

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**  
**Ingeniería de Telecomunicación**

**PLATAFORMA MODULAR DE APRENDIZAJE  
PARA ROBÓTICA MÓVIL**

**Jaime Díaz García**

**Julio 2016**



# **PLATAFORMA MODULAR DE APRENDIZAJE PARA ROBÓTICA MÓVIL**

**AUTOR: Jaime Díaz García**

**TUTOR: Guillermo González de Rivera Peces**



**Human Computer Technology Lab**

**Dpto. Tecnología Electrónica y de Comunicaciones**

**Escuela Politécnica Superior**

**Universidad Autónoma de Madrid**

**Julio 2016**



## **Resumen**

En este proyecto se ha realizado el diseño, desarrollo y construcción de una plataforma robótica de aprendizaje, a la que se ha dotado de un microcontrolador, de forma que ejerza de unidad central y una amplia variedad de sensores y actuadores. Esta plataforma robótica podrá ser utilizada para la docencia y el aprendizaje de forma gradual de todas las disciplinas y tecnologías implicadas.

Se ha realizado un estudio de sensores y tecnologías seguido de la debida selección de componentes que finalmente se han incorporado al diseño. Posteriormente se ha elaborado el diseño esquemático y el diseño del circuito impreso que supone la base de la plataforma sobre la que finalmente se han montado o soldado todos los componentes.

Además, como parte del proyecto, se han desarrollado una serie de rutinas escritas en lenguaje de programación c, de forma que facilite el uso de sensores y actuadores de una forma modular.

Por último, el proyecto presenta, de forma resumida, el conjunto de pruebas y medidas elaboradas.

## **Palabras Clave**

Robótica, aprendizaje, microcontrolador, sensores, rutinas.



## **Abstract**

This Bachelor Thesis has designed and constructed a learning robotic platform. This platform has been provided with a microcontroller, which works as the central unit, and a wide variety of sensors and actuators.

This learning robotic platform can be used for teaching and to gradually learn all disciplines and technologies involved.

A study of sensors and technologies has been performed, followed by the selection of components which have finally been included in the design. Later, schematic design and layout of the printed circuit has been made. It is the base of the platform on which the final mounted or welded components will be installed.

In addition, this project presents a series of routines written in C programming language, so as to facilitate the use of sensors and actuators in a modular way.

Finally, the project presents, in summary, the test framework and elaborated measures.

## **Key Words**

Robotics, learning, microcontroller, sensors, routines.





## Agradecimientos

*Me gustaría darle las gracias a mi tutor, Guillermo González de Rivera Peces, por compartir conmigo un poco de su tiempo y conocimientos.*

*Gracias a mis amigos Javier, Gonzalo, José David y Álvaro por tantos buenos momentos compartidos, y por su ayuda en los no tan buenos.*

*Gracias a toda mi familia y especialmente a mis padres, María Esperanza y Juan Miguel por su apoyo, su ayuda, su dedicación, sus valores y su cariño.*

*Gracias a Marga, por ser siempre la otra mitad de mi equipo.*



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1 .....	1
1. Introducción y objetivos .....	3
1.1 Motivación .....	3
1.2 Objetivos .....	4
1.3 Organización de la memoria.....	6
Capítulo 2 .....	7
2. Estado del arte.....	9
2.1 Introducción .....	9
2.2 Otros proyectos en el mercado .....	9
2.2.1 Arduino .....	9
2.2.3 Proyecto Bioloid de Robotis Kidslab.....	10
2.2.4 SR1 Robot móvil multifuncional .....	10
2.2.5 Robot Stellaris de Texas Instruments .....	11
2.3 Proyectos universitarios .....	12
2.3.1 Proyecto Buitá .....	12
2.3.2 Plataforma Robótica Didáctica Basada en la Arquitectura Software Player/Stage y en el Hardware de La Fonera.....	12
2.3.3 Plataforma Robótica Educativa ‘Robi’ .....	13
2.4 Proyectos desarrollados en el laboratorio HCTLab.....	14
2.5 Estudio de sensores, actuadores y tecnologías.....	16
2.5.1 Sensores de Proximidad.....	16
2.5.1.1 Láser .....	16
2.5.1.2 Inductivos/Capacitivos .....	17
2.5.1.3 Sensores ultrasónicos .....	18
2.5.1.4 Sensores infrarrojos.....	18
2.5.2 Diodos LED .....	19
2.5.3 Sensor de luz LDR.....	20
2.5.4 Zumbador, <i>buzzer</i> .....	21
2.5.5 Infrarrojo de corto alcance.....	21
2.5.6 Motorreductor .....	22
2.5.6 <i>Encoder</i> .....	23
2.5.7 Pulsadores .....	24
2.5.8 <i>Driver</i> de motor.....	25
2.5.9 Pantalla LCD .....	27
2.5.10 Sensores de temperatura.....	28
2.5.11 Detector de sonido.....	29
2.5.12 Receptor de control remoto .....	29
2.5.13 Módulo Giroscopio, Brújula y Acelerómetro. ....	30
2.5.14 Interruptor por detección de contacto .....	31
2.5.15 Regulador de tensión .....	31
2.5.16 Módulo de comunicación inalámbrica.....	32
2.5.17 Expansor de Puertos.....	33

