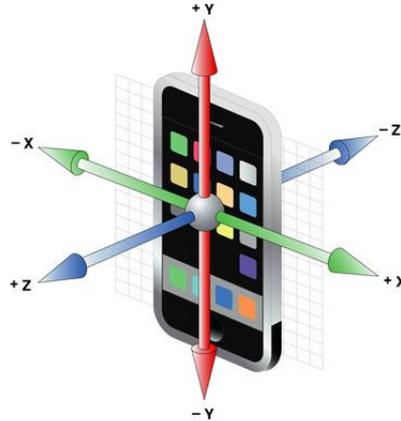


Figura 28: Acelerómetro aplicado a dispositivos de telefonía

2.2.2.14 Regulador de tensión

Su principal misión en este proyecto es la de mantener la salida de tensión constante y proteger al micro para que no reciba más voltaje del que puede soportar. Pueden ser de dos tipos:

- **Regulador en serie o lineal:** Controla la tensión de salida mediante un ajuste continuo de la caída de voltaje, esto lo hace mediante un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada y la carga. Son más sencillos que los conmutados, pero por el contrario su eficacia es bastante menor.
- **Conmutados:** Se utiliza un transistor de potencia como conmutador de alta frecuencia para transferir la energía desde la entrada a la carga. Esta energía es transformada mediante un filtro inductivo y capacitivo a una corriente continua. Este tipo de reguladores consume menos potencia al trabajar el transistor fuera de su región lineal. Entre sus ventajas también está su reducido tamaño y su ligero peso, por el contrario tiene un precio más elevado que el de los reguladores lineales. Son muy comunes en ordenadores, electrodomésticos, reproductores de DVD donde prima una alta eficacia y un tamaño reducido..

Después del amplificador operacional, el reguladores de tensión es el circuito integrado más usado.

2.2.2.15 Reproductor de sonido

La incorporación de un reproductor mp3 permite la reproducción tanto de instrucciones (avisos de que el robot se está saliendo de la línea, o que se ha superado algún umbral), como avisos sonoros con diferentes melodías.

Para lograr esta funcionalidad se puede recurrir a un módulo en el que venga todos los dispositivos necesarios integrados o bien realizar un montaje. Ambas opciones necesitan un zócalo donde insertar una tarjeta mini-USB en la que se almacenaran las grabaciones y un decodificador Mp3 para permitir la reproducción de las grabaciones.

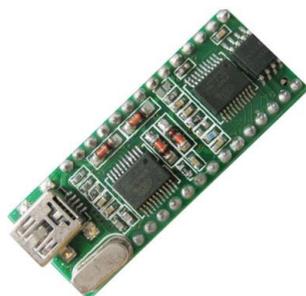


Figura 29: Integrado reproductor de sonido

2.2.2.16 Sensor infrarrojo para mando universal

La finalidad de este sensor es la recepción de señales enviadas por el mando universal para manejar el robot a distancia.

Cada vez que se pulsa un botón la orden es codificada y enviada para su recepción en el infrarrojo. Por cada botón del mando se tiene una codificación distinta. Cada fabricante puede usar la codificación y las órdenes que quiera, incluso uno distinto por cada modelo de mando a distancia que fabrican. Para simplificar el proceso se ha creado un protocolo común utilizado por muchos fabricantes, los mandos con este protocolo reciben el nombre de mando universal.



Figura 30: Sensor infrarrojo

2.2.2.16.1 Fuente de alimentación

Se puede alimentar el robot de múltiples formas, a continuación se describen las más comunes que permite este microcontrolador:

- Fuente externa de alimentación
- MiniUSB
- Transformador portátil
- Batería
- Pilas

La fuente externa de alimentación aporta mayor control de la intensidad consumida por el circuito y la posibilidad de controlar muy fácilmente el voltaje de salida.

Los métodos mini-USB y transformador son manejables, pequeños, ofrecen una salida fija y la posibilidad de trabajar en prácticamente cualquier sitio. Destacar como ventaja del transformador que es independiente y no necesita terceros aparatos y, como ventaja del mini-USB que ya está incorporado para la programación, por lo tanto no supone un gasto extra.

Por último, es importante considerar que para movimientos del robot de más de unos pocos centímetros, los cables de los tres métodos finales son un obstáculo. Es conveniente considerar la incorporación bien una batería o de un soporte de pilas. Ambos métodos son muy similares en características aunque el precio de las baterías es considerablemente mayor.



Figura 31: Fuentes de alimentación

3 Desarrollo

3.1 Introducción

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado dos programas: Altium Designer (proporcionado por el HCTLab) y Atmel Studio (disponible en la página oficial).

Destacar también que las primeras pruebas de sensores y el aprendizaje para el uso del microcontrolador y del Atmel Studio se realizó con una placa realizada en otro PFC [13]. Esta placa fue diseñada para ser el primer diseño del módulo principal de otro proyecto, además de servir de prueba y testeo de componentes a proyectos posteriores como este antes del diseño propio.

Se trata de una placa básica en la que se facilita el acceso a los pines, y que cuenta con utilidades como mini-USB, alimentación, 3 pulsadores, dos LEDs y acceso ISP. Se muestra a continuación:

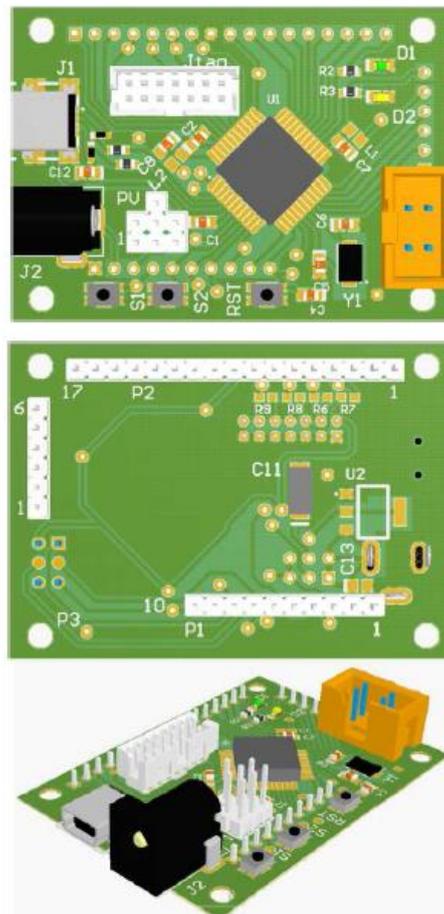


Figura 32: Placa de aprendizaje

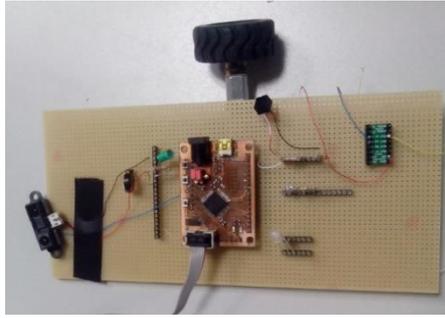


Figura 33: Testeo de componentes

3.1.1 Altium

Altium Designer es una herramienta de diseño electrónico en todas sus fases y para todas las disciplinas (esquemas, simulación, diseño de circuitos impresos, implementación de FPGA y desarrollo de código para microprocesadores). Esta herramienta combina usabilidad, precisión, opciones de visualización 3D y múltiples opciones avanzadas que facilitan el diseño y la verificación del mismo.

Se han diseñado en él completamente las placas de ambos prototipos. Se ha integrado cada sensor con su correspondiente footprint (espacio reservado en la placa para cada componente), algunos los facilita las librerías de Altium, otros es necesario realizarlos a partir de las medidas de los datasheet. Tras incorporar todos los elementos y completar el diseño, se ha rutado manualmente la placa y exportado los documentos para su fabricación.

3.1.2 Atmel Studio

Es una plataforma de diseño integrado para desarrollar y depurar programas en varios tipos de lenguajes: C, C++ o código ensamblador.

Para este proyecto, la parte de software ha sido desarrollada a través de esta plataforma. El programa ha sido realizado en C y consiste en una serie de instrucciones para darle funcionalidad al robot y así, hacerlo utilizable desde el primer momento al usuario.

3.2 Selección de los sensores y actuadores

Tras realizar un estudio y analizar todas las posibilidades que ofrece el mercado, se define una lista con todas las opciones en cuanto a la incorporación de sensores y otros dispositivos necesarios de la placa. De ella salen dos sub-listas de posibles dispositivos para integrar en el proyecto. La primera incluye aquellos que desde un principio se han considerado que debían estar incluidos en el prototipo final, puesto que se estiman básicos para el aprendizaje de la robótica

La segunda lista está formada por aquellos en los que bien por su uso, su integración, coste o su difícil testeo pueden no formar parte del prototipo final, aun siendo interesantes en algún aspecto para el proyecto.

Principales	Secundarios
Sensor de posición	LCD Screen
LEDS	Sensor temperatura
Sensor de luz	Sensor ruido
Zumbador	Reproductor de sonido
Infrarrojos de corto alcance	Sensor infrarrojo para mando universal
Motores	
Encoder	
Pulsadores	
Driver motor	
Alimentación Fuente/USB	
Acelerómetro/giroscopio	
Holder Battery 4AA	
Regulador Buck-Boost	

Tabla 1: Dispositivos principales y secundarios

En los siguientes apartados se describirá cada uno de ellos y el modelo seleccionado de cada tipo.

3.2.1 Sensores principales

3.2.1.1 Sensor de posición

El objetivo de este sensor será detectar obstáculos en la posición frontal del robot. Se ha incluido un modelo GP2D150A [14] con salida analógica y un rango de detección entre 4-30 cm, aunque fácilmente se podría sustituir por otro modelo de salida digital.



Figura 34: Sensor de posición GP2D150A

3.2.1.2 LEDs

Se ha optado por incorporar dos tipos de LEDs, dos superficiales de encapsulado 0805, uno rojo y otro verde, y un LED RGB (Red, Green, Blue) modelo LF5WAEMBGMBW [15].



Figura 35: LED RGB LF5WAEMBGMBW

3.2.1.3 Sensor de luz

El modelo incorporado de LDR ha sido el NSL-19M51 [16]. Ese modelo destaca por un gran ancho espectro de respuesta, un bajo coste y que funciona a un gran rango de temperaturas. El valor de la resistencia equivalente oscila entre $20\text{ K}\Omega$ (si detecta máxima incidencia de luz) y $20\text{ M}\Omega$ (en máxima oscuridad).

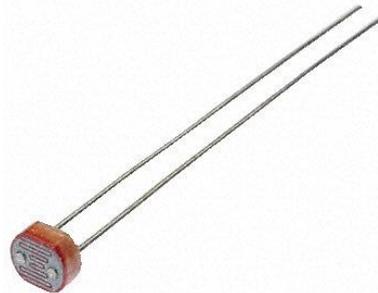


Figura 36: LDR NSL-19M51

3.2.1.4 Zumbador

Se ha optado por un transductor piezoeléctrico modelo KMTG1003-F [17]. Este sensor se ha incorporado con una finalidad parecida a la de los LEDs, ya que actúa de alarma, aunque como valor añadido tiene que la frecuencia del zumbido es programable. Para ello, se ha utilizado PWM (Pulses Width Modulation), es decir, la modulación por ancho de pulso, que permite modificar los pulsos de entrada a este sensor de modo que emita a la frecuencia deseada.



Figura 37: Zumbador KMTG1003-F

3.2.1.5 Infrarrojo corto alcance

Se ha decidido integrar el modelo CNY70 [18], el cual se utiliza para detectar obstáculos en distancias muy cortas, colores y superficies. Para decidir el número de sensores a incorporar se ha llegado a la conclusión de que un solo sensor sería insuficiente (no es posible saber por dónde se ha salido el robot y por tanto no podrá volver a la línea), y con más de tres sólo con se conseguiría encarecer y complica el prototipo, por lo tanto la mejor opción sería incorporar dos o tres sensores. Se ha optado por dos, ya que se consideran suficientes para desempeñar la función de seguidor de línea. Situándolos en paralelo aportan la información necesaria para corregir la dirección en caso de comenzar a salirse de la trayectoria marcada, si el de la derecha continúa en la línea y el otro no, se debe corregir la dirección hacia el primero y viceversa.



Figura 38: Infrarrojo de corto alcance CNY70

Este sensor requiere de un circuito de acondicionamiento basado en dos resistencias para una correcta polarización. A continuación, en la figura 39 se puede ver este circuito.

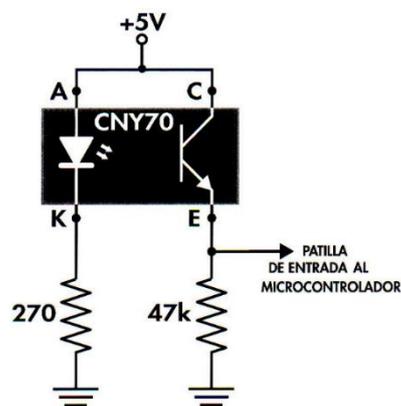


Figura 39: Circuito de acondicionamiento del sensor CNY70

Se trata de un sensor con salida analógica por lo que se ha utilizado un conversor ADC para su correcta integración.

3.2.1.6 Motorreductor

Se ha decidido incorporar dos motores de la marca Pololu [19], concretamente el modelo 2218[20]. Estos motores están diseñados para funcionar a 6V, aunque pueden operar entre los 3 y los 9V, por debajo de este voltaje mínimo no se consideran útiles y por encima podría afectar a la vida útil del motor. A 6V alcanza una velocidad de 100 RPM y su par es de 5 kg-cm.

Este motor es de la gama de alta potencia con una reductora de 298:1. Cuenta con un eje extendido para facilitar la incorporación de un encoder.

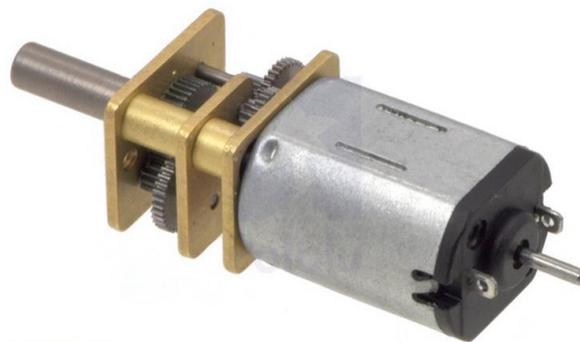


Figura 40: motorreductor 298:1

Se ha optado por la sujeción que aconseja el fabricante, que permite un montaje de manera sencilla y segura. En la figura número 41 se muestra el anclaje y cómo éste puede colocarse tanto por arriba como por debajo de la placa. [21]



Figura 41: Anclaje del motor a la placa

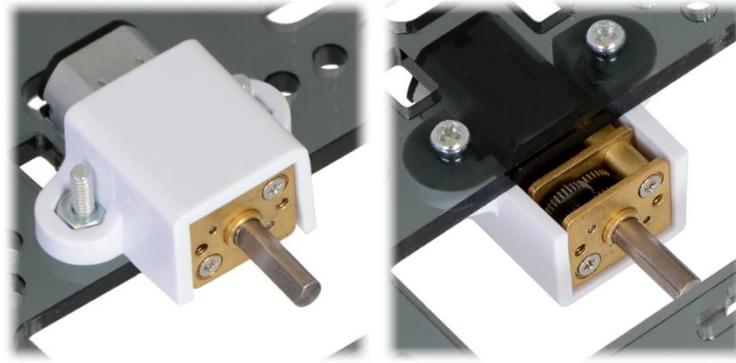


Figura 42: Montaje motor con anclaje

Las ruedas facilitadas por el fabricante [22], son neumáticas de 42mm de diámetro y que se ajustan a presión al eje de 3mm.



Figura 43: Montaje motor con rueda

La tercera rueda tiene la función de giro y dar estabilidad al sistema. Se ha optado por una rueda de metal de la marca Pololu como la que se muestra en la figura 44.



Figura 44: Rueda de giro

3.2.1.7 Encoder

Se ha seleccionado el Kit encoder incremental de la marca Pololu [23] basado un disco y un sensor dual de efecto Hall (sensor que mide campos o corrientes magnéticas) que opera desde 2.7 a 18V y cuyas salidas son digitales y se pueden conectar directamente al microcontrolador.

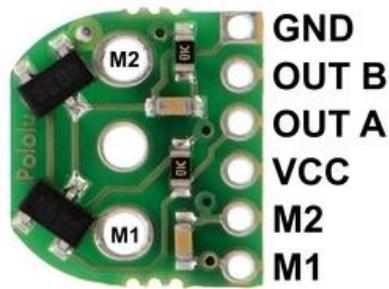


Figura 45: Kit encoder Pololu

Cada placa tiene un sensor hall dual y seis cambios de polaridad. El sensor hall detecta cada vez que uno de los cambios sucede. Como el sensor es dual, cada cambio es detectado dos veces en un intervalo muy corto de tiempo, lo que hace posible saber además de la velocidad la dirección. Por todo esto se obtiene una resolución de 12 pulsos por vuelta del eje. En la figura 46 se muestra una imagen clarificadora del funcionamiento del encoder.