2.6 Estudio de protocolos <i>software</i> .....	35
2.6.1 Protocolo de Comunicación Serie I <sup>2</sup> C.....	35
2.7 Microcontrolador.....	37
2.7.1 Definición.....	37
2.7.2 Selección de microcontrolador.....	38
Capítulo 3.....	41
3. Diseño.....	43
3.1 Introducción.....	43
3.2 Selección de componentes.....	43
3.2.1 Diosod LED.....	44
3.2.2 LED tricolor.....	44
3.2.3 Infrarrojo de corto alcance.....	45
3.2.4 Zumbador.....	45
3.2.5 <i>Encoder</i> .....	46
3.2.6 Motores.....	47
3.2.7 <i>Driver</i> .....	47
3.2.8 Detector de Sonido.....	49
3.2.9 Pantalla.....	49
3.2.10 Expansor de puertos I <sup>2</sup> C.....	51
3.2.11 Regulador de tensión.....	52
3.2.12 Módulo de orientación AltIMU.....	52
3.2.13 Receptor de control remoto.....	53
3.2.14 Interruptor de acción rápida.....	54
3.2.15 Módulo de comunicación inalámbrica.....	55
3.2.16 Sensor de proximidad.....	56
3.2.17 Fotorresistencia LDR.....	57
3.2.19 Sensor de temperatura.....	58
3.2.18 Pulsador.....	58
Capítulo 4.....	59
4. Desarrollo.....	61
4.1 Introducción.....	61
4.2 Diseño esquemático del circuito.....	62
4.3 Diseño del circuito impreso.....	73
4.4 Montaje y soldadura.....	78
4.5 <i>Software</i> .....	80
4.5.1. Herramienta de programación.....	80
4.5.2 Rutinas.....	81
4.5.2.1 Rutina Inicialización.....	81
4.5.2.2 Rutina LEDs.....	81
4.5.2.4 Rutina Pulsadores.....	83
4.5.2.5 Rutina Distancia.....	83
4.5.2.6 Rutina Fotorresistencia LDR.....	86
4.5.2.7 Rutinas de control del <i>driver</i> .....	86
4.5.2.8 Rutina Detección de Audio.....	87
4.5.2.10 Rutina Infrarrojos de corto alcance CNY70.....	87

4.5.2.9 Rutina Temperatura.....	88
4.5.2.10 Rutina Zumbador .....	88
Capítulo 5 .....	91
5. Pruebas y resultados.....	93
5.1 Introducción .....	93
5.2 Pruebas de sensores y actuadores.....	94
5.2.1 Funcionalidades del microcontrolador .....	94
5.2.2 Regulador de tensión.....	94
5.2.3 Prueba expansor de puertos .....	95
5.2.4 Prueba diodos LED .....	95
5.2.5 Prueba pulsadores .....	95
5.2.6 Prueba sensor de proximidad .....	96
5.2.7 Prueba Fotorresistencia LDR.....	97
5.2.8 Prueba <i>Driver</i> y motores.....	97
5.2.9 Prueba <i>Enconder</i> .....	97
5.2.10 Prueba detector de audio.....	98
5.2.11 Prueba sensores infrarrojos de corto alcance CNY70.....	99
5.2.12 Prueba sensor temperatura.....	100
5.2.13 Prueba regulador de tensión MCP1700 3,3V .....	100
5.2.14 Prueba módulo de comunicación inalámbrica.....	101
5.2.15 Prueba zumbador .....	103
Capítulo 6 .....	105
6 Conclusiones y trabajo futuro.....	107
6.1 Conclusiones.....	107
6.2 Trabajo futuro.....	107
Referencias.....	109
Anexos .....	I
A. Manual de usuario.....	I
B. Imágenes del diseño .....	III



# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 : PLATAFORMA ROBÓTICA DE ARDUINO	9
FIGURA 2: KIT DE ROBÓTICA PROYECTO BIOLOID	10
FIGURA 3: ROBOT SR1	10
FIGURA 4: ROBOT STELLARIS DE TEXAS INSTRUMENTS	11
FIGURA 5: PLATAFORMA ROBÓTICA DESARROLLADA POR LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES	12
FIGURA 6: PLATAFORMA ROBÓTICA EDUCATIVA 'ROBI'	13
FIGURA 7: PROYECTO ITO-I	14
FIGURA 8: PLACA GPBOT	14
FIGURA 9: SENSOR DE PROXIMIDAD TIPO LÁSER	16
FIGURA 10: COMPORTAMIENTO DEL HAZ DE LUZ REFLEJADO	16
FIGURA 11: ESQUEMA DE SENSOR CAPACITIVO	17
FIGURA 12: SENSOR CAPACITIVO	17
FIGURA 13: ESQUEMA SENSOR DE PROXIMIDAD ULTRASÓNICO	18
FIGURA 14: SENSOR DE PROXIMIDAD ULTRASÓNICO	18
FIGURA 15: COMPARATIVA SALIDA DE TENSIÓN SENSOR DE PROXIMIDAD INFRARROJO DIGITAL Y ANALÓGICO	19
FIGURA 16: SENSOR DE PROXIMIDAD INFRARROJO	19
FIGURA 17: SÍMBOLO ELÉCTRICO DIODO LED	19
FIGURA 18: IMÁGENES DADOS LED DE AGUJERO PASANTE O MONTAJE SUPERFICIAL	20
FIGURA 19: SÍMBOLO ELÉCTRICO FOTORRESISTENCIA LDR	20
FIGURA 20: FOTORRESISTENCIA LDR	20
FIGURA 21: ZUMBADOR	21
FIGURA 22: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO ZUMBADOR	21
FIGURA 23: SENSOR CNY70	22
FIGURA 24: ESQUEMAS DE MONTAJE SENSOR CNY70	22
FIGURA 25: REDUCCIÓN CON ENGRANAJES	23
FIGURA 26: <i>ENCODER</i> EFECTO HALL	23
FIGURA 27: ENCODER ÓPTICO RANURADO	24
FIGURA 29: ESQUEMA ELÉCTRICO 'PULL-UP' Y 'PULL-DOWN'	25
FIGURA 30: DRIVER 8833 TEXAS INSTRUMENTS	25
FIGURA 31: MODELO DRIVER POLOLU	26
FIGURA 32: GRÁFICA TENSIÓN TIEMPO MODIFICANDO EL ANCHO DE PULSO	26
FIGURA 33: PANTALLA LCD MONOCROMA	27
FIGURA 34: ESQUEMA TERMOPAR	28
FIGURA 35: ESQUEMA TERMORRESISTENCIA RTD	28
FIGURA 36: TERMISTOR	29
FIGURA 37: DETECTOR DE SONIDO	29
FIGURA 38: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO EMISOR Y DETECTOR INFRARROJO	30
FIGURA 39: RECEPTOR DE LUZ INFRARROJA	30
FIGURA 40: ESQUEMA DE ORIENTACIÓN MÓDULO IMU	30
FIGURA 41: PLACA ALTIMU	31
FIGURA 42: INTERRUPTOR POR DETECCIÓN DE CONTACTO	31
FIGURA 43: CONVERTIDOR BUCK-BOOST	32
FIGURA 44: MÓDULO DE COMUNICACIÓN <i>BLUETOOTH</i> HC-05	33
FIGURA 45: MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA XBEE PRO SERIES 2	33
FIGURA 46: ESQUEMA DE CONTROL INICIO-PARADA PROTOCOLO I <sup>2</sup> C	35
FIGURA 47: ESQUEMA DE COMUNICACIÓN PROTOCOLO I <sup>2</sup> C	36
FIGURA 48: DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR ATEMEGA32U4	38
FIGURA 49: MICROCONTROLADOR ATEMEGA32U4	39
FIGURA 50: DIODO LED MODELO LG R971	44
FIGURA 51: LED TRICOLOR MODELO ROHM SMLP34RGB2W3	44
FIGURA 52: SENSOR INFRARROJO DE PROXIMIDAD CNY70	45
FIGURA 53: ZUMBADOR MODELO KMTG1003-F	45
FIGURA 54: ENCODER POLOLU 3081	46

FIGURA 55: SALIDAS A Y B EN CUADRATURA DEL <i>ENCODER</i>	46
FIGURA 56: MOTORES MODELO POLOLU 3079	47
FIGURA 57: SOPORTE DE MONTAJE PARA MODELO MOTOR 3079 DE POLOLU	47
FIGURA 58: PLACA <i>DRIVER</i> POLOLU 2130	48
FIGURA 59: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO PLACA <i>DRIVER</i> POLOLU 2130	48
FIGURA 60: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO <i>DRIVER</i> 8833 TEXAS INSTRUMENTS	48
FIGURA 61: DETECTOR DE SONIDO POLOLU 1620	49
FIGURA 62: PANTALLA LCD MODELO MC21603A6W-BNML DE MIDAS DISPLAYS	49
FIGURA 63: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO PANTALLA LCD MODELO MC21603A6W-BNML DE MIDAS DISPLAYS	50
FIGURA 64: CONECTOR FPC 90° HEMBRA Y DE MONTAJE SUPERFICIAL	50
FIGURA 65: DIAGRAMA DE CONEXIÓN EXPANSOR TCA9535 DE TEXAS INSTRUMENTS	51
FIGURA 66: EXPANSOR DE PUERTOS TCA9535 DE TEXAS INSTRUMENTS	51
FIGURA 67: REGULADOR DE TENSIÓN MODELO TPS63061 DE TEXAS INSTRUMENTS	52
FIGURA 68: ESQUEMA ELÉCTRICO BLOQUE REGULAR DE TENSIÓN	52
FIGURA 69: MÓDULO DE ORIENTACIÓN POLOLU 2739	53
FIGURA 70: ESQUEMA DE CONEXIONES ALTIMU	53
FIGURA 71: RECEPTOR DE CONTROL REMOTO MODELO TSOP77438WTT DEL FABRICANTE VISHAY	54
FIGURA 72: INTERRUPTOR DE ACCIÓN RÁPIDA MODELO POLOLU 1403	54
FIGURA 73: MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA XB24-AWI-001	55
FIGURA 74: REGULADOR DE TENSIÓN MODELO MCP1700T-3302E/TT	55
FIGURA 75: SENSOR DE PROXIMIDAD MODELO SHARP GP2Y0A41SK0F	56
FIGURA 75: SALIDA DE TENSIÓN DEL SENSOR SHARP GP2Y0A41SK0F COMO FUNCIÓN DE LA DISTANCIA	56
FIGURA 76: FOTORRESISTENCIA LDR MODELO NSL-19M51	57
FIGURA 77: RESISTIVIDAD QUE OFRECE EL SENSOR EN FUNCIÓN DE LA INTENSIDAD LUMINOSA	57
FIGURA 78: SENSOR DE TEMPERATURA MODELO LM35DZ	58
FIGURA 79: ESQUEMA ELÉCTRICO SENSOR DE TEMPERATURA MODELO LM35DZ	58
FIGURA 80: PULSADOR MODELO EVQ11U05R	58
FIGURA 81: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES MICROCONTROLADOR	62
FIGURA 82: ESQUEMA PUERTOS MICROCONTROLADOR	63
FIGURA 83: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES PROGRAMADOR ISP	64
FIGURA 83: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES PUERTO USB	64
FIGURA 84: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES REGULADOR DE TENSIÓN	65
FIGURA 85: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES CONMUTADOR DE ALIMENTACIÓN	65
FIGURA 86: HOJA DE DISEÑO ESQUEMÁTICO DE SENSORES Y ACTUADORES INCORPORADOS	66
FIGURA 87: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES <i>ENCODER</i> , <i>DRIVER</i> Y MOTORES.	67
FIGURA 87: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DEL DETECTOR DE SONIDO Y LA FOTORRESISTENCIA LDR	67
FIGURA 88: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DE LOS SENSORES CNY70	68
FIGURA 89: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DEL SENSOR DE PROXIMIDAD Y EL SENSOR DE TEMPERATURA	68
FIGURA 90: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DEL ZUMBADOR	68
FIGURA 91: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DEL RECEPTOR DE INFRARROJOS	69
FIGURA 92: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA XBEE Y DEL CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN DEL MISMO	69
FIGURA 93: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE COMPONENTES A TRAVÉS DEL BUS I <sup>2</sup> C	70
FIGURA 94: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DEL EXPANSOR DE PUERTOS Y EL MÓDULO ALTIMU	70
FIGURA 95: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DE LA PANTALLA LCD	71
FIGURA 96: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DEL DIODO LED TRICOLOR Y LOS DIODOS LED ROJO Y VERDE	71
FIGURA 97: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DE LOS INTERRUPTORES DE ACCIÓN RÁPIDA	72
FIGURA 98: DISEÑO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES DEL PUERTO I <sup>2</sup> C PARA AMPLIACIONES	72
FIGURA 99: SOLDADURAS DE COMPONENTES <i>THROUGH HOLE</i> Y MONTAJE SUPERFICIAL	73
FIGURA 100: <i>FOOTPRINT</i> DE MICROCONTROLADOR Y REGULADOR DE TENSIÓN	73