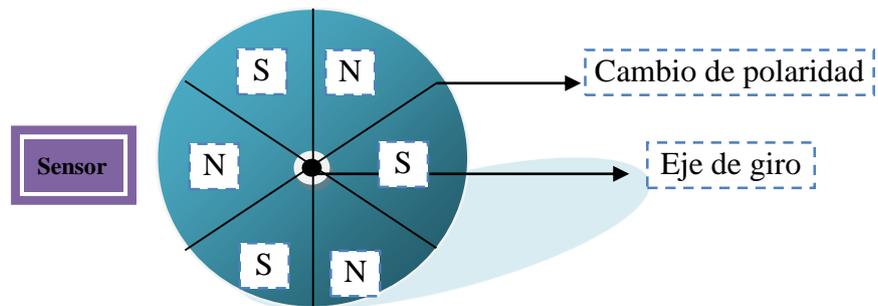


Figura 46: Explicación gráfica encoder

Cada disco está formado por 6 polos (3 norte y 3 sur) y cada pulso de salida está formado por dos cambios de polaridad, es decir, al detectar el primer cambio realiza el flanco de subida, y con el segundo el flanco de bajada, completando así el pulso.

Las salidas A y B para un motor alimentado a 6V serían como se muestran la la figura 47.

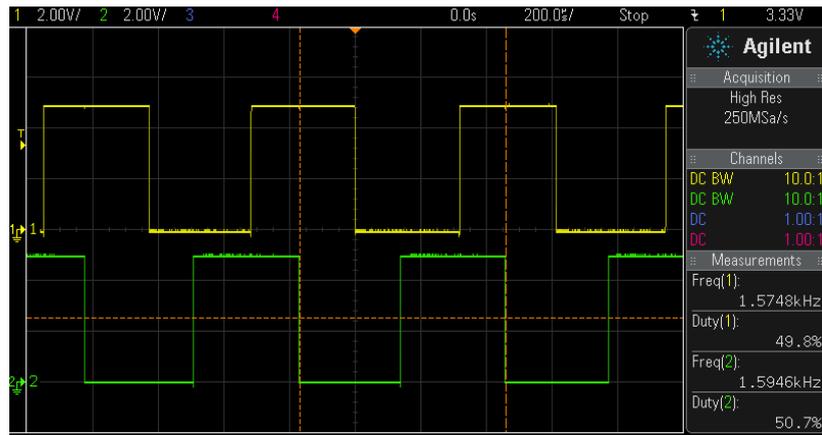


Figura 47: Salidas del encoder

En la figura 48 se muestra la integración del Kit encoder al motor.



Figura 48: Integración motor - Kit encoder

El esquema de diseño mostrado en la figura 49 expone cómo la placa es alimentada por VCC y GND y las salidas digitales corresponden a A y B, pasadas por un comparador con histéresis para evitar señales espurias si el motor se detiene cerca de un punto de transición.

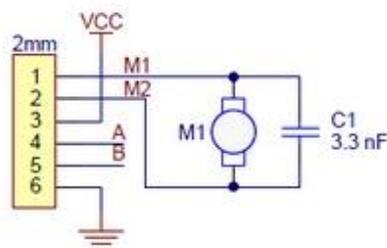


Figura 49: Esquemático Kit encoder

3.2.1.8 Pulsador

Para activar funcionalidades de la placa se han incorporado cuatro pulsadores, inicialmente uno de ellos está conectado al reset y otro permite entrar en el modo de programación de mini-USB. Los otros dos quedan libres y a disposición del programador. En este caso, estos pulsadores se conectan a los LEDs verde y rojo integrados en la placa. El modelo de pulsador seleccionado ha sido uno de Panasonic EVQ11U05R [24], destacado por su bajo coste y su adecuado tamaño.



Figura 50: Pulsador EVQ11U05R

3.2.1.9 Driver motor

Para este proyecto se han adquirido y probado dos drivers de la marca Texas Instruments, con características parecidas y ambos destacan frente a otros modelos por su bajo voltaje de bloqueo, su protección contra exceso de corriente y temperatura y su circuito de protección contra tensiones en sentido inverso.

8833 [25]	8835 [26]
Tiene un pico de corriente mayor 2 A	Salida de corriente 1.2 A (1.5 en pico) por motor
No necesita fuente de voltaje externo	Necesita un V_{cc} entre 2 y 7 V
V_{in} (2.7-10.8)	V_{in} (2-11V) → voltaje de operación mínimo más bajo
Se puede integrar un limitador de corriente mediante la adición de resistencias en los dos sentidos	Modo de control de interfaz extra
Las salidas de los motores se pueden conectar en paralelo para suministrar 2.4 A continuos a un solo motor (4 V en pico)	Las salidas de los motores se pueden conectar en paralelo para suministrar 2.4 A continuos a un solo motor (3 V en pico)
Un modo de uso: se controla la velocidad con el pulso PWM.	2 modos de uso: IN/IN (las salidas son las entradas en espejo) o PHASE/PHASE (un pin para la dirección y otro para la velocidad)

Tabla 2: Comparativa de drivers

3.2.1.9.1 Funcionamiento

8833: Tiene dos entradas de control, XIN1 y xIN2, que establecen el estado de las salidas correspondientes, xOUT1 y xOUT2. En la tabla 3 se puede ver la configuración para manejar los motores hacia delante y hacia atrás:

xIN1	xIN2	xOUT1	xOUT2	FUNCTION
0	0	Z	Z	Coast/fast decay
0	1	L	H	Reverse
1	0	H	L	Forward
1	1	L	L	Brake/slow decay

Tabla 3: Configuración de driver 8833

En la figura 51 se muestran los caminos que sigue la corriente en los diferentes modos:

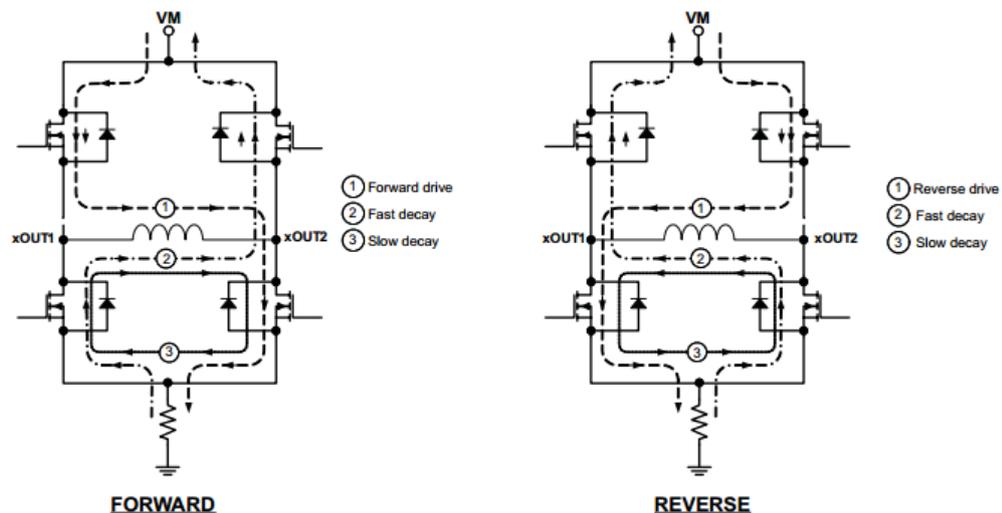


Figura 51: Modo de f sentido corrientes modo hacia delante y hacia atrás

nFault es una salida de drenaje abierto que se activa siempre que se produce una condición de sobre-corriente, sobre-temperatura o bajo voltaje. De lo contrario, se mantiene en un estado flotante, por lo que se tendrá que conectar una resistencia de polarización externa (o usar una entrada microcontrolador con su base de pull-up activado) si se desea supervisar las condiciones de fallo en el controlador.

El pin nSLEEP hace que el driver entre en modo de espera en bajo consumo si se activa a 1.

Los pines AISEN y BISEN, tiene como finalidad limitar la corriente, están conectados a tierra y no funcionan por defecto. Si se desean utilizar se deben hacer modificaciones especificadas en la hoja de características del componente.

8835:

La entrada mode es la encargada de definir en qué modo se usará el driver. Se dejará desconectado para el modo IN/IN y se deberá conectar a una resistencia pull-up o a una línea a 1 para el uso del modo fase. Las resistencias pull-up son resistencias con una configuración predeterminada para conseguir en estado de reposo un valor “high” a la salida, de esta forma se evitan falsos estados producidos por ruido eléctrico o variaciones en la alimentación. Cuando los pulsadores cierran la otra parte del circuito la corriente fluye y el voltaje es cero al quedar la salida conectada a masa. Existe una configuración parecida conocida como pull-down con funcionamiento opuesto. En la siguiente figura su pueden ver ambas configuraciones.

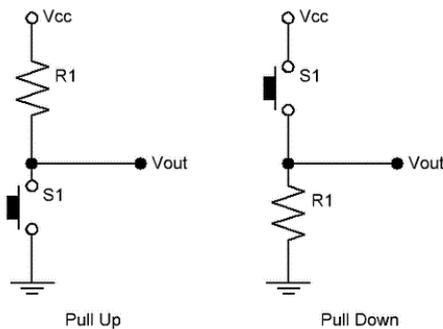


Figura 52: Configuración resistencia pull-up y pull down

A continuación se muestran las tablas con las designaciones para los diferentes movimientos:

Drive/coast or drive/brake operation with MODE=0 (IN/IN)				
xIN1	xIN2	xOUT1	xOUT2	operating mode
0	0	OPEN	OPEN	coast (outputs off)
PWM	0	PWM	L	forward/coast at speed <i>PWM</i> %
0	PWM	L	PWM	reverse/coast at speed <i>PWM</i> %
1	PWM	$\overline{\text{PWM}}$	L	forward/brake at speed $100\% - \text{PWM}$ %
PWM	1	L	$\overline{\text{PWM}}$	reverse/brake at speed $100\% - \text{PWM}$ %
1	1	L	L	brake low (outputs shorted to ground)

Tabla 4: Configuración driver 8835 (Modo 0)

Simplified drive/brake operation with MODE=1 (PHASE/ENABLE)				
xPHASE	xENABLE	xOUT1	xOUT2	operating mode
0	PWM	PWM	L	forward/brake at speed <i>PWM</i> %
1	PWM	L	PWM	reverse/brake at speed <i>PWM</i> %
X	0	L	L	brake low (outputs shorted to ground)

Tabla 5: Configuración driver 8835 (Modo 1)

El pin MOSFET se suele usar como salida, pero también es utilizado para dar alimentación a la placa si no se consiguiese suficiente potencia.

3.2.1.10 Fuente de alimentación

Se han incorporado dos sistemas de alimentación, cada uno aporta características de valor añadido. De este modo el usuario puede elegir el que más le convenga según su proyecto y posibilidades.

- **Mini USB:**

Este dispositivo aporta tanto un segundo programador como una fuente de voltaje cómoda y sencilla. El voltaje suministrado es aproximadamente de 5V, voltaje suficiente para la alimentación de la placa.



Figura 53: Mini-USB

- **Fuente de alimentación externa:**

La placa incorpora un conector con el que se puede suministrar voltaje a la placa mediante una fuente de alimentación. Este método aporta un mayor control en el voltaje suministrado, un limitador de intensidad y la capacidad de saber, mediante la fuente, la intensidad requerida por la placa en cada momento o la existencia de un corto.



Figura 54: Conector hembra fuente DC

3.2.1.11 Módulo con una IMU, una brújula digital, y un sensor de presión / temperatura barométrica.

Los sensores son accesibles a través de I2C, de este modo sólo necesitan 4 conexiones para acceder a los sensores: SDA, SCL, tierra y VCC (3.3 V o 5V). Se puede acceder a ellos de forma individual.

Los sensores por los que está formado son los siguientes:

- La IMU MPU6050[27][28]

Una IMU es un integrado de seis ejes que combina un giroscopio de tres ejes, un acelerómetro de tres ejes y un procesador de movimiento (DMP) en un pequeño encapsulado de 4*4*0.9 mm, mostrado en la figura 55.

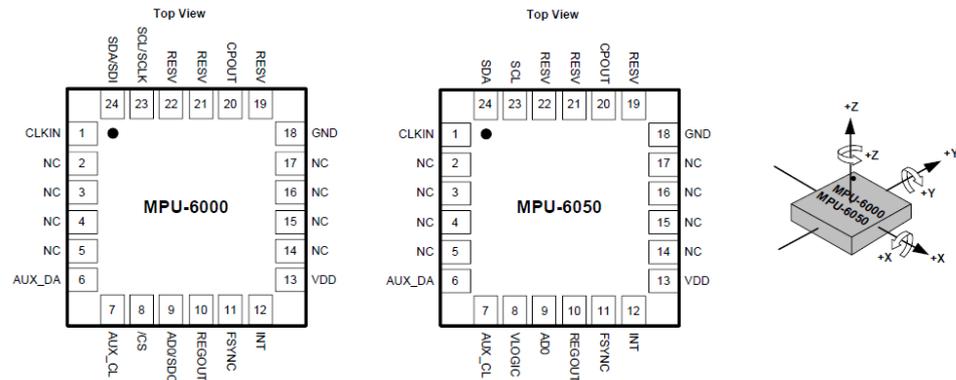


Figura 55: MPU6050

Giroscopio: Está formado por tres giroscopios independiente que detectan la rotación en los ejes X, Y y Z. Si el dispositivo es girado sobre cualquiera de los ejes el efecto de Coriolis [29] provoca una vibración detectada por una carga capacitiva. La señal resultante se amplifica, se demodula, se filtra para producir una tensión proporcional a la velocidad angular y finalmente se convierte a digital con un ADC para cada eje.

Acelerómetro: La aceleración desde un eje determinado induce el desplazamiento de la masa correspondiente. Cada eje tiene una masa independiente y los sensores capacitivos detectar el desplazamiento diferencial. La arquitectura de la IMU reduce la susceptibilidad de los acelerómetros a las variaciones de fabricación, así como a la deriva térmica. Cuando el dispositivo se coloca sobre una superficie plana, medirá 0g en los ejes X e Y y + 1g en el eje Z. Cada sensor tiene un ADC dedicado para proporcionar salidas digitales.

DMP: El procesador adquiere datos de los acelerómetros, giroscopios y sensores adicionales. Es el encargado de procesar los datos obtenidos, los cuales, pueden ser leídos de los registros del DMP o pueden estar almacenados en un FIFO (cola de almacenamiento organizada First In, First Out). Mencionar que el DMP tiene acceso a uno de los pines externos, que pueden ser utilizados para la generación de interrupciones.

En la figura 56 se muestra el esquema del dispositivo.

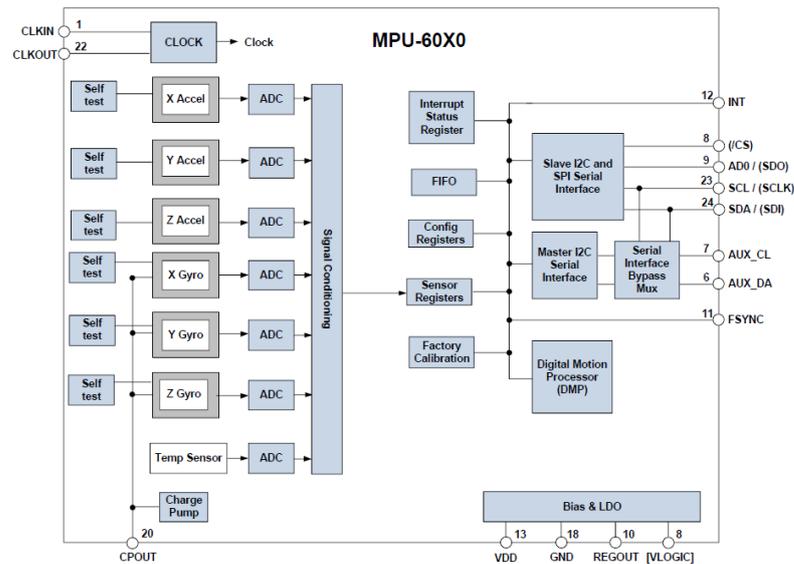


Figura 56: Diagrama de bloques de MPU6050

- **El barómetro BMP180 [30]:** Se basa en un sensor piezo-resistivo robusto, de alta precisión y linealidad. El sensor mide tanto la presión atmosférica como la temperatura ambiente del entorno en el que se encuentre.

Está constituido por el sensor, un ADC, una unidad de control con E2PROM y una interfaz I2C serie. La distribución se puede ver en la figura 57. La salida del sensor entrega el valor no compensado de presión y temperatura. El E2PROM almacena 176 bits de los datos de calibración individuales, utilizados para compensar el offset, la dependencia de la temperatura y otros parámetros del sensor.

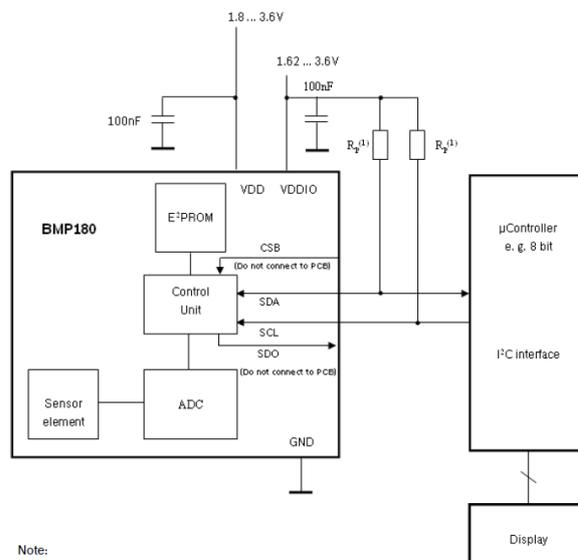


Figura 57: Diagrama de bloques barómetro

- **La brújula HMC5883L [31] [32]:** Este dispositivo es capaz de detectar el campo magnético en los ejes X,Y,Z. Se debe tener en cuenta la sensibilidad de la brújula a los campos magnéticos cercanos, por lo tanto si en el entorno se encuentran metales o dispositivos magnéticos pueden influir en el comportamiento de la salida. La brújula detecta el campo magnético terrestre y así es posible saber dónde se encuentra el Sur magnético y por consiguiente saber dónde está el Norte, el Este y el Oeste.

La comunicación con el dispositivo es simple y se puede realizar a través de una interfaz I2C.

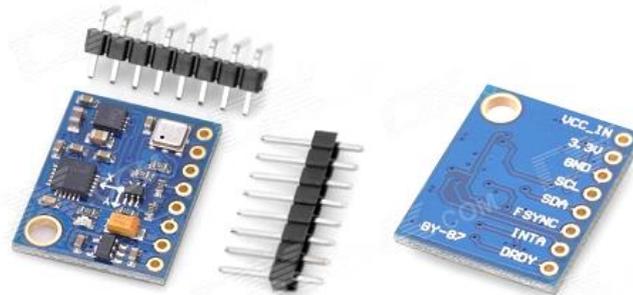


Figura 58: módulo con varios sensores

3.2.1.12 Regulador Buck-Boost

Se ha seleccionado un convertidor buck-boost, que pertenece al tipo de reguladores conmutados, específicamente el modelo TPS63061 [33], que destaca por funcionar desde los 2.5V hasta los 12V con una eficiencia del 93%. Su funcionalidad será proteger el microcontrolador de entradas de voltaje superiores a las de su rango de funcionamiento.

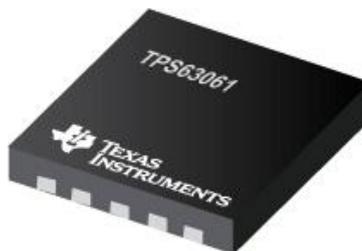


Figura 59: Encapsulado del regulador

Este sensor tiene dos modos de uso: con salida regulable o con salida fija. Para este proyecto se ha utilizado el segundo modo fijando la salida a 5V. El voltaje de salida se ajusta variando

el ciclo de trabajo del transistor de conmutación. La configuración se puede ver en la figura 60.

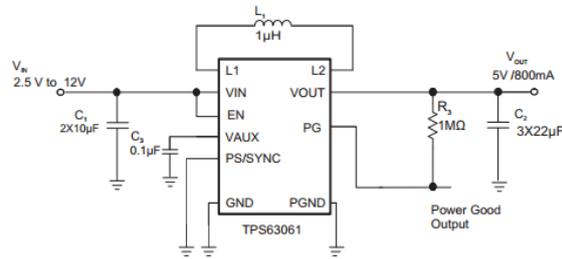


Figura 60: Configuración con la salida fijada a 5V

Para el testeo en el primer prototipo, se probó la configuración anterior en una placa aparte que se colocaba en la placa mediante un conector estándar de tres pines. En la figura 61 se puede ver el resultado.

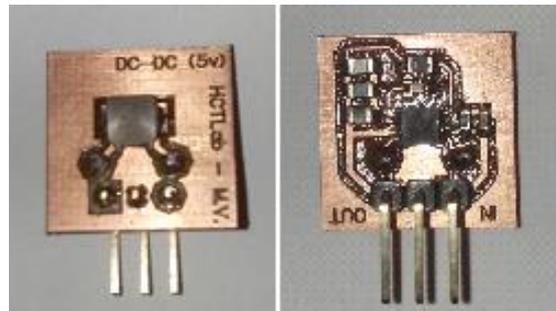


Figura 61: Placa regulador

3.2.1.13 Fuente de alimentación

Para dar movilidad al robot, las fuentes de alimentación incorporadas resultan insuficientes para pruebas en las que el robot avance más de unos pocos centímetros. Por ello se ha incorporado una sujeción para 4 pilas AA.



Figura 62: Soporte de batería

3.2.2 Sensores secundarios

Una vez explicados los sensores/actuadores principales, se procede a explicar aquellos que se han considerado secundarios:

3.2.2.1 Pantalla LCD

Se ha estimado que no son necesarias más de dos filas de LCD ni un LCD a color para la salida de los mensajes del ITO II. Tras realizar el estudio de pantallas, se han seleccionado dos LCD básicos con fondo verde e iluminación amarilla. Comparten características parecidas diferenciándose principalmente en el número de filas del LCD. Los modelos son FDCC1601E-RNNYBW-66SE [34], de una fila, y FECC1602B-RNNYBW-66SE [35], de dos filas. A continuación se muestran los dos modelos:



Figura 63: Pantalla LCD modelo FDCC1601E-RNNYBW-66SE



Figura 64: Pantalla LCD modelo FECC1602B-RNNYBW-66SE

Dado que finalmente no ha sido incluido en el proyecto no se ha llegado a tomar la decisión de qué modelo de los dos sería el más apropiado, ya que esto depende principalmente de la funcionalidad que se le quisiera dar.

3.2.2.2 Sensor acústico

Se ha seleccionado el modelo K1208047 formado por un LM393, un micrófono de condensador eléctrico. Su salida es digital, de modo que se pone a uno cada vez que el sensor detecta que se ha superado un umbral, previamente configurado.

La funcionalidad de este sensor sería la de controlar que no se supere unos decibelios de ruido ambiente y la de controlar el robot mediante impulsos sonoros. En el primer caso, el sensor

trabajaría con un avisador bien luminoso o bien sonoro que sería activado si se supera un umbral. En el segundo caso se programaría que el robot actuase de una determinada manera tras recibir un impulso sonoro y de otra si recibe dos. El caso más extendido para dar ejemplo de esto es el encendido de luz a través de palmadas.

Se ha llegado a la conclusión de que un sensor que detectase un umbral de ruido sería difícil de testear en un aula debido a las variaciones de ruido ambiente, por lo que este sensor también quedó descartado.



Figura 65: Sensor sonido modelo K1208047

3.2.2.3 Reproductor de sonido

Se ha planteado la incorporación del módulo Arduino de reproducción MP3 Shield [36] con el que poder reproducir diferentes tipos de alarma e instrucciones. La MP3 Shield aporta un completo reproductor de archivos de audio MP3 y un zócalo para tarjetas de memoria Micro SD donde guardar los archivos.

Utiliza el chip decodificador VS1053B que también es capaz de reproducir otros tipos de formato (OGG Vorbis, AAC, WMA y MIDI). El chip recibe los datos de la memoria mediante SPI y una vez decodificado, lo envía por la salida de audio estéreo aunque también dispone de unos pines por si se quiere conectar un a altavoz externo.

Para el primer uso, dado que ya se han incorporado varios tipos de avisadores cuya integración es más sencilla y su coste menor, se desestima.

Respecto a su otro uso, aunque sí es atractivo de cara al usuario que, por ejemplo, el robot te informe de que se está saliendo del camino por la derecha o que ha superado el umbral de luz, se ha creído innecesario, debido a que complicaría el proyecto, no sólo la parte de integración de este sensor sino también la parte de crear las grabaciones, guardarlas en una memoria externa y poder acceder a ellas. Su integración sería de especial utilidad para usuarios con discapacidad visual, por ello se plantea para trabajos futuros.



Figura 66: Arduino MP3 Shield con micro SD

3.2.2.4 Sensor infrarrojo

Se ha seleccionado el receptor TSOP4838 [37], muy utilizado para la recepción de señales infrarrojas. Este sensor transmite al microcontrolador las señales recibidas de un mando universal y hace posible, mediante software, el análisis de la señal recibida y su posterior tratamiento.



Figura 67: Receptor TSOP4838

3.2.2.5 Sensor temperatura

Se ha optado por el modelo TMP36FSZ [38], que es capaz de detectar variaciones de temperatura entre los -40° y los 125° .

Entre sus principales ventajas se encuentran un amplio rango de medida y su bajo coste, por contra su precisión no es alta ($\pm 2^{\circ}$), aunque para este tipo de proyecto no se ha creído necesaria más precisión.

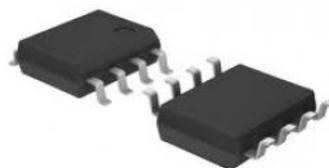


Figura 68: Sensor temperatura TMP36FSZ

3.2.1 Esquemático final

A continuación se procede a explicar los tres esquemáticos realizados paso a paso. Su realización ha sido el primer paso para la elaboración de la placa.

En la figura 69 se puede ver el microcontrolador. A la derecha de la imagen se muestra un filtro paso bajo en los pines de voltaje de referencia del ADC, cuya función es la de conseguir una tensión de salida estable y libre de ruidos. A la izquierda se encuentra la conexión con el cristal y el reset.

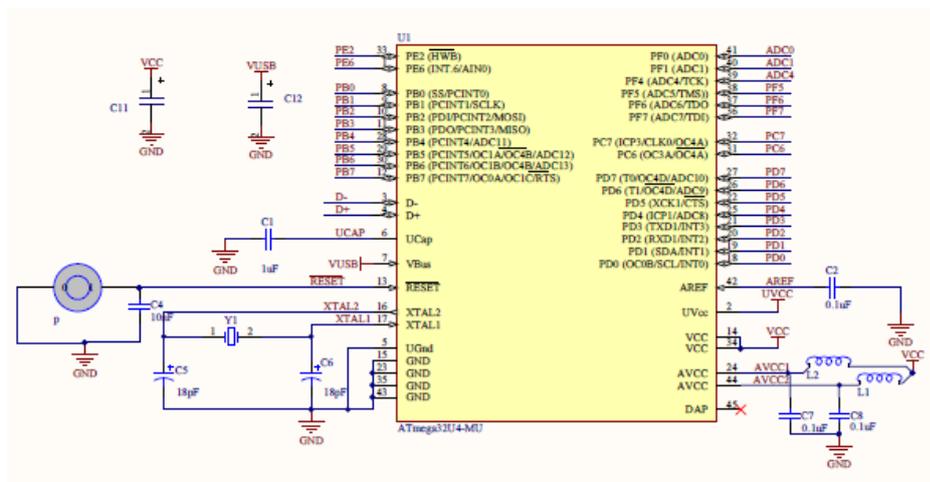


Figura 69: Esquema microcontrolador

En la figura 70 se pueden ver el esquemático correspondiente a los conectores estándar incorporadas para facilitar la integración de nuevos sensores o testeos de los ya incorporados. Todos los pines que han quedado libres han sido incluidos, entre ellos hay tanto pines de conversión ADC, como salidas PWM, pines de interrupciones, etc.

Entre los pines a los que se quiere tener acceso destacan los de PWM, de los que se quiere mostrar en pruebas y resultados diferentes frecuencias de funcionamiento. Otros son pines que podrían ser reutilizados y para ello se precisa accesibilidad al pin. También se ha facilitado el acceso a un pin GND y a otro VCC.

El conector PV tiene una funcionalidad diferente. Dado que la fuente de alimentación puede ser a través del conector de alimentación o USB, se precisa de este para seleccionar uno u otro mediante jumpers. Este conector también permite seleccionar la fuente de voltaje para los buffers internos del USB.

No son necesarios más conectores, dado que el conector tipo jack es utilizado tanto para la fuente de voltaje externo como para el montaje con pilas.

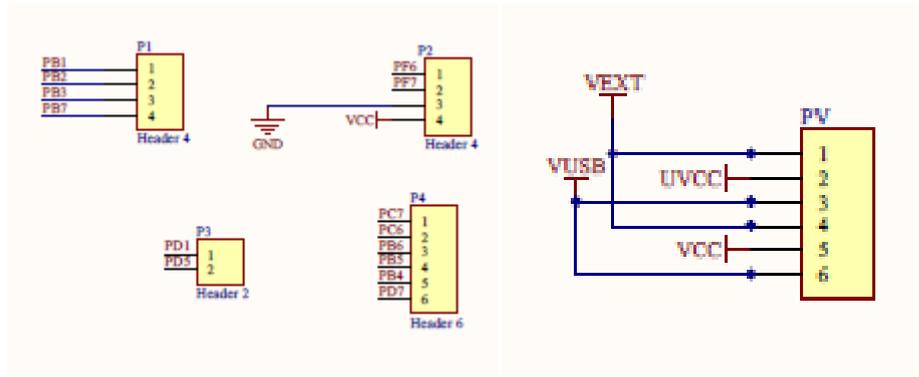


Figura 70: Conectores

En la figura 71 se muestra la conexión del programador ISP, y el pulsador necesario para entrar en modo programación en caso de que esta se realice mediante USB.

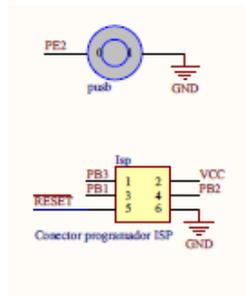


Figura 71: Esquema de programador ISP y pulsador USB

El esquema de la conexión del mini USB se encuentra en la figura 72. Este esquema incluye una protección frente a descargas electrostáticas mediante dos diodos ESD (Electrostatic discharge).

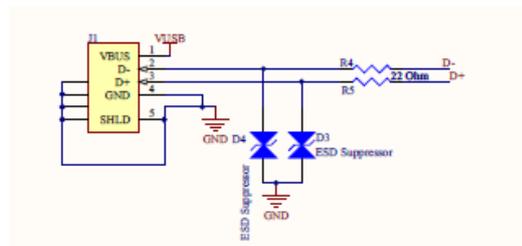


Figura 72: Esquema del mini USB

En la figura 73 se muestra la conexión desde el conector de la fuente externa hasta la salida del regulador.

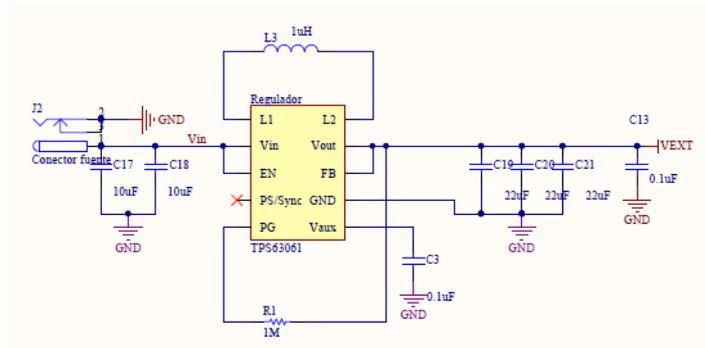


Figura 73: Esquema de la entrada de voltaje externo

A continuación se procede a exponer el esquemático de los sensores con su respectivo circuito de acondicionamiento siempre que lo precisen:

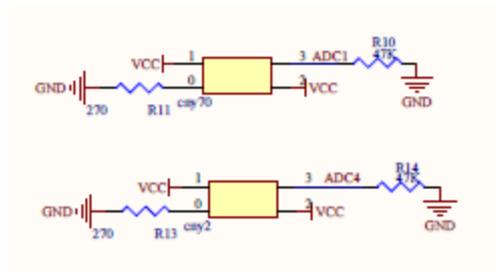


Figura 74: Esquema CNY70



Figura 75: LEDs

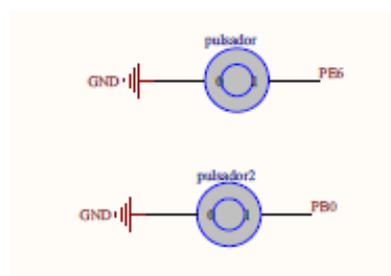


Figura 76: Pulsadores

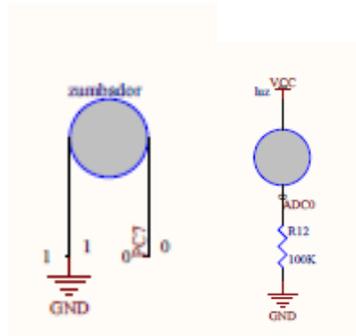


Figura 77: Esquema zumbador y LDR

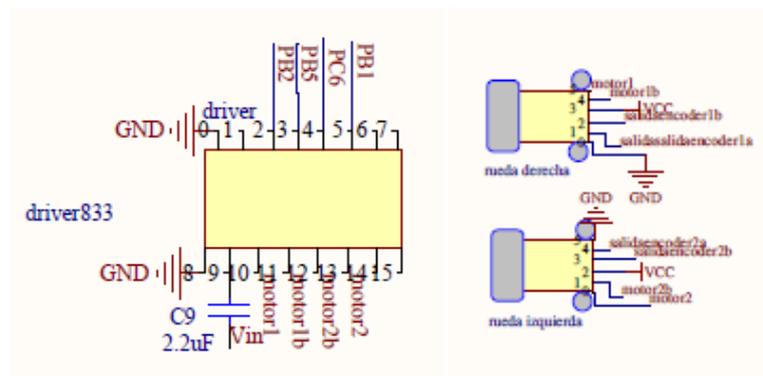


Figura 78: Esquema Driver y motor con encoder

Se han incorporado al diseño tres conectores para integrar los sensores Sharp, uno de ellos con su salida conectada al microcontrolador y los otros dos tienen la salida libre. Estos dos conectores pretenden dar la posibilidad de controlar si en los laterales del robot se encuentra algún obstáculo, esto sería muy útil por ejemplo si se diseñase una función para salir de laberintos. Si esto no fuera interesante también es posible incorporar cualquier otro sensor, el conector facilita un pin a tierra, uno a la fuente de alimentación y otro para la salida.