FIGURA 101: <i>FOOTPRINT</i> DE MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA XBEE, PANTALLA Y RECEPTOR DE INFRARROJOS	74
FIGURA 102: IMAGEN DE LA HERRAMIENTA ALTIUM DESIGNER DURANTE EL PROCESO DE INCORPORACIÓN DE COMPONENTES	75
FIGURA 103: IMAGEN DE LA HERRAMIENTA ALTIUM DESIGNER DURANTE EL PROCESO DE COMPOSICIÓN DEL CIRCUITO	75
FIGURA 104: VERSIÓN FINAL DEL DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO PCB	77
FIGURA 105: ARCHIVOS DE SALIDA GERBER DE LAS CARAS <i>TOP</i> Y <i>BOTTOM</i>	77
FIGURA 106: PLACA DE CIRCUITO IMPRESO DURANTE LA FASE DE SOLDADURA EN EL TALLER HCTLAB	78
FIGURA 107: PLATAFORMA ROBÓTICA DURANTE LA FASE DE MONTAJE DE COMPONENTES	79
FIGURA 108: PLATAFORMA ROBÓTICA UNA VEZ COMPLETADO EL MONTAJE DE COMPONENTES	79
FIGURA 109: IMAGEN DE LA HERRAMIENTA ATMEL STUDIO DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE RUTINAS Y PROGRAMACIÓN DE LA PLATAFORMA	80
FIGURA 110: RELACIÓN DE LA FRECUENCIA DE RELOJ DEL PROTOCOLO I <sup>2</sup> C CON EL REGISTRO TWBR	81
FIGURA 111: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DEL REGISTRO TWCR	82
FIGURA 112: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DEL REGISTRO TWCR	82
FIGURA 113: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL BYTE QUE DIRECCIONA AL ESCLAVO	82
FIGURA 114: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS REGISTROS DE CONTROL DE LOS PUERTOS DEL EXPANSOR	82
FIGURA 115: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DEL REGISTRO ADMUX	84
FIGURA 116: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DEL REGISTRO ADCSRA	84
FIGURA 117: IMAGEN DE LA CONFIGURACIÓN DEL FACTOR DE DIVISIÓN CON LOS BITS 0, 1 Y 2 DEL REGISTRO ADCSRA	84
FIGURA 118: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DEL REGISTRO ADMUX PARA CONFIGURAR EL CANAL DE CONVERSIÓN	85
FIGURA 119: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DE LOS REGISTROS ADCL Y ADCH	85
FIGURA 120: IMAGEN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS ENTRADAS DE CONTROL DEL <i>DRIVER</i>	86
FIGURA 121: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DEL REGISTRO TNCT4	88
FIGURA 122: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DEL REGISTRO TCCR4A	88
FIGURA 123: IMAGEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BITS DEL REGISTRO TCCR4B	89
FIGURA 124: CONFIGURACIÓN DE LOS BITS COM4AX Y COM4BX DEL REGISTRO TCCR4A	89
FIGURA 125: CONFIGURACIÓN DE LOS BITS CS4X DEL REGISTRO TCCR4B	90
FIGURA 126: IMAGEN DE LA PLATAFORMA ROBÓTICA CONECTADA AL BUS ISP Y ALIMENTADA A TRAVÉS DE LA FUENTE FA-350 DEL FABRICANTE BLAUSONIC.	93
FIGURA 127: IMAGEN DEL OSCILOSCOPIO Y EL MULTÍMETRO UTILIZADOS DURANTE LA FASE DE PRUEBAS	93
FIGURA 128: PRUEBA REGULADOR DE TENSIÓN	94
FIGURA 129: PRUEBA DIODOS LED	95
FIGURA 130: PRUEBA SENSOR DE PROXIMIDAD (POR ENCIMA DEL UMBRAL)	96
FIGURA 131: PRUEBA SENSOR DE PROXIMIDAD (POR DEBAJO DEL UMBRAL)	96
FIGURA 132: PRUEBA FOTORRESISTENCIA LDR	97
FIGURA 133: SEÑALES DE SALIDA DEL <i>ENCODER</i> MOSTRADAS EN LA PANTALLA DE UN OSCILOSCOPIO	98
FIGURA 134: PRUEBA SENSORES CNY70 CON APLICACIÓN SEGUIDOR DE LÍNEA	99
FIGURA 135: PRUEBA SENSOR DE TEMPERATURA	100
FIGURA 136: VISTA EN DETALLE DEL REGULADOR DE TENSIÓN MCP1700 Y DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL MISMO	101
FIGURA 137: LA HERRAMIENTA XCTU DETECTA EN RED EL MÓDULO XBEE CON DIRECCIÓN MAC 0013A20040AA5EAD	101
FIGURA 138: POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL DISPOSITIVO FINAL MEDIDA CON LA HERRAMIENTA XCTU	102
FIGURA 139: POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL DISPOSITIVO FINAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO EN PRUEBA 3 METROS.	102
FIGURA 135: POTENCIA DE RECEPCIÓN A UNA DISTANCIA DE 30 METROS SIN VISIÓN DIRECTA	102