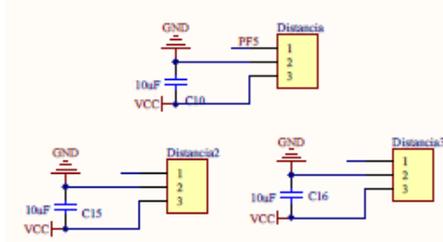


Figura 79: Esquema conectores Shar

Por último se ha decidido incorporar un zócalo para la inclusión del módulo con varios sensores, que posibilita el aprendizaje de la comunicación I2C además de ampliar las posibilidades del robot en cuanto a relacionarse con el medio.

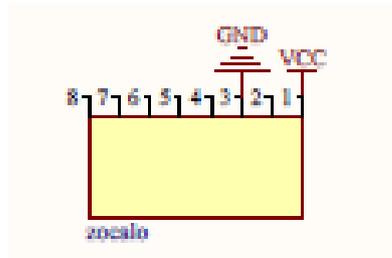


Figura 80: Esquema zócalo para módulo IMU, brújula y sensor temperatura

3.2.2 Diseño

Tras la realización de los esquemáticos se procedió a la realización del diseño en el PCB. Para ello es necesario asignar a cada componente su footprint correspondiente. En caso de que no se encontrara en las librerías de Altium se procedió a crearlo.

Todo el rutado fue realizado manualmente para una optimización de espacios y conexiones. Se ha procurado situar las conexiones por la cara más accesible de soldar los componentes, cambiando de capa aquellos componentes que se ha considerado necesarios para un diseño más óptimo. Dado que el microcontrolador es de montaje superficial y se ha situado en la capa top, la mayor parte de las conexiones de la parte central están en esta capa. La capa botton se ha utilizado especialmente para conexiones exteriores y para comunicar conexiones centrales.

Para facilitar la soldadura prácticamente todos los componentes, especialmente los más pequeños (condensadores, resistencias y bobinas) llevan su designación lo más cerca posible y en la capa mecánica dos. Una vez rutado se define el área y la forma de la placa.

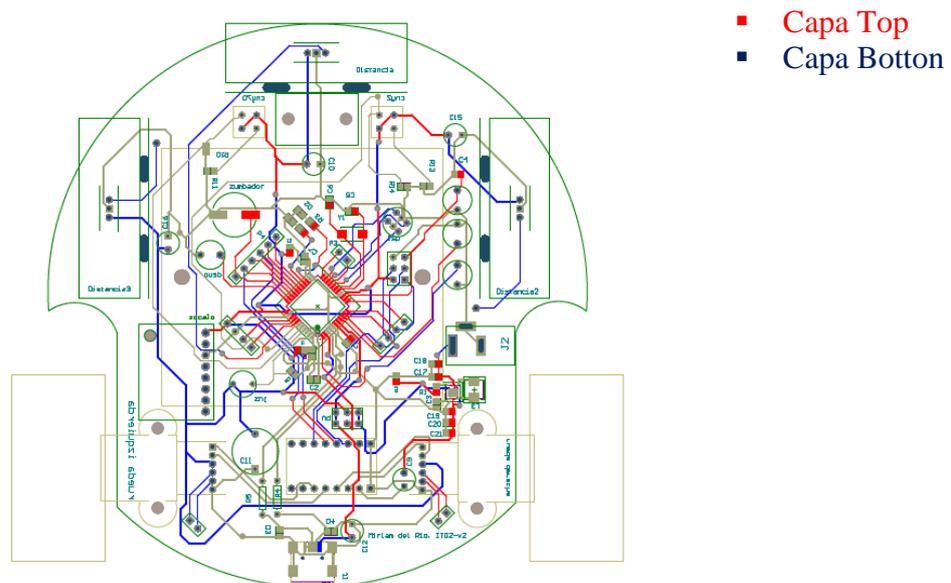


Figura 81: Diseño PCB en Altium

Finalizado el procedimiento anterior, se envían los archivos Gerber y NC Drill al taller para que se elabore la placa. Los archivos Gerber incluyen toda la información relativa a las capas de fabricación del PCB, desde la capa de grabado de cobre hasta la que contiene la posición exacta de cada componente y la forma del PCB. Los archivos NC Drill aportan la información de la situación y capas de cada pad y vía (orificio en la placa utilizado para cambiar de capa una pista o para superar un obstáculo) que forma parte del PCB.

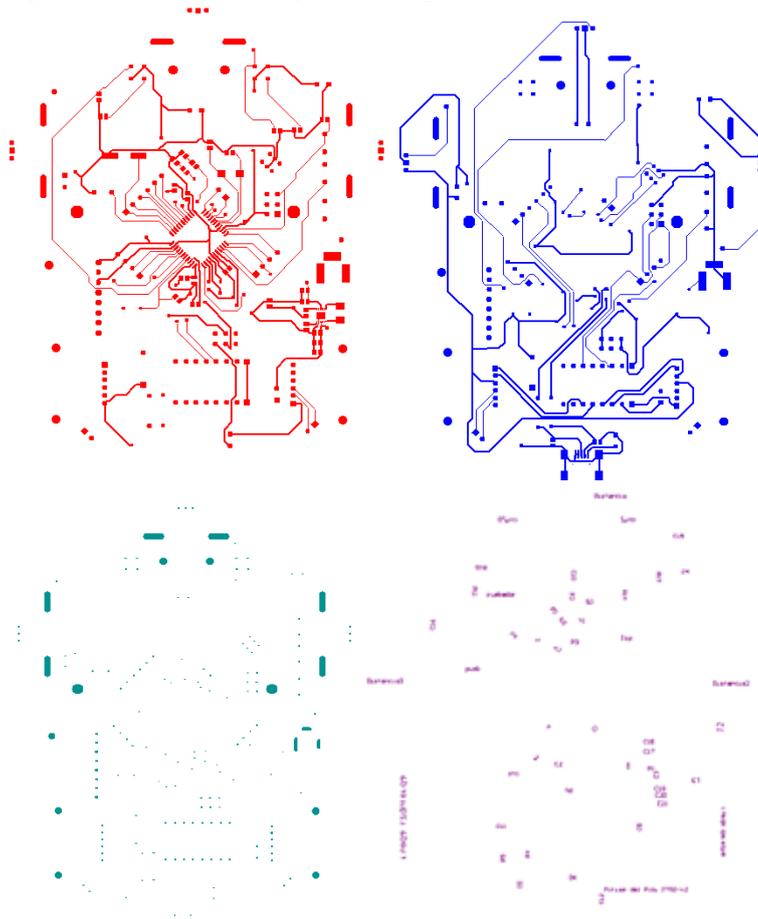


Figura 82: Gerber capa Top (rojo), Botton (azul), mechanical 2 (morado) y NC Drill (verde)

3.2.3 Construcción

La figura 83 muestra la placa del prototipo 2 tras salir de la máquina de fresado del taller, esta máquina se puede ver en la figura 84.

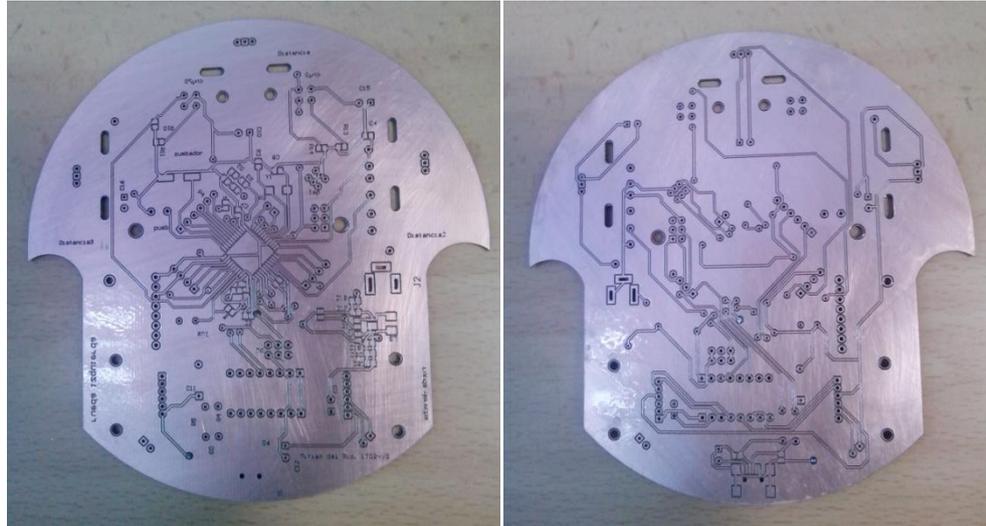


Figura 83: Placa del segundo prototipo



Figura 84: Fresadora LPKF Protomat S100

Una vez construida la placa, comienza la fase de soldadura, empezando por los componentes más pequeños y de difícil acceso para evitar que los grandes obstaculicen el proceso. Se incluyen en esta fase la realización de las vías, en las que se une la capa de arriba con la de abajo mediante un cable conductor. Antes de dar por finalizado cada proceso de soldadura se comprueba mediante un multímetro que efectivamente el componente ha quedado en contacto y sin cortocircuitos con otros componentes con los que no debería existir una conexión eléctrica.

En una segunda fase se han soldado los componentes de mayor tamaño, de dentro a fuera, comprobando siempre que ha quedado bien soldado.

En una última fase se han incorporado los componentes cuya sujeción es mediante tornillos, como es el caso de la rueda delantera y la sujeción de los motores.

Para finalizar la construcción se incorporan a sus respectivos conectores los componentes que móviles de la placa. Estos componentes son las ruedas, CNY70 y el driver.

3.3 Primer prototipo

Tras realizar un estudio de los datasheet del microcontrolador y los sensores que se deseaban integrar se ha realizado el primer diseño. Cuenta con dos esquemáticos, el primero de ellos incluye el microcontrolador y todos los elementos necesarios para la realización de una placa básica. El segundo contiene los sensores y elementos de motricidad del prototipo.

El diseño incluye los siguientes elementos:

- ✓ Un microcontrolador Atmega32u4.
- ✓ Un conector mini USB para alimentarlo o/y programarlo. Este conector está protegido de descargas electrostáticas mediante dos diodos rectificadores especiales
- ✓ Un conector ISP para programarlo.
- ✓ Un filtro paso bajo en los pines de voltaje de referencia con una frecuencia de corte de 15.915 kHz ($f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(0.1\cdot 10^{-6})}}$)
- ✓ Un conector de alimentación.
- ✓ Un conector para la placa del regulador de tensión.
- ✓ Un driver para controlar dos motores simultáneamente.
- ✓ 2 motores con encoder integrados anclados a la placa.
- ✓ 3 pulsadores (2 para controlar los LEDs y otro para el RESET).
- ✓ Un zumbador.
- ✓ Un zócalo para probar antes del siguiente prototipo la inclusión de un regulador.
- ✓ Un zócalo para probar antes del siguiente prototipo la inclusión de un módulo con un giroscopio, un acelerómetro, una brújula digital y un sensor de presión/temperatura barométrica.
- ✓ Un LED RGB y dos LED superficiales.
- ✓ Una rueda delantera de giro y dos ruedas traseras.
- ✓ Un sensor de posición infrarrojo.
- ✓ Dos CNY70 para realizar un seguidor de línea.
- ✓ Un cristal de 11.059 MHz
- ✓ Un selector de entrada de alimentación para elegir entre alimentar por el voltaje externo (conector DC 2mm) o por el mini USB. La selección se realiza mediante un jumper. Este conector también permite seleccionar la fuente de voltaje para los buffers internos del USB

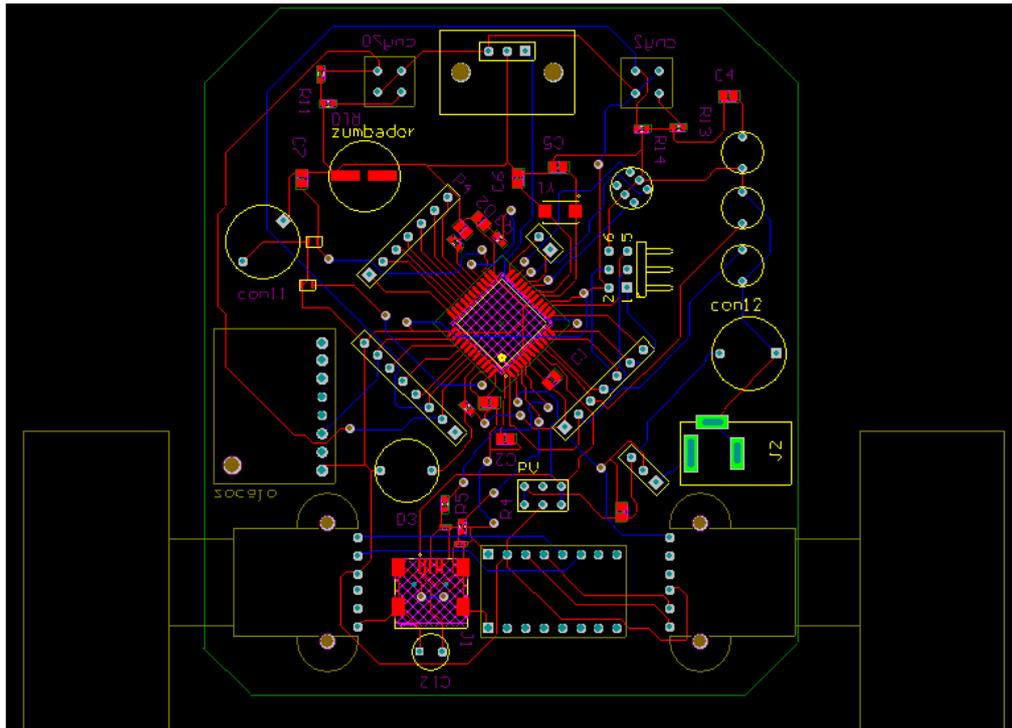


Figura 85: Diseño primer prototipo

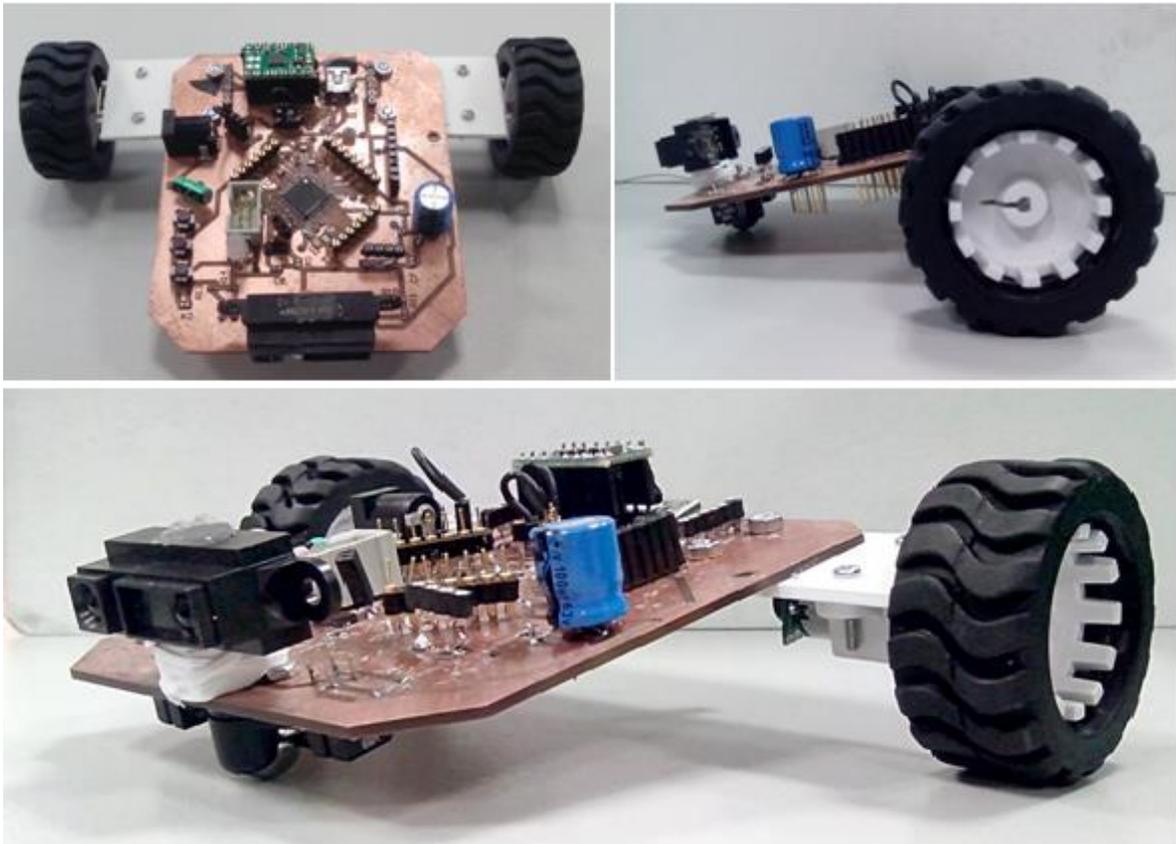


Figura 86: Primer prototipo finalizada la fabricación

3.4 Segundo prototipo

3.4.1 Modificaciones respecto al primer prototipo

Tras la realización del primer prototipo se ha optimizado el diseño en diferentes puntos:

- ✓ Se ha facilitado la tarea de soldar mediante los siguientes cambios:
 - Aumentar el área de soldadura.
 - Situar las conexiones por la cara más accesible de los componentes.
 - Definido como tamaño mínimo el encapsulado 0805.
 - Reduciendo el número de vías utilizando componentes de integración “hole” como conexión entre varios puntos poco accesibles.
- ✓ Se ha definido las conexiones del zumbador y driver.
- ✓ Se ha modificado el footprint del motor para una mayor sujeción.
- ✓ Se ha incorporado una sujeción de 4 pilas AA para posibilitar la alimentación portátil del robot. El conector de la fuente portátil de alimentación es de tipo jack, de este modo la selección entre fuente externa y fuente portátil se simplifica.
- ✓ Se ha integrado la placa del regulador al prototipo.
- ✓ Se ha remodelado el diseño físicamente incrementando su tamaño para incorporar los nuevos componentes.
- ✓ Se han añadido componentes de acondicionamiento al driver y a los sensores Sharp.
- ✓ Se ha documentado en Altium cada componente para poder exportar en PDF el proyecto con toda la información relevante.
- ✓ Se ha añadido un tercer esquemático dónde se incluyen exclusivamente las fuentes de alimentación del prototipo.
- ✓ Se han añadido dos conexiones más para los sensores Sharp, de tal manera que pueda detectar obstáculos no sólo en la región frontal sino también a ambos lados. Para fijar este tipo de componentes se ha diseñado una placa que se incorpora perpendicularmente y se suelda con dos patillas. En las figuras 87 y 88 se puede ver el diseño y el resultado final de esta placa.