FIGURA 140: MÓDULO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA XBEE MONTADO SOBRE PLATAFORMA  
ROBÓTICA 103  
FIGURA 142: CONFIGURACIÓN EN ATMEL STUDIO DE LA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN I  
FIGURA 143: CONFIGURACIÓN EN ATMEL STUDIO DE LOS FUSIBLES DEL MICROCONTROLADOR II

# Capítulo **1**

## Introducción y objetivos



# 1. Introducción y objetivos

---

Desde que el matemático griego Arquitas construyera en el siglo IV A.C. un ave mecánica que funcionaba con vapor y a la que llamó ‘La Paloma’, el hombre no ha dejado de profundizar en el estudio de la tecnología y en sus posibles aplicaciones para construir máquinas cada vez más autónomas y avanzadas.

Esta automatización de procesos y la posibilidad de resolver problemas técnicos o mecánicos antes imposibles revolucionaron la industria, y se entendió que la idea de dotar de inteligencia artificial a una máquina le garantizaría cada vez más independencia y multiplicaría sus habilidades.

El desarrollo tecnológico de nuestra sociedad en los últimos años ha sido exponencial. Las nuevas tecnologías han pasado a formar parte de todos los ámbitos de nuestra vida cotidiana y las máquinas han sustituido al hombre en multitud de tareas.

Debido a esto, aprender robótica y todos los ámbitos que ésta abarca, como son el estudio de las tecnologías que incluye, diseño, construcción y programación, se presenta como fundamental en un mundo en el que el desarrollo tiene una dirección inequívoca.

## 1.1 Motivación

Desde el Grupo de Investigación HCTLab de la Escuela Politécnica Superior en la Universidad Autónoma de Madrid, se ha mostrado mucho interés en diseñar una plataforma robótica de aprendizaje que permita el estudio de esta disciplina y todas las materias que engloba, con niveles de profundización y dificultad adaptados a todas las fases del programa educativo.

De esta forma, se quiere diseñar un robot versátil y modular que podrá presentar varias versiones con componentes de mayor o menor dificultad y con un entorno de programación controlado e intuitivo para niveles básicos y totalmente libre para niveles universitarios.

Este carácter modular se traduce en un diseño con componentes intercambiables y abierto a ampliaciones. Se complementará con un entorno de programación que presente una interfaz donde el usuario pueda definir las funciones de sensores y actuadores con total libertad, dentro de un extenso catálogo.

Esta plataforma educativa puede significar la introducción definitiva en los programas docentes de materias con un vínculo muy profundo con el futuro, como son la electrónica o la programación. La difusión del proyecto en colegios e institutos permitirá a los alumnos adquirir los conocimientos en las disciplinas citadas anteriormente de manera gradual. En el ámbito universitario, en cambio, el alumno podrá profundizar en sus habilidades y ampliar de forma más especializada.

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es diseñar e implementar una plataforma robótica móvil y dotarla de una serie de sensores y actuadores que la habiliten para moverse e interactuar con el entorno.

Se dotará a la plataforma de una amplia variedad de componentes, de forma que facilite el aprendizaje de disciplinas como la electrónica, la informática, la inteligencia artificial, la ingeniería de control o la física así como todas las tecnologías necesarias y permita al usuario incrementar sus conocimientos en las mismas.

De esta forma, se diseñará un circuito impreso, que contendrá un microcontrolador, una serie de sensores y actuadores y toda la circuitería necesaria para su correcta conexión y programación.

Este proyecto entrará en conexión con el Trabajo de Fin de Grado “Entorno de programación para aplicaciones en robótica” escrito por William Luguaña, quien ha diseñado una interfaz gráfica que será utilizada por el usuario para controlar y programar el robot.

Tanto el diseño de la plataforma robótica, como de la interfaz gráfica tendrán un carácter modular. El montaje de los componentes sobre el PCB deberá facilitar que se pueda incorporar, retirar o intercambiar componentes.

Por otro lado se quieren definir varios niveles de dificultad en el diseño que permitan adaptar y utilizar la plataforma en las distintas fases del programa educativo.

De esta forma, utilizando un mismo diseño se podrán definir varios modelos simplemente retirando o incorporando componentes. El sistema de programación deberá reconocer los componentes que han sido implementados en el modelo concreto que se conecte y permitir sólo la programación de éstos.

Se espera obtener, por tanto, una plataforma robótica móvil que permita el aprendizaje y la docencia de la robótica desde diferentes niveles, profundidad y disciplinas.

Para cumplir con los objetivos propuestos, el proyecto deberá elaborarse siguiendo la siguiente metodología:

En primer lugar, se llevará a cabo un estudio profundo de tecnologías y modelos de sensores y actuadores que incorporará la plataforma, para posteriormente llevar a cabo su debida selección, siguiendo criterios de optimización, ajuste a requisitos, fiabilidad y coste.

En segundo lugar, se procederá a realizar el diseño esquemático del circuito utilizando la herramienta Altium Designer. El sistema electrónico del robot deberá funcionar como un sistema de entrada-proceso-salida. Las entradas vendrán definidas por la lectura de los sensores y las salidas deberán controlar los actuadores del robot. Posteriormente, y

utilizando el mismo *software*, se diseñará el circuito impreso. Finalmente, se procederá a la fabricación de la misma y soldado del conjunto de componentes.