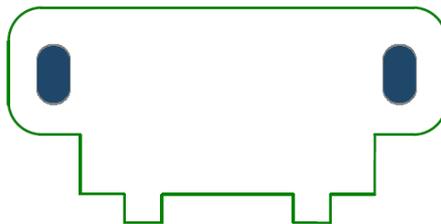


Figura 87: Diseño Altium de la sujeción del sensor Sharp

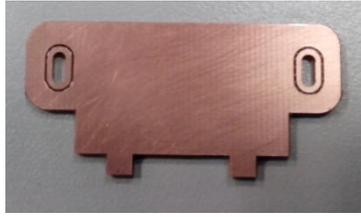


Figura 88: Placa de la sujeción del sensor Sharp

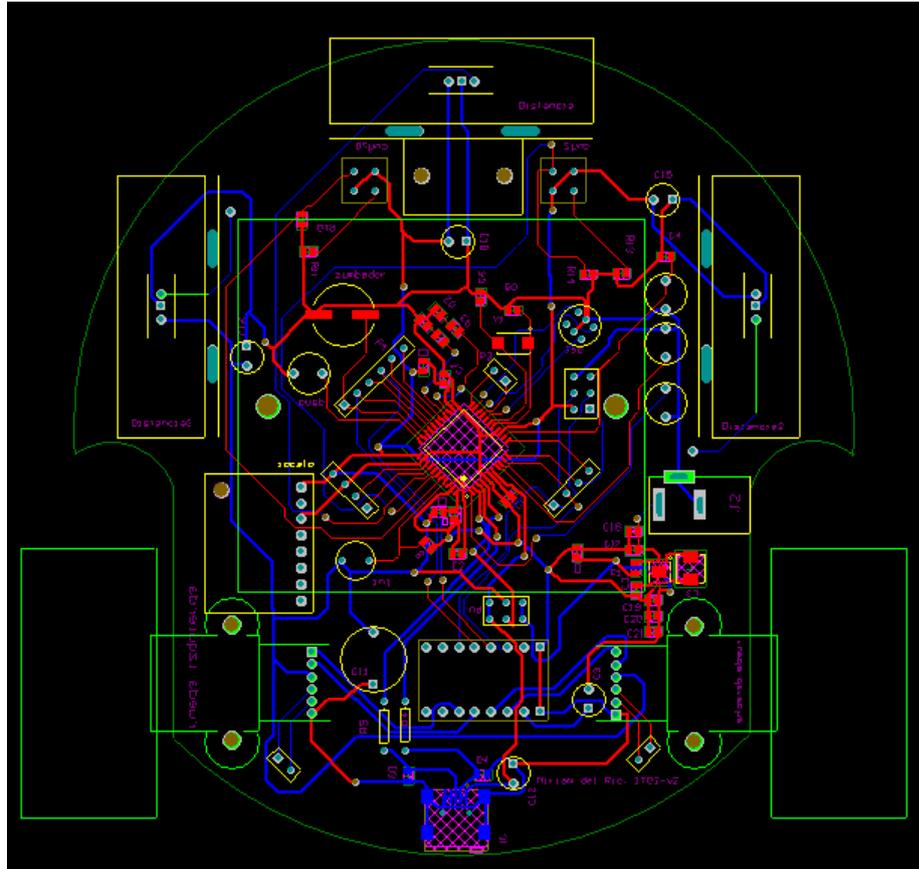


Figura 89: Diseño segundo prototipo

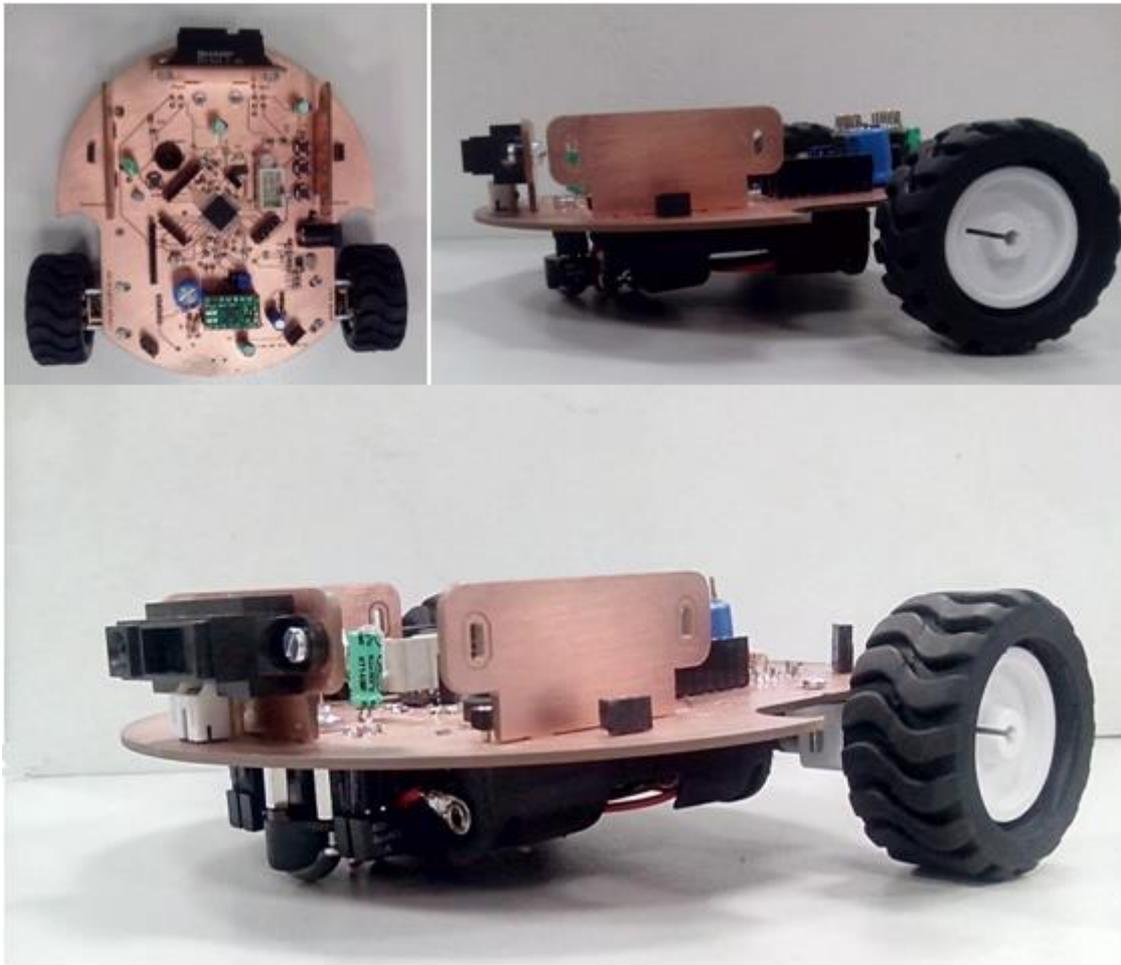


Figura 90: Segundo prototipo finalizada la fabricación

3.5 Software

Se han desarrollado una serie de rutinas con la finalidad de dar funcionalidad a los sensores y actuadores integrados. Todas ellas están comentadas para una fácil comprensión y llevan una designación significativa. En su conjunto forma parte de la librería ITO-II.

La finalidad de esta librería es que el usuario no necesite conocer el código para realizar las modificaciones, por ello todos los parámetros variables deben poder definirse desde fuera y todos aquellos que se deseen leer deben estar accesibles.

3.5.1 Rutina inicialización

```
void inicializacion()
```

Esta rutina no sólo inicializa las variables si no también configura el ADC, PWM, las entradas y las salidas. La inicialización se realiza paso por paso en diferentes sub-rutinas para facilitar al usuario posibles modificaciones y encontrar los parámetros fácilmente.

3.5.2 Rutinas ledrojo, ledazul y ledamarillo

```
void ledrojo() void ledazul() void led amarillo()
```

Las rutinas *ledrojo*, *ledazul* y *ledamarillo* funcionan de la misma manera, activan una salida a uno para que se encienda el LED del color correspondiente.

3.5.3 Rutina Juego de luces

```
void juego_de_luces(int a, int b, unsigned short frecuencia)
```

Esta rutina es simplemente una alternancia controlada de las tres luces del LED RGB, para ello se ha utilizado por primera vez un contador para poder controlar cuando se apaga y cuando se enciende cada luz, el contador sin utilizar ninguna carga adicional, cuenta hasta 65535, y al llegar a este valor vuelve a cero, de esta manera se ha programado que mientras cuente entre 0 y “a” este activado el color azul, entre “a” y “b” el color rojo y si el número es mayor que “b” se encienda el LED amarillo.

Los parámetros “a” y “b” son fácilmente modificables en la llamada de la función, se ha dejado por defecto a =21000 y b=41000. Existe un tercer valor de entrada para variar la velocidad del reloj mediante la preescala del timer.

3.5.4 Rutina *pulsadoresled*

```
void pulsadoresled()
```

Esta rutina también está relacionada con LEDs, en ella se realiza una comprobación para conocer el estado de dos de los pulsadores (pinE6 y pin B0). Si uno de los dos o los dos están pulsados se encenderá el LED correspondiente (rojo o verde).

3.5.5 Rutina luz

```
unsigned short luz(unsigned short umbral) —> return: resultado_luz
```

Esta rutina activa el sensor LDR, en este caso la salida es analógica y se debe utilizar el ADC para realizar la conversión analógico-digital. El ADC convierte el valor analógico a su equivalente en binario, con precisión de 10 bits, siendo el valor mínimo el GND y el valor

máximo el de la fuente de alimentación. A continuación se explica la configuración situada en la inicialización del programa:

Existen dos registros que hay que configurar; en el primero (ADMUX) se selecciona el canal que se utilizará (MUX), el voltaje de referencia y el bit ADLAR (si se activa el resultado se alinea a la izquierda).

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 6: Registro ADMUX

Posteriormente se muestran varias imágenes que clarifican la distribución y la configuración:

MUX5..0 ⁽¹⁾	Single Ended Input
000000	ADC0
000001	ADC1
000010	N/A
000011	
000100	ADC4
000101	ADC5
000110	ADC6
000111	ADC7

REFS1	REFS0	Voltage Reference Selection
0	0	AREF, Internal Vref turned off
0	1	AV _{CC} with external capacitor on AREF pin
1	0	Reserved
1	1	Internal 2.56V Voltage Reference with external capacitor on AREF pin

Figura 91: Configuración registros MUX y REFS

A la vista de estas tablas y tras lo explicado anteriormente se ha optado por la configuración 0x40 que utiliza como referencia la fuente de alimentación, respecto al canal se selecciona en la propia llamada y el bit ADLAR no es utilizado ya que se prefiere la alineación a la derecha.

Antes de definir la inicialización del registro ADCSRA se explicará la funcionalidad de cada uno de los bits:

ADC Control and Status Register A – ADCSRA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 92: Registro ADCSRA

ADEN: Activa la conversión cuando se pone a 1.

ADSC: Muestra que el ADC está activo poniéndose un 1 durante todo el tiempo que dura la conversión, al terminar la ésta vuelve a 0.

ADATE: Si se pone a 1 se activa el modo auto trigger(disparador).

ADIF: Este bit se pone a 1 cuando la conversión es completada.

ADIE: Este bit sirve para activar las interrupciones

ADPSX: Selecciona el factor de escala del reloj se puede elegir entre: 2,4,8,16,32,64 y 128.

Sabiendo esto sólo queda establecer que la configuración es 0x84, ya que no se cree necesario la utilización del resto de las funcionalidades. Respecto al factor de escala se ha decidido utilizar un factor de escala medio, 32.

Lo anterior configurado se encuentra en la inicialización del programa, en la propia llamada además hay que definir que se ha utilizado el canal 0 (MUX=000) y activar la conversión(ADEN=1).

Una vez explicado todo esto, ya se puede entender la función, en ella se comprueba mediante el bit ADSC si se ha realizado una conversión, en caso de ser así el resultado se analiza para saber si hay luz suficiente en el entorno o por el contrario el voltaje detectado se encuentra por debajo del umbral. En este caso se enciende la luz roja LED RGB. Destacar que la salida del ADC al ser de 10 bit es necesario dos registros para representala ADCL y ADCH (8+2). Para obtener el resultado final se deben concatenar ambos resultados, la imagen siguiente muestra la distribución mencionada:



Figura 93: Salida ADC

El resultado de la concatenación es comparado con un umbral, si es inferior a él se enciende el LED rojo del RGB. El valor de dicho umbral es configurable en la llamada a la rutina, por defecto se ha dejado el valor 0x380 considerado adecuado tras las pruebas realizadas.

3.5.6 Rutina distancia

`Unsigned short` distancia (`unsigned short` umbral) → return: resultado_distancia

Esta rutina corresponde al sensor Sharp cuya salida es analógica. Su salida es convertida a digital y el resultado se compara para conocer si es superior o inferior al umbral establecido, de esta manera se conocer si existe un obstáculo en la zona frontal del robot. Este valor se ha definido basado en pruebas con diferentes medidas y se puede cambiar en la llamada a la función.

En el caso de que se detecte un obstáculo se ha dejado programado que se encienda el LED rojo, aunque esto es fácilmente modificable. Desde aquí se podría hacer una llamada a cualquier otra función como el juego de luces o el zumbador (ver en la página 69).

3.5.7 Rutina seguidor de línea

```
void seguidor_linea()
```

La rutina *seguidor_linea* está basada en la detección de una línea negra por parte de dos sensores CNY70 situados en la parte inferior de la placa. A partir de las salidas analógicas de ambos sensores se puede saber si el robot está sobre la línea, o si se ha salido por un lado, por otro o está completamente fuera. En caso de estar parcialmente fuera (se sabrá porque lado dependiendo qué sensor detecte estar fuera de la línea) se activa un LED rojo o verde, en caso de estar totalmente fuera se activarán los dos.

3.5.8 Rutina control driver

```
void controldriver(char direccion[8], char motor[9])
```

Esta rutina pone en funcionamiento los motores. En la llamada a la función mediante dos variables se configura. En la variable dirección se debe introducir “delante” o “atras”, esto indica el sentido de rotación de los motores. En la segunda variable, motor, se selecciona los motores que se desean mover. Se debe introducir “derecha”, “izquierda” o “ambas”.

El control de driver se configura mediante dos salidas. La primera de ellas es una señal cuadrada configurada mediante PWM para poder controlar la velocidad y dar posibilidad al usuario de un mayor control del movimiento. La segunda entrada del driver configura el sentido de rotación de las ruedas, esto se puede visualizar en la tabla 7.

	INT1	0	1
INT2			
PWM		Hacia detrás	Hacia delante
PWM		Hacia detrás	Hacia delante

Tabla 7: Configuración driver

PWM tiene su base en los contadores usados para el *juegodeluces*, permite generar formas de onda con una frecuencia o duty cycle (ciclo de trabajo:anchura del pulso) determinado.

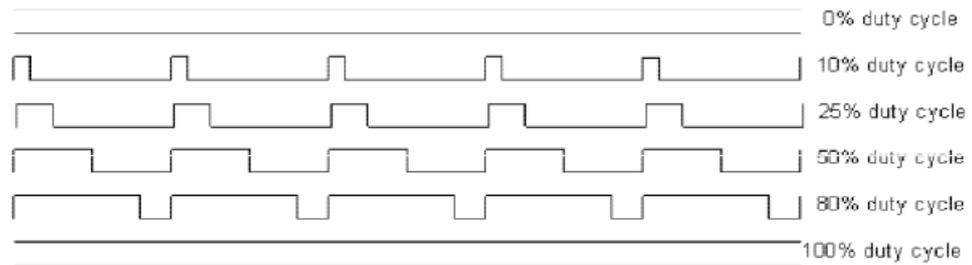


Figura 94: Ciclo de trabajos

El duty cycle se modifica con un registro de comparación, cada registro será asociado a una salida. Cada vez que el contador es inferior al registro la salida será alta.

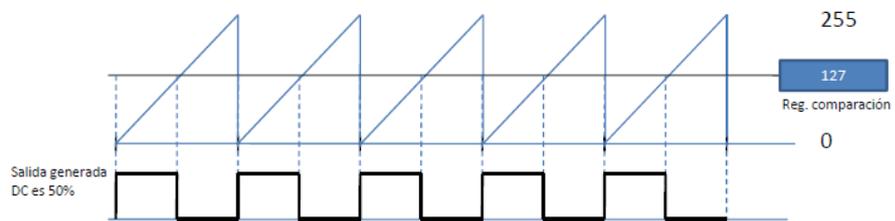


Figura 95: Salida generada con registro de comparación 127 en Timer0

El modo utilizado para generar el pulso cuadrado ha sido Fast PWM, este modo tiene dos registros A y B por lo que se pueden obtener dos salidas con diferente duty cycle:

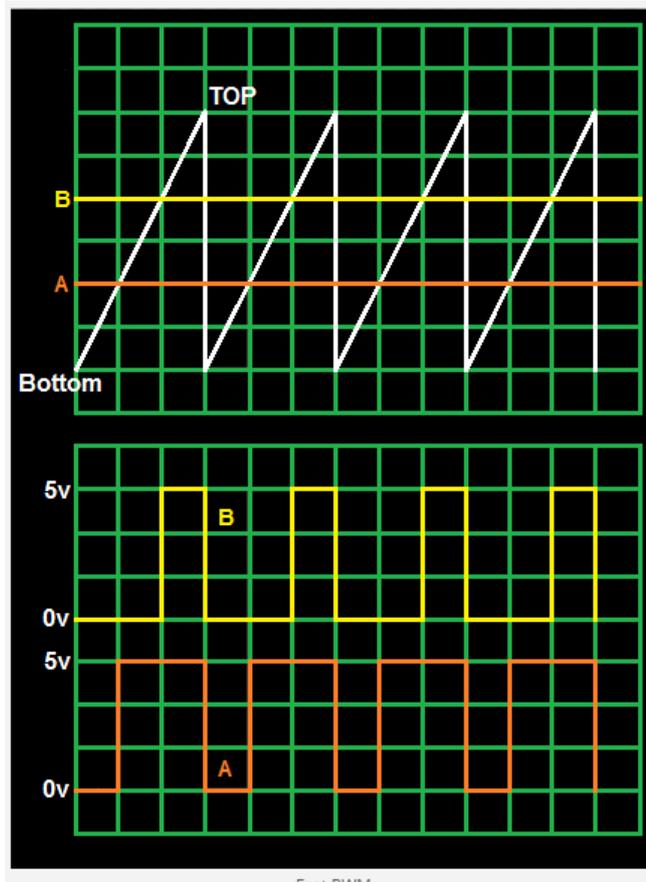


Figura 96: Funcionamiento de FAST PWM

El microcontrolador utilizado tiene 4 timer o contadores (timer 0, timer 1, timer 3 y timer 4), se inicializará para poder utilizar los registros a y b de los timer 0, 1 y 4 y A del 3. Para configurar las opciones de PWM se utilizan dos registros TCCRxA y TCCxB, sustituyendo x por el timer usado, a continuación se muestran dos ejemplo con los timer 1 y 3.

Timer/Counter1 Control Register A – TCCR1A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	COM1C1	COM1C0	WGM11	WGM10	TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Timer/Counter3 Control Register A – TCCR3A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM3A1	COM3A0	COM3B1	COM3B0	COM3C1	COM3C0	WGM31	WGM30	TCCR3A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 97: Registro TCCR1A TCCR3a

Timer/Counter1 Control Register B – TCCR1B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC1 ICES1 – WGM13 WGM12 CS12 CS11 CS10								TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Timer/Counter3 Control Register B – TCCR3B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC3 ICES3 – WGM33 WGM32 CS32 CS31 CS30								TCCR3B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 98: Registro TCCRxA del timer 1 y 3

Los bit COM permiten habilitar, deshabilitar e invertir las salidas.

COMnA1/COMnB1/COMnC1	COMnA0/COMnB0/COMnC0	Description
0	0	Normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected.
0	1	Toggle OCnA/OCnB/OCnC on compare match.
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match (set output to low level).
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match (set output to high level).

Tabla 8: Configuración del los bits COM de los timer 1 y 3

Los bit CS(Clock Select) sirven para especificar el factor de preescalado y activar la salida PWM. En un principio se deben inicializar a 0, por lo que se para el reloj y no entra en funcionamiento hasta la activación del preescalado.

CSn2	CSn1	CSn0	Description
0	0	0	No clock source. (Timer/Counter stopped)
0	0	1	clk _{IO} /1 (No prescaling)
0	1	0	clk _{IO} /8 (From prescaler)
0	1	1	clk _{IO} /64 (From prescaler)
1	0	0	clk _{IO} /256 (From prescaler)
1	0	1	clk _{IO} /1024 (From prescaler)
1	1	0	External clock source on Tn pin. Clock on falling edge
1	1	1	External clock source on Tn pin. Clock on rising edge

Tabla 9: Configuración del los bits CS de los timer 1 y 3

Los bit WGM (Waveform Generation Mode) son los que permiten seleccionar el modo de PWM.

Mode	WGMn3	WGMn2 (CTCn)	WGMn1 (PWMn1)	WGMn0 (PWMn0)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCRnx at	TOVn Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCRnA	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	TOP	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	TOP	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	TOP	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICRn	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCRnA	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICRn	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCRnA	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICRn	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	(Reserved)	-	-	-
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICRn	TOP	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCRnA	TOP	TOP

Tabla 10: Configuración de los bits WGM de los timer 1 y 3

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM4A1	COM4A0	COM4B1	COM4B0	FOC4A	FOC4B	PWM4A	PWM4B	TCCR4A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Los bits ICNC y ICES no son necesarios y permanecerán a cero.

Como conclusión para lograr un onda adecuada para el movimiento de los motores se ha activado lo siguiente:

TCCRxA: COMxA1=1 WGMX1=1 WGMX0=1

TCCRxB: WGMX2=1 CSX1=1 CX0=1

Queda por definir el ciclo de trabajo, que define cuanto tiempo está la señal a “1” y cuanto a “0”. Tras un testeo se ha comprobado que a menor ciclo de trabajo, menor consumo de intensidad y menor velocidad, con la finalidad de que las pilas duren más y dado que la velocidad no es importante en este proyecto se ha optado por un ciclo de trabajo pequeño.

OCRXA=63 OCRXB=63

3.5.9 Rutina zumbador

```
void zumbador(unsigned short frecuencia)
```

La rutina *zumbador* activa el sensor con este mismo nombre, para que emita un pitido. Está pensado para ser usado como alarma.

Su entrada necesita ser de pulsos cuadrados para ello se ha utilizado pulsos PWM, aunque en este caso se ha utilizado el timer 4, algo diferente a los dos mencionados anteriormente.

Para el registro TCCRA

- Los bits PWM4a y PWMB, activan los comparadores ORCx, cada uno el suyo.
- Los bits FOC4A y FOC4B, deben estar a cero para el modo PWM.
- Los bits COM tienen la misma configuración que en los timer 1 y 3.

Con esto el registro TCCRA debería quedar como 0x82

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM4A1	COM4A0	COM4B1	COM4B0	FOC4A	FOC4B	PWM4A	PWM4B	TCCRA4
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 99: Configuración del registro TCCRA

Para el registro TCCRB:

- El bit PWM4x activa el modo inversión.
- El bit PSR4 se utiliza para resetear la preescala establecida.
- Los bits DTP4x definen la preescala de tiempos muertos.

DTPS41	DTPS40	Prescaler divides the T/C4 clock by
0	0	1x (no division)
0	1	2x
1	0	4x
1	1	8x

Tabla 11: Configuración de los bits DTPS4x del timer 4

- Los bits CS4x definen la preescala del timer 4.

CS43	CS42	CS41	CS40	Asynchronous Clocking Mode	Synchronous Clocking Mode
0	0	0	0	T/C4 stopped	T/C4 stopped
0	0	0	1	PCK	CK
0	0	1	0	PCK/2	CK/2
0	0	1	1	PCK/4	CK/4
0	1	0	0	PCK/8	CK/8
0	1	0	1	PCK/16	CK/16
0	1	1	0	PCK/32	CK/32
0	1	1	1	PCK/64	CK/64
1	0	0	0	PCK/128	CK/128
1	0	0	1	PCK/256	CK/256
1	0	1	0	PCK/512	CK/512
1	0	1	1	PCK/1024	CK/1024
1	1	0	0	PCK/2048	CK/2048
1	1	0	1	PCK/4096	CK/4096
1	1	1	0	PCK/8192	CK/8192
1	1	1	1	PCK/16384	CK/16384

Tabla 12: Configuración de los bits CS del timer 4

Con esto el registro TCCRB debería quedar como 0x00 a falta de elegir la preescala. Existen 4 preescalas, y por tanto tres frecuencias con sus diferentes pitidos fácilmente modificables

en la llamada a la función. El usuario puede seleccionar un número del 1 al 4 y variar con ello la frecuencia del zumbador. Las respectivas frecuencias del 1 al 4 son: 5,42kHz, 2,6 kHz, 1,3 kHz y 675 kHz.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	TCCR4B
	PWM4X	PSR4	DTPS41	DTPS40	CS43	CS42	CS41	CS40	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 100: Configuración registros TCCRB

3.5.10 Programa por defecto

Se ha dejado programado por defecto la consecución de una serie de rutinas que finalizan en un bucle infinito. El programa comienza activando los driver del motor de tal manera que se mueva hacia delante durante dos segundos, después de esto se activa el zumbador durante un segundo. Una vez que se ha apagado se entra en un bucles que activa la rutina *pulsadoresled*, *distancia* y *juegodeluces*. Para una mayor visualización se puede ver en el siguiente flujo:

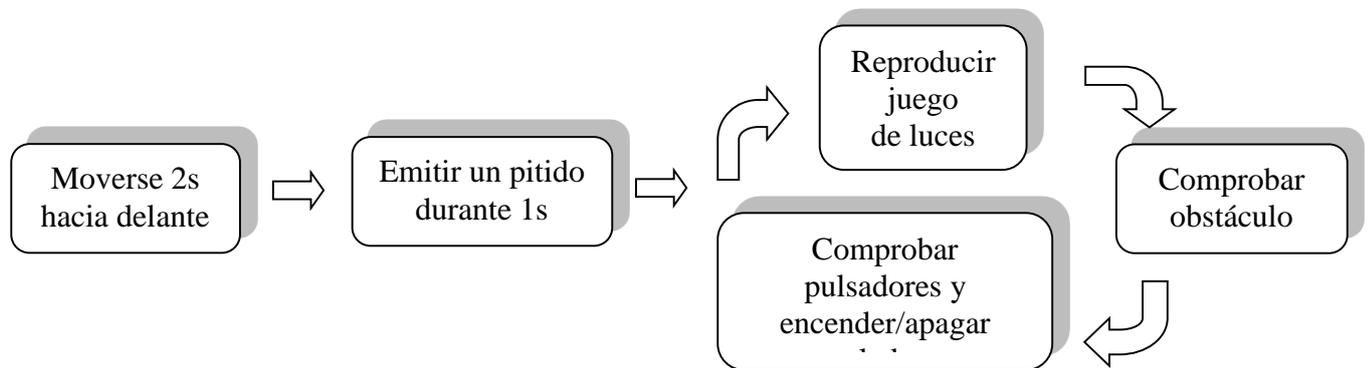


Figura 101: Flujo del programa por defecto

4 Pruebas y resultados

4.1 Introducción

Las pruebas en las que era preciso mostrar la salida de la señal se han realizado apoyadas en un osciloscopio modelo TDS2024C de la marca Tektronix.

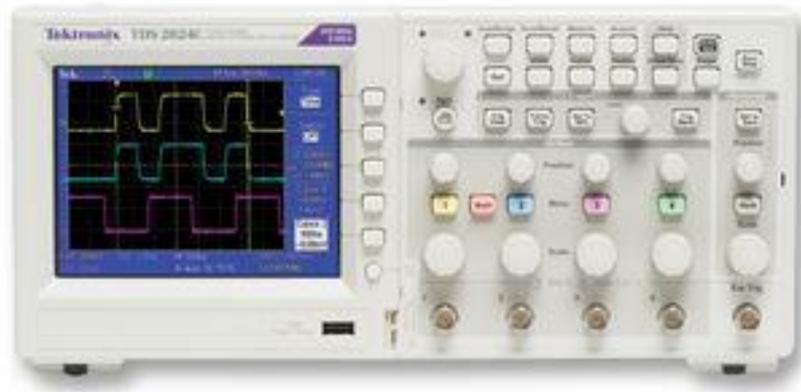


Figura 102: TDS2024C

Para controlar mejor el voltaje y la intensidad requerida por el circuito la mayor parte de las pruebas se han realizado con la fuente de alimentación de modelo EL302RT de la marca AIM-TTI INSTRUMENTS.



Figura 103: EL302RT

Para las pruebas que requerían movilidad se ha utilizado 4 pilas recargables instaladas en el soporte correspondiente.

Se ha testado que la alimentación por mini-USB funciona correctamente, aunque es la que tiene menos usabilidad, al no aportar movilidad, datos o información relevantes ni aportar la suficiente intensidad para mover los motores.

4.2 Prueba Seguidor de línea

En esta prueba se pretende que ITO-II informe si se ha salido del circuito marcado con una línea negra. En la figura 104 se muestra la salida del sensor derecho cuando el robot deja de detectar el color negro mediante caídas de voltaje.

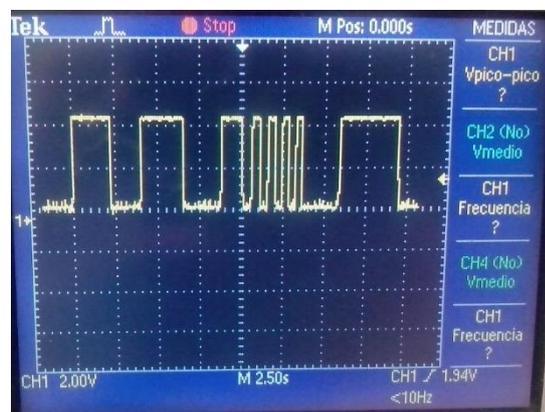


Figura 104: Salida CNY70

En la figura 105 se muestra la prueba visualmente. La imagen central muestra el robot en estado de reposo, estando los dos sensores sobre la línea negra. En las imágenes adyacentes el robot se

ha salido por uno de los lados, en respuesta se enciende el led correspondiente de ese lado en modo advertencia.

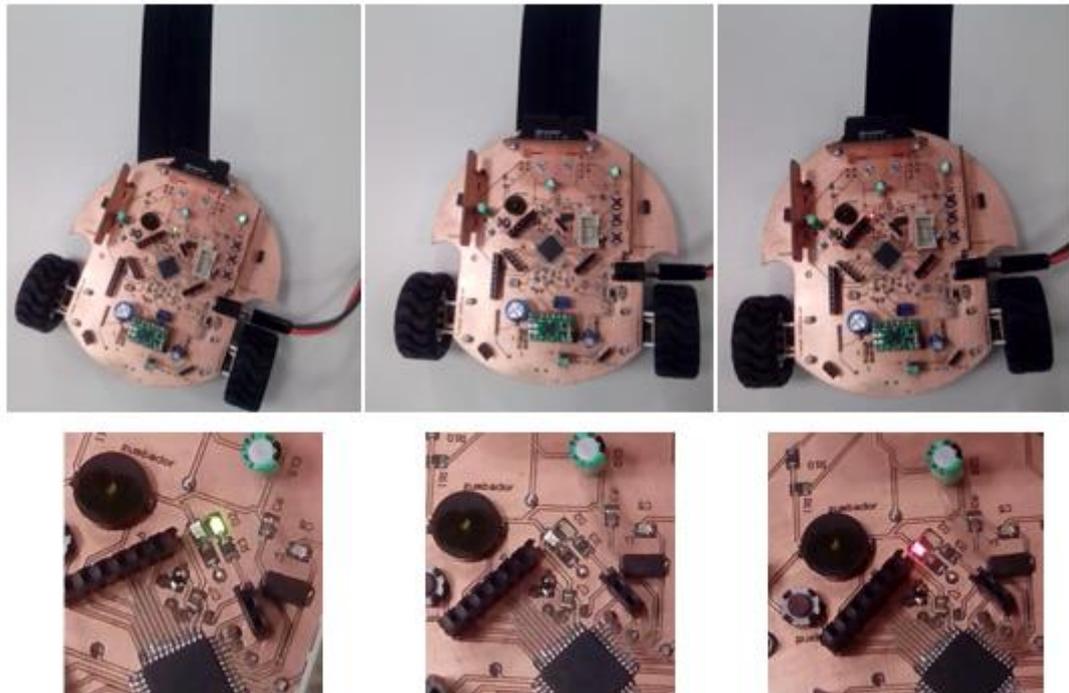


Figura 105: Prueba seguidor de línea

4.3 Prueba Encoder

En la figura 106 se puede muestra la salida del encoder en cuadratura. Utilizando el osciloscopio se han medido las dos salidas del encoder y solapado mediante los cursores para ver el desfase entre las salidas. Se puede concluir que cuando la salida 2 del encoder este “adelantada” el sentido del motor es “hacia adelante” y en caso contrario “hacia atrás”.