Posteriormente a la etapa de diseño y fabricación, se deberán implementar una serie de rutinas de control para sensores y actuadores dentro de una librería conjunta y que funcionen como módulos independientes de forma que posteriormente puedan ser combinadas. Estas rutinas serán progresivamente instaladas en el microcontrolador para probar todos los componentes.

Por último, este proyecto entrará en conexión con el Trabajo de Fin de Grado “Entorno de programación para aplicaciones en robótica” escrito por William Luguana, de forma que la plataforma robótica pueda ser controlada y programada utilizando la interfaz software de su diseño. Además, ésta deberá adaptarse a los diferentes diseños con dificultad y profundidad progresiva. Así, en los diseños básicos, el usuario deberá ser capaz de programar el robot utilizando un sistema sencillo e intuitivo y, sin embargo, en los diseños más avanzados tendrá acceso total al código y a todas las funcionalidades.

## 1.3 Organización de la memoria

Esta memoria consta de los siguientes apartados:

- **Introducción y objetivos:** tras una breve introducción, expone las motivaciones y los objetivos del proyecto.
- **Estado del arte:** realiza una breve presentación del mundo de la robótica para contextualizar el proyecto y expone otros proyectos similares. Además, presenta un estudio de sensores y actuadores así como de las diferentes tecnologías que estos utilizan.
- **Diseño:** refleja los requisitos para la selección de componentes y presenta la misma
  - **Selección de componentes:** presenta una lista con los sensores y actuadores incorporados al diseño así como sus especificaciones técnicas.
- **Desarrollo:** presenta, detalladamente, el proceso de diseño y construcción de la plataforma robótica y se subdivide en los siguientes apartados:
  - **Diseño esquemático del circuito:** detalla las conexiones eléctricas entre componentes.
  - **Diseño del circuito impreso:** resume el proceso de diseño del circuito impreso.
  - **Montaje y soldadura:** resume el proceso de montaje de la plataforma robótica.
  - **Software:** presenta las rutinas de control de las funcionalidades del robot desarrolladas y detalla su funcionamiento.
- **Pruebas y resultados:** detalla las pruebas realizadas, los objetivos de éstas y los resultados de las mismas.
- **Conclusiones y trabajo futuro:** presenta las conclusiones finales una vez completado el proyecto y expone posibilidades de ampliación y mejoras.
- **Anexos.**



# Capítulo **2**

Estado del arte



## 2. Estado del arte

---

### 2.1 Introducción

En un mundo donde el desarrollo tecnológico se ha convertido en la piedra angular del progreso de nuestra sociedad, el aprendizaje de la robótica puede proporcionar un vínculo muy fuerte con el futuro.

En los últimos años, la robótica educativa ha crecido hasta terminar incorporándose a los propios programas docentes españoles y europeos [1].

El objetivo de esta disciplina no es otro que el del aprendizaje del diseño, fabricación y programación de robots utilizando herramientas y componentes más o menos complejos.

### 2.2 Otros proyectos en el mercado

Algunas empresas han desarrollado modelos de robots orientados a la docencia que se encuentran comercializados actualmente. Además, existen proyectos universitarios que han diseñado plataformas de aprendizaje. Entre todos ellos, destacan los siguientes:

#### 2.2.1 Arduino

Arduino [2] es una compañía de hardware libre, que desarrolla plataformas que integran un microcontrolador, conectores periféricos para manejar sensores y actuadores y que incluyen un entorno de desarrollo software.

El proyecto se inicia en el año 2006 en el instituto IVREA, en Italia.

Desde entonces esta empresa fabrica placas con un coste bajo y que presentan características ideales para familiarizarse con proyectos que interactúen con el entorno

El robot de Arduino utiliza un microcontrolador Atmega32U4. Tiene numerosos puertos de entrada y salida con los que interactuar con elementos periféricos como un altavoz, brújula, diodos LED, pulsadores, una pantalla LCD o sensores infrarrojos seguidores de línea. Tiene un coste de 164€.

En definitiva se presenta como una plataforma muy completa para aprender robótica.

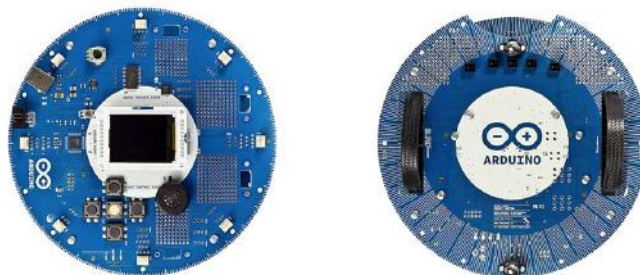


Figura 1 : Plataforma Robótica de Arduino

### 2.2.3 Proyecto Bioloid de Robotis KIdslab

Esta empresa [4] ha desarrollado un kit educativo de robótica pensado para que el usuario diseñe sus propios modelos de robot inspirados en seres vivos.

Proporcionan un kit flexible y modular con el que construir diferentes configuraciones que posteriormente serán programadas.

Algunos modelos pueden llegar a integrar hasta 18 motores, y tres de ellos se pueden montar con forma humanoide. Este modelo de plataforma educativa destaca por la capacidad que proporciona al usuario para profundizar en el aprendizaje de articulaciones robóticas.



Figura 2: Kit de Robótica Proyecto Bioloid

### 2.2.4 SR1 Robot móvil multifuncional

SR1[5] es un robot multifuncional enfocado al aprendizaje del desarrollo y construcción de robots móviles de experimentación. La idea de diseño original buscó una relación de equilibrio entre un número muy elevado de funciones y un entorno de programación amigable y relativamente sencillo que permitiera el aprendizaje para usuarios no demasiado avanzados, y que facilita el propio desarrollador.