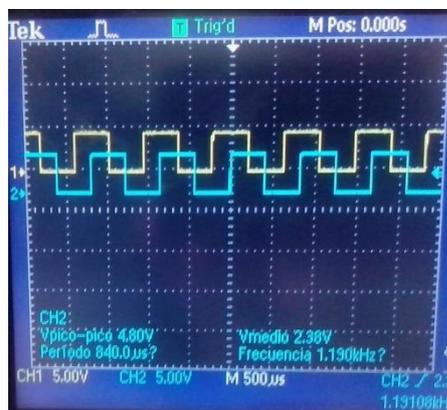


Figura 106: Salida encoder

4.4 Prueba sensor distancia

En la figura 107 se muestran dos imágenes; en la primera se muestra al robot ITO-II sin ningún obstáculo en el área del sensor Sharp, por tanto el LED permanece apagado, y en la segunda se ha colocado un obstáculo y por tanto, tal y cómo se esperaba, se enciende el LED verde. El voltaje detectado sin obstáculo es de 195mV, mientras que en el caso en el que detecta el obstáculo es de 4.95V.

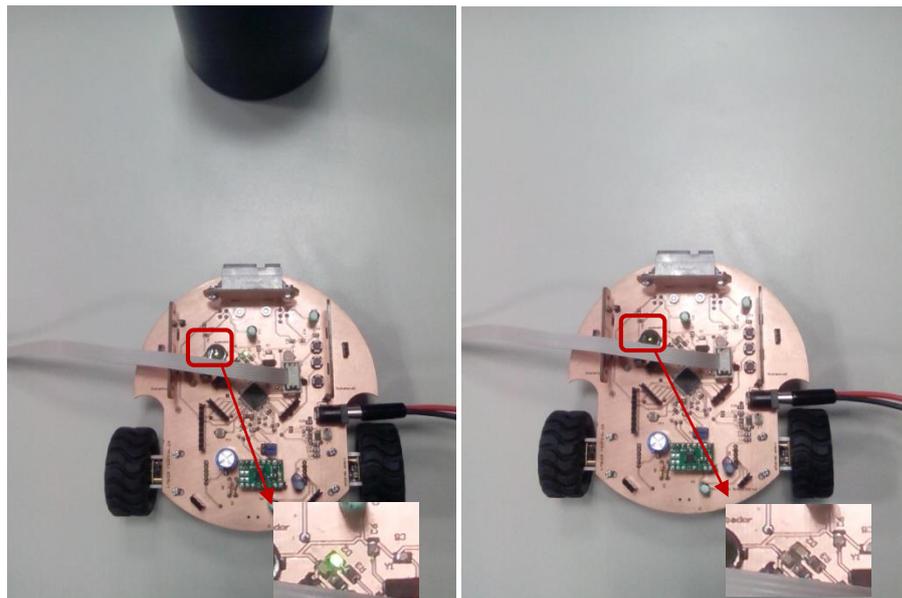


Figura 107: Prueba sensor Sharp

4.5 Prueba zumbador

Para esta prueba se ha comprobado la entrada de pulsos cuadrados, como se puede ver en la figura 108 el zumbador ha quedado programado para funcionar a 1.91V de valor medio y 1,350kHz de frecuencia. Cambiando la preescala en la función *zumbador()* se puede percibir fácilmente el cambio de tono en el pitido producido por el zumbador.

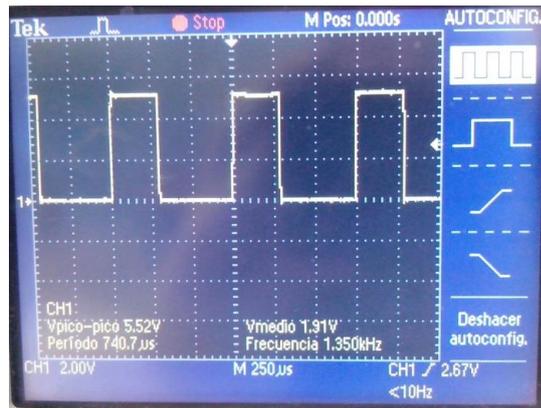


Figura 108: Entrada buzzer

4.6 Prueba drivers

En la figura 109 se puede ver la entrada al driver, se trata de un pulso cuadrado de 168,6Hz y 652mV de valor medio. Se puede observar como se ha utilizado un ciclo de trabajo bajo y por lo tanto la señal está muy poco tiempo a “1”, con esto se consigue rebajar el consumo del robot y que por tanto las pilas duren más.



Figura 109: Entrada al driver del motor

4.7 Prueba pulsadores

Cada pulsador se ha relacionado con un LED mediante software, la prueba como se puede ver en la figura 110 ha sido satisfactoria. Al pulsar tanto de forma simultánea como independiente los pulsadores el microcontrolador activa a alrededor de 2V sus respectivas salidas. El pulsador con la funcionalidad del reset también ha sido testado, al presionarlo cualquier actividad que se estuviera realizando se para hasta que se deja de presionar el pulsador.

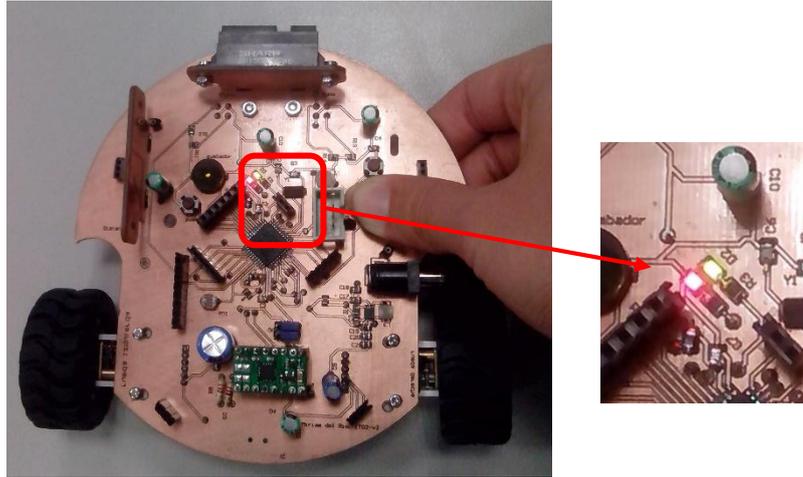


Figura 110: Prueba pulsadores

4.8 Prueba RGB

A continuación se incluye la figura 111 dónde se puede ver el LED RGB encendido en los tres colores. El voltaje con el que el micro alimenta al LED es de 3.8V (azul), 2.3V (rojo) y 2.6 V (amarillo). La diferencia se debe a la resistencia interna que no es la misma para todos los colores.

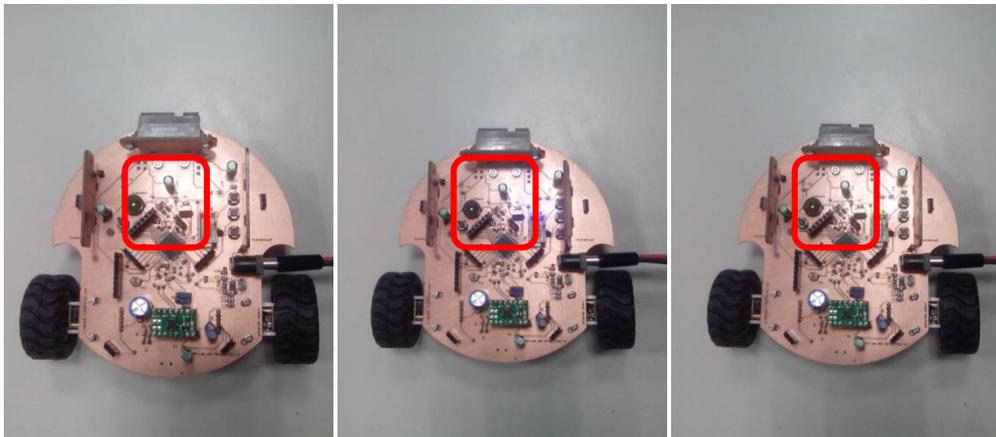


Figura 111: Prueba RGB

4.9 Prueba LDR

Como se puede ver en la figura 112 el sensor de luz funciona correctamente. El voltaje umbral seleccionado mediante software con el que se enciende el LED rojo es 4.37V, se ha determinado que es el suficiente para poder testarlo con facilidad.

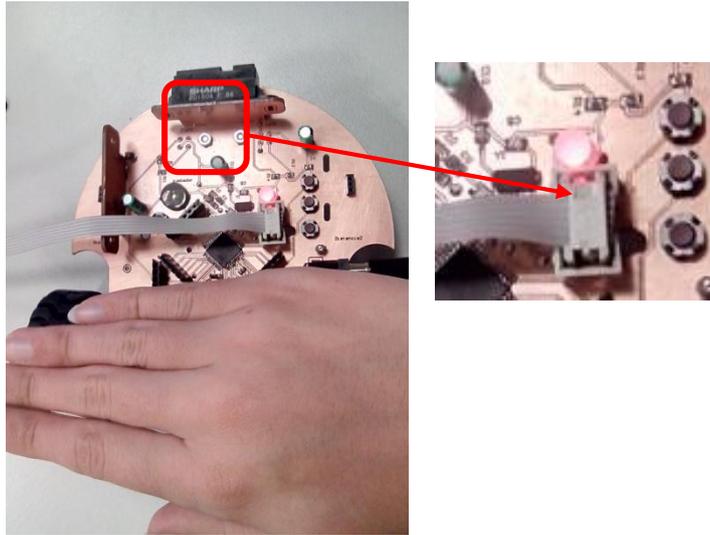


Figura 112: Prueba sensor LDR

4.10 Prueba regulador

Se puede afirmar tras el testeo que el regulador funciona correctamente, se ha subido la tensión, siempre dentro de su región de funcionamiento, y su salida permanece estable alrededor de los 5.0V.

5 Conclusiones y trabajo futuro

5.1 Conclusiones

Se ha realizado un prototipo completo que cubre todas las funcionalidades consideradas básicas. Es un modelo competitivo en características y funcionalidades con los analizados del mercado y con un precio bastante reducido en comparación con la mayoría (Arduino y SR1 duplican y triplican respectivamente el precio base de ITO-II).

El resultado final del prototipo es una plataforma capaz de relacionarse con el entorno que lo rodea de múltiples formas. Los 3 conectores para los sensores Sharp, los dos sensores infrarrojos de corto alcance y los motores controlados por el driver le dotan de capacidad para evitar obstáculos, seguir líneas negras y buscar una salida viable en un entorno de dificultades. El sensor de luz, los encoders, los pulsadores y el módulo con la IMU, la brújula y el sensor de temperatura le dan la capacidad de tomar datos de su entorno y actuar en consecuencia mediante el driver, el zumbador o los LEDs.

La plataforma permite ampliar el hardware mediante los pines facilitados mediante conectores. Teniendo esto en cuenta y las múltiples funcionalidades que aporta de serie el dispositivo, el límite de las posibilidades de ITO-II lo pone el usuario.

5.2 Trabajo futuro

Como continuación a este proyecto se propone como trabajo futuro la realización de una interfaz gráfica que evite al usuario, si así lo desea, el contacto con el código de programación. Esta interfaz deberá solicitar los valores de entrada de las rutinas, ejecutar el código con estos datos y cargarlo en el robot.

También se plantea la incorporación de un sistema de reconocimiento de voz para poder interactuar con el robot. Mediante un entrenamiento previo el robot reconocerá las órdenes, imprentadas mediante funciones, y procederá a realizarlas. Se considera una funcionalidad no sólo atractiva sino también con una gran utilidad para personas con problemas motrices o reducida movilidad.

Siguiendo por la misma línea de adaptabilidad se encuentra una función ya mencionada con anterioridad, que es la incorporación de un sistema que permita reproducir instrucciones o melodías según las señales recibidas por los sensores.

Como trabajo futuro también queda la incorporación de más sensores, y respectivo software. Serían tanto nuevos sensores no mencionados como los aquí descritos que finalmente no se incorporaron al proyecto.

Destacar la pantalla LCD por su utilidad tanto como depurador como de emisor de mensajes. Estos mensajes pueden ser informativos en caso de que se perciba un error, o para mostrar la salida de un determinado sensor, explicativos para solucionar errores comunes, de aviso para mostrar que se va a tomar una decisión tras recibir cierta señal de un sensor...

Referencias

- [1] Real Decreto: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-1152>
- [2] Información sobre colegios que ya imparten la asignatura de Robótica:
http://www.lavozdegalicia.es/noticia/santiago/2014/06/29/rois-quiere-implantar-robotica-materia-educativa/0003_201406S29C59911.htm
<http://www.noticiasdenavarra.com/2014/08/19/sociedad/navarra/casi-30-centros-se-han-sumado-ya-a-la-red-de-robotica-educativa>
- [3] Página oficial del robot Arduino: <http://arduino.cc/en/main/robot>
- [4] Página oficial del grupo Complubot: <http://www.complubot.com/>
- [5] Página de actividades de Complubot: <http://complubot.com/inicio/actividades/>
- [6] Página del robot Texas Instruments: <http://www.ti.com/tool/ek-evalbot>
- [7] Página del robot Moway: <http://moway-robot.com/>
- [8] Página del robot SR1: <http://www.superrobotica.com/robots.htm>
- [9] Página de la GPBot: <http://www.iearobotics.com/personal/juan/proyectos/gpbot/gpbot.html>
- [10] Hoja de características del microcontrolador Atmega32u4:
<http://www.atmel.com/images/7766s.pdf>
- [11] Página oficial de Atmel: <http://www.atmel.com/>
- [12] Utilización de la tecnología LASER:
http://docsetools.com/articulos-utiles/article_113329.html
- [13] Proyecto fin de carrera de Alfredo Manuel Castro:
<http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20140930AlfredoManuelCastroCuartero.pdf>
- [14] Hoja de características del sensor de posición:
http://www.sharpsma.com/webfm_send/1206
- [15] Hoja de características del LED RGB:
<http://www.chipfind.net/datasheet/html/kingbright/1f5waembgmbw.html>
- [16] Hoja de características del sensor de luz:
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/205772/SILONEX/NSL-19M51.html>
- [17] Hoja de características del zumbador:
<http://www.farnell.com/datasheets/1653420.pdf>
- [18] Hoja de características del infrarrojo:
<http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>
- [19] Página de Pololu: <https://www.pololu.com/>
- [20] Más información de los motores: <https://www.pololu.com/product/2218>
- [21] Más información sobre el anclaje del motor: <https://www.pololu.com/product/1089>
- [22] Más información sobre las ruedas del motor: <https://www.pololu.com/product/1090>
- [23] Más información sobre el encoder: <https://www.pololu.com/product/2598>
- [24] Hoja de características de los pulsadores:
<http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/537855/PANASONIC/EVQ11U05R.html>
- [25] Hoja de características del driver 8833: <https://www.pololu.com/file/0J534/drv8833.pdf>
- [26] Hoja de características del driver 8835: <https://www.pololu.com/file/0J570/drv8835.pdf>
- [27] Datasheet de la IMU:
<http://makertreebayimages.azurewebsites.net/ebayimages/ebaycontent/PS-MPU-6000A-00v3.4.pdf>

- [28] Tutorial de la IMU: <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>
- [29] Aceleración de Coriolis:
<http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/cinematica/sabiasrot2.htm>
- [30] Datasheet del barómetro:
<http://makertreeebayimages.azurewebsites.net/ebayimages/ebaycontent/BST-BMP180-DS000-09.pdf>
- [31] Datasheet de la brújula:
<http://makertreeebayimages.azurewebsites.net/ebayimages/ebaycontent/HMC5883L.pdf>
- [32] Tutorial de la brújula: http://bildr.org/2012/02/hmc5883l_arduino/
- [33] Datasheet del regulador:
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/12f4/0900766b812f49cf.pdf>
- [34] Hoja de características del LCD Screen FDCC1601E-RNNYBW-66SE:
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0f25/0900766b80f25dfc.pdf>
- [35] Hoja de características del LCD Screen FECC1602B-RNNYBW-66SE:
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0f26/0900766b80f269a5.pdf>
- [36] Página oficial del sensor: <http://store.arduino.cc/product/E000009>
- [37] Hoja de características del sensor de infrarrojo para recepción de señales:
<http://www.vishay.com/docs/82459/tsop48.pdf>
- [38] Hoja de características del sensor de temperatura:
<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet2/0/00zigppy1966eurwhluyquxt1cy.pdf>

Glosario

API	Application Programming Interface
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LED	Light-emitting diode
RGB	Red, Green, Blue
LDR	Light Dependent Resistor
PWM	Pulses width modulation
RPM	Revoluciones por minuto
LCD	Liquid Crystal Display
CS	Clock Select
WGM	Waveform Generation Mode
DMP	Digital Motion Processor
ESD	Electrostatic discharge

Anexos

A Manual de usuario

El robot está completamente montado, antes de conectarlo es necesario decidir cuál será la fuente de alimentación deseada y ajustar los jumpers a ésta.