Además, está diseñado para interactuar de manera autónoma con el entorno debido a su robustez y a la calidad de sus materiales.

Entre los sensores que incorpora destacan sensores de contacto, de inclinación, de luz, de infrarrojos, de distancia por ultrasonido, de temperatura y una brújula.

Por otro lado, cuenta con dispositivos de salida como un zumbador piezoeléctrico, diodos LED o radio módem.



Figura 3: Robot SR1

Con el kit completo se proporciona al cliente una versión actualizada del software con el juego de programas y ejemplos para aprender a controlar el robot sin dificultades. Incluye la opción de programación libre además de funciones predefinidas como 'Navegación inteligente' o 'Perro guardián'.

También se incluyen programas para el ordenador que permiten el control remoto del robot, de los datos s3nar o de su c3mara de video.

Se han lanzado al mercado tres versiones del robot, actualizables entre s3, que permiten escoger la dificultad y la autonom3a y que van incorporando funcionalidades. La versi3n b3sica tiene un coste de 321,05€.

### 2.2.5 Robot Stellaris de Texas Instruments

Esta versi3n de robot educativo [6] desarrollada por Texas Instruments utiliza el microcontrolador LM3S9B92 y se comercializa en un completo kit que incluye todo el hardware y el software necesario para que el usuario pueda sacarle el m3ximo rendimiento.

Se puede alimentar v3a 4 pilas AA o bien a trav3s del puerto mini USB. Destaca por incorporar dos conectores macho de montaje para PCB de 20 pines que permiten futuras conexiones inal3mbricas con m3dulos de radio de baja potencia estandarizados por Texas Instruments y una pantalla OLED. Adem3s, es capaz de reproducir archivos con la extensi3n WAV almacenados en la memoria FLASH interna del microcontrolador.

Tambi3n incorpora conector de tarjeta micro-SD, c3dec de audio I2S con altavoz y conector RJ45 Ethernet. Se puede encontrar en el mercado desde 128,16€.



Figura 4: Robot Stellaris de Texas Instruments

## 2.3 Proyectos universitarios

Existen además, algunos proyectos universitarios de interés que han desarrollado plataformas robóticas de aprendizaje, entre los que destacan los siguientes

### 2.3.1 Proyecto Buitá

El proyecto Buitá [7] desarrolló, en la Universidad de la República de Montevideo, una plataforma robótica de software y hardware libre que presentan en un kit con módulos intercambiables, de forma que estos puedan ser combinados para darle distintas funcionalidades.

Está pensado para que investigadores y usuarios compartan con la comunidad avances, pruebas y posibles errores de forma que el proyecto pueda ir creciendo de forma realimentada.

Además, el grupo Buitá imparte cursos de formación de distintos niveles y actividades de sensibilización de la materia para niños

### 2.3.2 Plataforma Robótica Didáctica Basada en la Arquitectura Software Player/Stage y en el Hardware de La Fonera

La universidad de Alcalá de Henares ha desarrollado una plataforma robótica basada en la Arquitectura Software Player/Stage y en el Hardware de La Fonera [8]. El proyecto, dirigido por los profesores Guillermo Asín Prieto y Julio Pastor Mendoza, utiliza el robot Cyborg/DepecaBot que implementa el protocolo ARCOS como elemento de comunicación con el exterior. Como plataforma de comunicación y control de alto nivel utiliza el entorno Player/Stage implementado, en vez de sobre un PC empotrado de altas prestaciones, sobre un punto de acceso Wi-Fi.

Además, el proyecto incluye una interfaz web que permite control remoto, lectura de las salidas de los sensores que incorpora y todo ello monitorizado desde una cámara que permite seguir a tiempo real el estado y movimientos del robot.

El objetivo del proyecto, una vez más, es disponer de un entorno de desarrollo robótico independiente.



Figura 5: Plataforma Robótica desarrollada por la universidad de Alcalá de Henares

### 2.3.3 Plataforma Robótica Educativa ‘Robi’

Proyecto desarrollado por la Universidad de Pamplona como parte de una investigación de mayor alcance en Tecnología Robótica y que desarrolló, en 2011, un robot móvil que funcionará como prototipo para las pruebas preliminares de un programa de robótica educativa [9]. Está orientado a fortalecer competencias básicas en estudiantes de nivel básico, medio y superior en Colegios, institutos técnicos, tecnológicos y Universidades.

Funciona con una batería de ion litio de 3.7V, recargable a través de un puerto USB. Utiliza el microcontrolador PIC 18F4550, con 35 entradas/salidas de propósito general. Además, incorpora un detector de luz con salida digital, un sensor de proximidad entre 5 y 15 cm, LEDs, un sensor de carga de batería y un timbre piezoeléctrico.