Para cargar el programa deseado se debe conectar el robot al ordenador bien por el mini-USB o bien por el programador AVRISP mkII. Ambos métodos de programación

Caso 1: Programar mediante el programador AVRISP mkII

1. Seleccionar el botón “Device programming”, entonces se abrirá una pantalla como la mostrada en la figura 113.

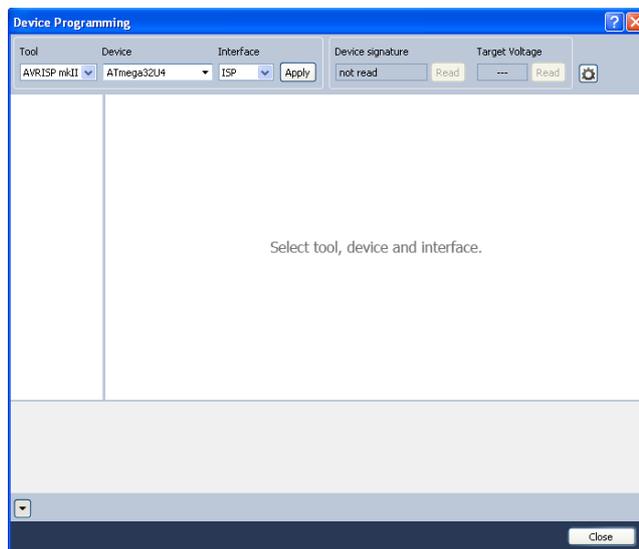


Figura 113: Pantalla “Device programming”

Se debe seleccionar en Tool la opción “AVRISPmkII000200015261”, en Device el microcontrolador Atmega32u4 y la Interfaz ISP. Cuando este todo seleccionado se debe pulsa el botón “Apply”.

2. Ahora se puede ver un desglose de opciones a la izquierda, antes de continuar se debe configurar el reloj del ISP, debe ser más baja que $\frac{1}{4}$ de la frecuencia de funcionamiento, se recomienda usar 250kHz aunque se puede subir hasta 2MHz.

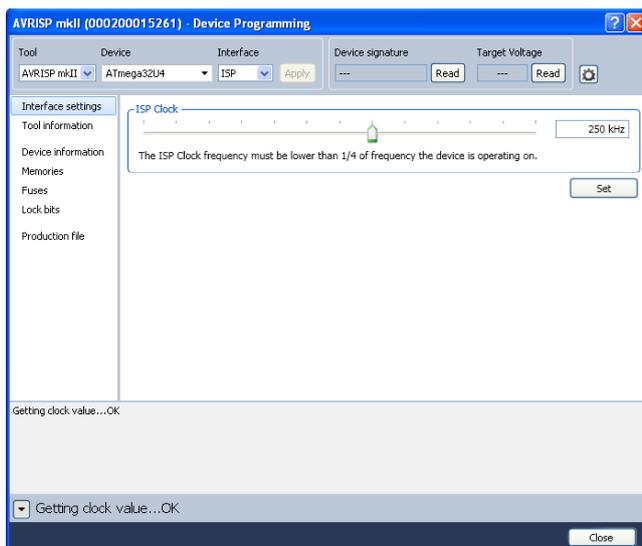


Figura 114: AVRISPMkII000200015261

3. Una vez definido el reloj, se configurarán los fusibles tal y como se indica en la siguiente figura, cuando este configurado se debe pulsar el botón “Program” y después “Verificar”.

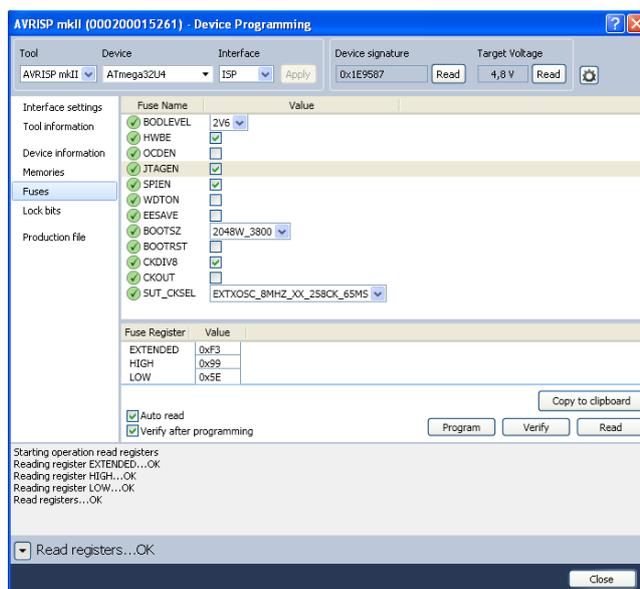


Figura 115: Configuración de los fusibles

4. Ahora para terminar la configuración sólo queda pulsar el botón “Device signature” y cerrar la pantalla.
5. A partir de este punto sólo queda subir el programa, los pasos a seguir son: compilar el programa y construirlo. Todo esto se puede hacer en un solo paso pulsando “F5”.

Caso2: Programar mediante mini-USB

1. En este caso debemos cargar un bootloader para poder programar. El primer paso es el mismo que para el caso anterior. Se debe abrir la pantalla “Device programming” y configurar en Tool la opción “AVRISPmkII000200015261”, en Device el microcontrolador Atmega32u4 y la Interfaz ISP. Cuando este todo seleccionado se debe pulsa el botón “Apply”.
2. Ahora en la pestaña de “Memories”, en el apartado “Flash” se debe subir el bootloader. Una vez subido se pulsa “Program”.

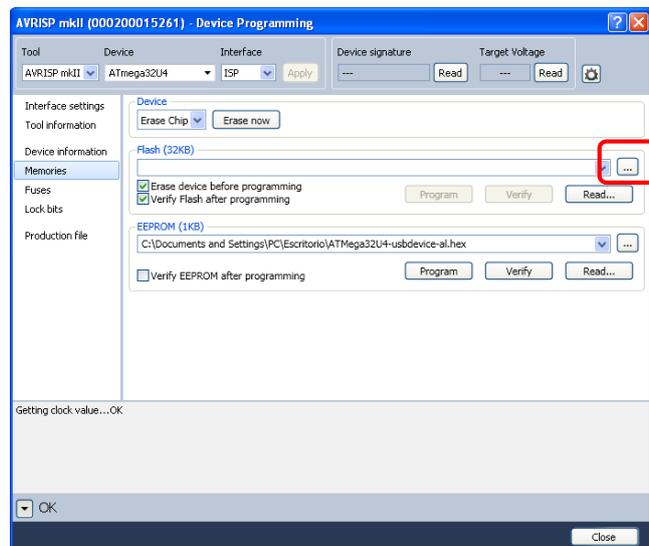


Figura 116: Cargar bootloader

3. Para el siguiente paso se debe abrir el programa Flip Este programa hace se encargar de cargar el programa en el microcontrolador a través del mini-USB.

Lo primero que se debe hacer es configurar el microcontrolador que es y abrir la conexión del USB, respectivamente los dos botones superiores izquierdos.

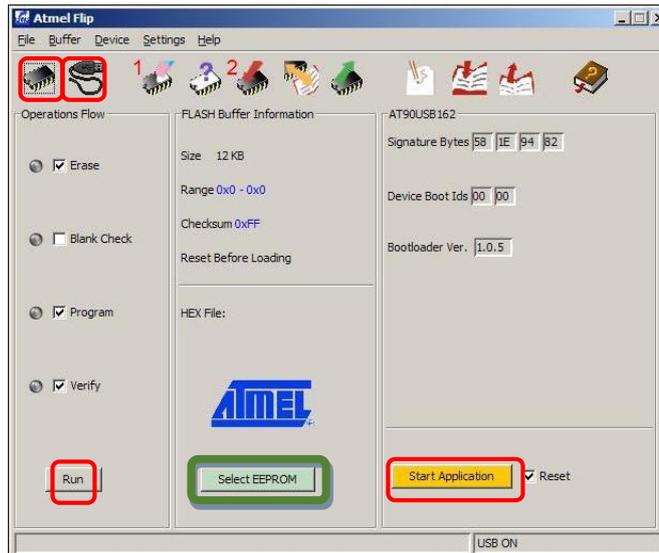
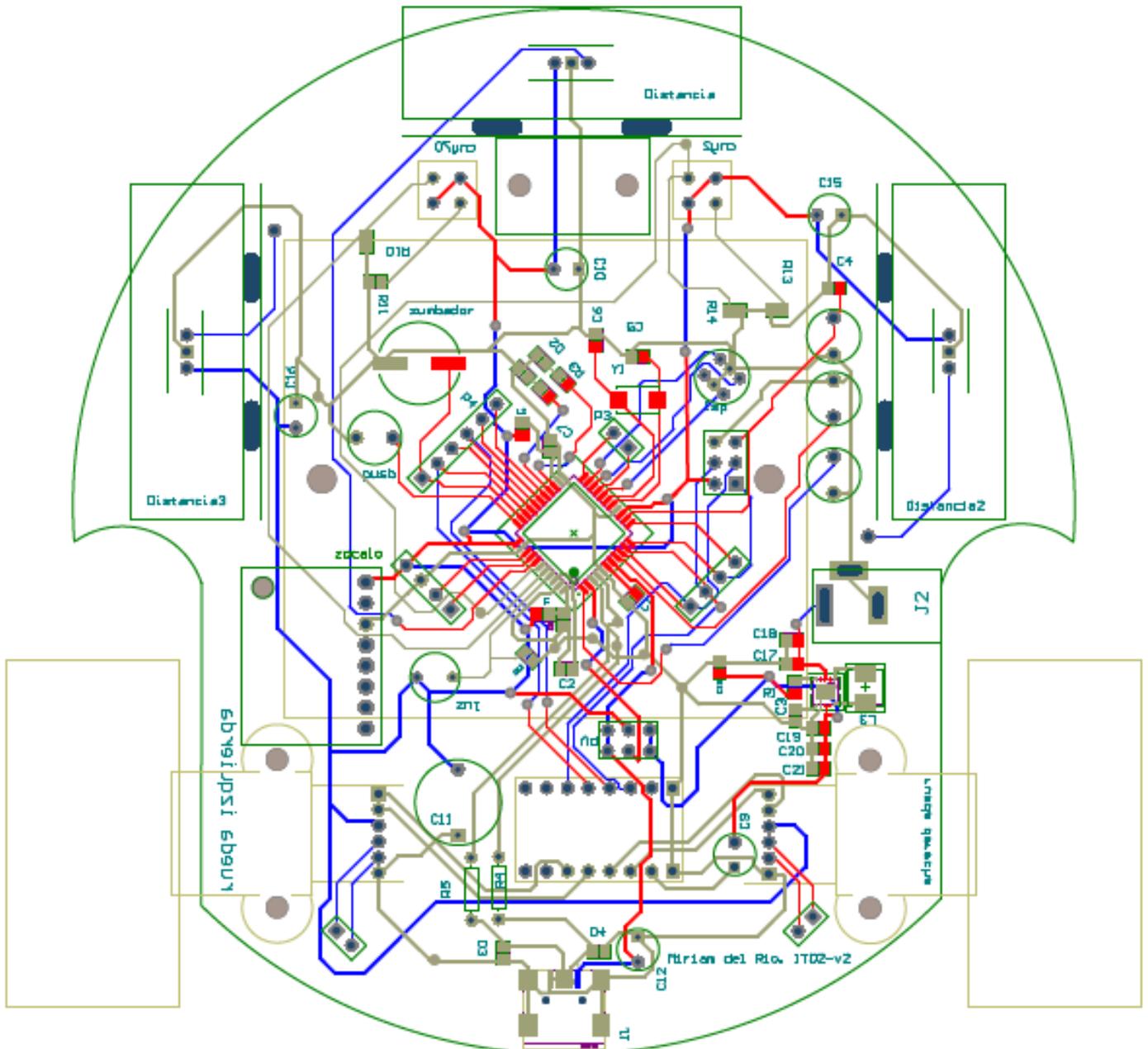


Figura 117: Flip

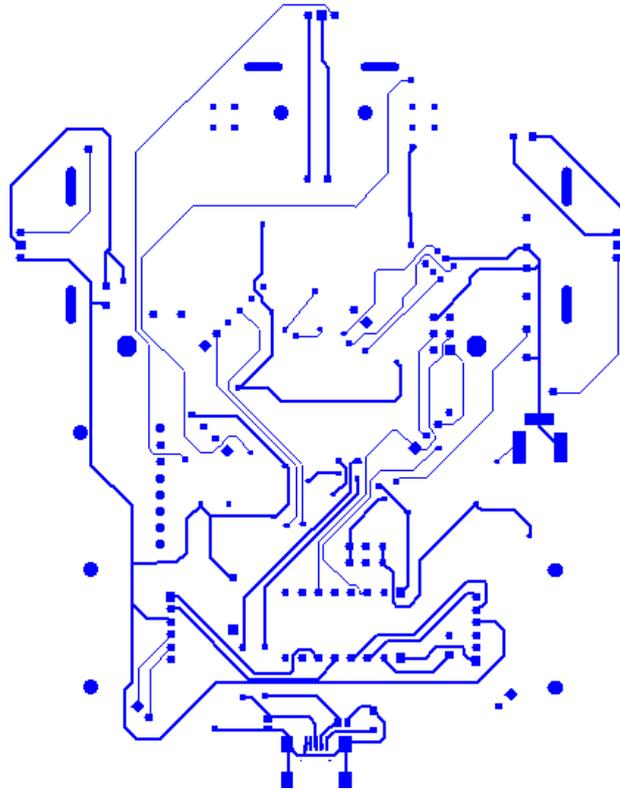
Ahora se debe cargar el archivo de extensión prueba.hex localizado en la carpeta del proyecto, para ello se pulsa el botón “Select EEPROM”. Una vez hecho esto se pulsan consecutivamente los botones “Run” y “Start Application”. Si no ha habido ningún mensaje de error, el programa se ha subido correctamente.

B Diseños del prototipo

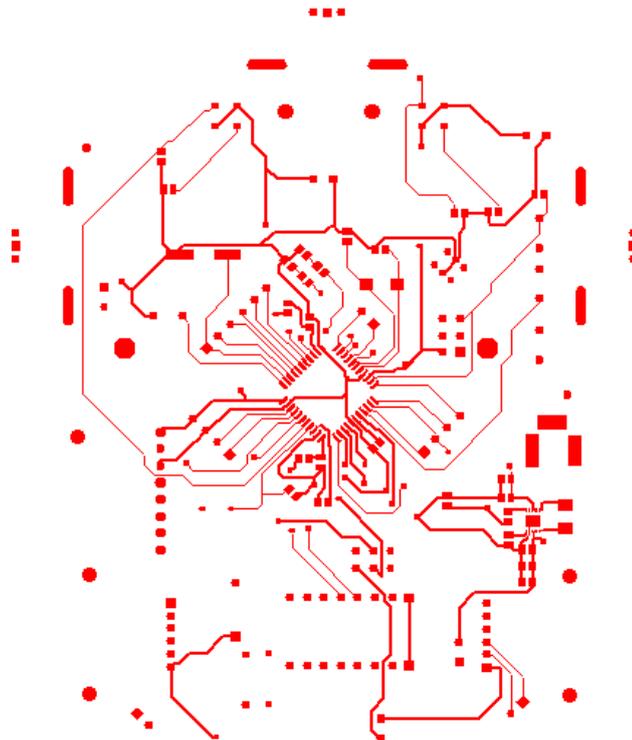
- Diseño del PCB



- Archivo Gerber capa botton



- Archivo Gerber capa top



PRESUPUESTO

1) Ejecución Material

- Compra de ordenador personal (Software incluido)..... 2.000 €
- Alquiler de impresora láser durante 18 meses..... 150 €
- Alquiler fresadora 500€
- Alquiler herramientas y máquinas..... 200€
- Material de oficina 150 €
- Material electrónico 250€
- Total de ejecución material 3250 €

2) Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material 520€

3) Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material 195 €

4) Honorarios Proyecto

- 1040 horas a 18 € / hora..... 15600 €

5) Material fungible

- Gastos de impresión..... 60 €
- Encuadernación..... 30 €

6) Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto..... 19655 €

7) I.V.A. aplicable

- 21% Subtotal Presupuesto 23782,55€

8) Total presupuesto

- Total Presupuesto..... 23782,55

Madrid, junio del 2015

La Ingeniera Jefe de Proyecto

Fdo.: Miriam del Río Valle
Ingeniera de Telecomunicación

PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de una plataforma docente para desarrollo con robots móviles: ITO-II. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total

pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.

2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.

3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.

6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.