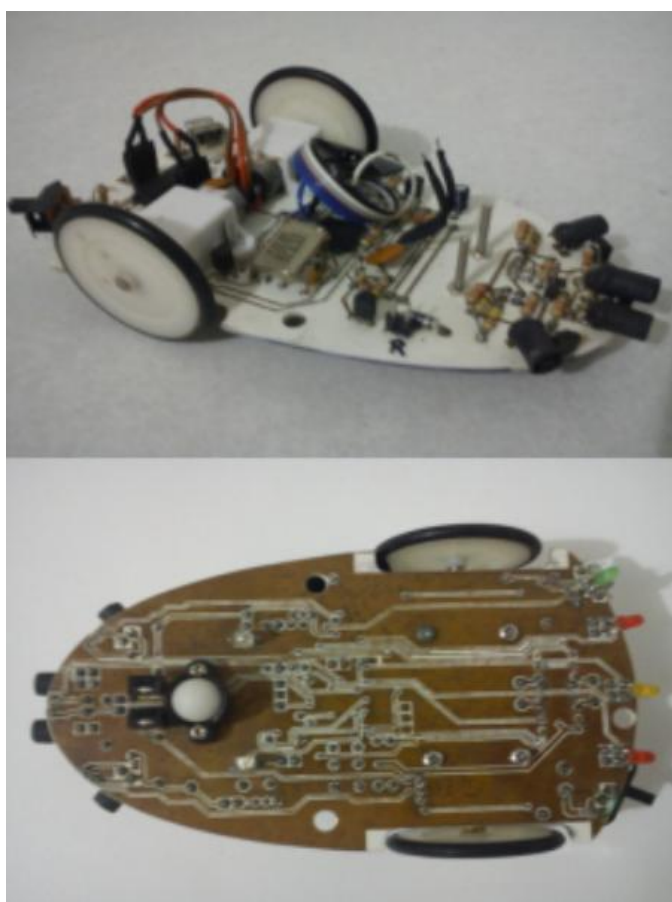


Figura 6: Plataforma Robótica educativa ‘Robi’

El proyecto presenta, además, una interfaz gráfica intuitiva que permite al usuario manejar las numerosas funciones del robot de manera sencilla a través de la programación por bloques.

## 2.4 Proyectos desarrollados en el laboratorio HCTLab

En cuanto a los proyectos desarrollados por el Hardware & Control Technology Laboratory, en la Escuela Politécnica Superior de la UAM, destacan los robots ITO-I e ITO-II.

El proyecto ITO-I surgió por la necesidad de incorporar una herramienta con la que los alumnos de la EPS UAM pudieran desarrollar las prácticas de la asignatura de Robótica y aprender, de esta forma, a manejar sensores y actuadores básicos. Se compone de una plataforma metálica con ruedas tipo 'oruga', dos motores y un conector para establecer conexión con la placa que irá incorporada dentro del chasis.

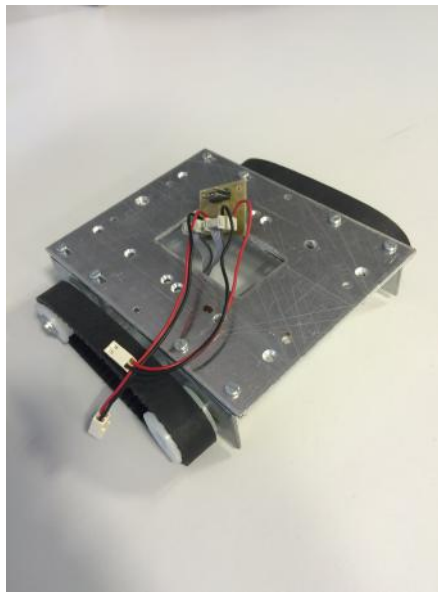


Figura 7: Proyecto ITO-I

El módulo hardware es la placa GPBOT, desarrollada por el mismo laboratorio y que incorpora el microcontrolador MC68HC908GP32 de Motorola (8 bits). Este microcontrolador tiene 4 puertos de Entrada/Salida de propósito general, entradas para un conversor analógico-digital y unidades de comunicación serie.

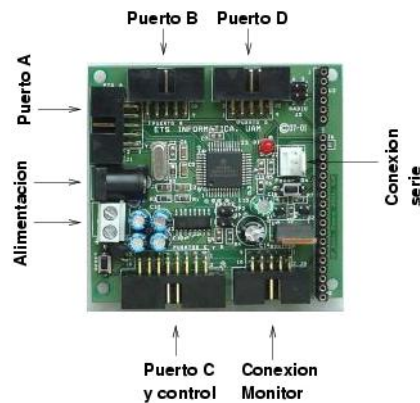


Figura 8: Placa GPBOT



Además, la placa incorpora un bus de expansión, un conector para cable monitor y conexión directa con la tarjeta GP\_IFAZ, para controlar hasta 4 motores de corriente continua y conectar 4 sensores de infrarrojos. Esta segunda placa se encuentra inmediatamente por debajo de la primera.

El robot ITO-II, desarrollado por el mismo laboratorio, se diferencia del primero en que la placa forma parte del propio chasis. Se compone de microcontrolador ATMEGA 32U4 de la empresa Atmel, conector ISP de programación, puerto USB, conector JACK de alimentación y numerosos sensores y actuadores.

Entre éstos, destacan:

- Dos motores con motorreducción 298:1 y driver 8833 de Texas Instruments
- Un zumbador piezoeléctrico
- LEDs
- Fotorresistencia LDR
- Pulsadores
- Dos sensores CNY70 para la función de seguidor de línea
- Sensor de Proximidad

## 2.5 Estudio de sensores, actuadores y tecnologías

### 2.5.1 Sensores de Proximidad

Se quiere incorporar al robot de un sensor de proximidad con el objetivo de dotarle de capacidad para detectar objetos y medir la distancia a la que se encuentran. Se han estudiado las siguientes tecnologías:

#### 2.5.1.1 Láser

Los láseres de triangulación proyectan un haz de luz sobre la superficie a medir, y este haz se refleja en el objeto sobre el foto-detector del aparato con un cierto ángulo de inclinación, función de la distancia medida. En este caso el rango de detección puede llegar hasta los 75cm.



Figura 9: Sensor de proximidad tipo Láser

Existe otro tipo de láser capaz de medir distancias más largas. El principio de funcionamiento es distinto, se utiliza la comparación de fase.

El láser envía un haz de luz con diferentes frecuencias y compara la señal que se ha reflejado en el objeto a medir con el valor de referencia interno. En este caso el rango de medida puede llegar hasta los 100 metros.

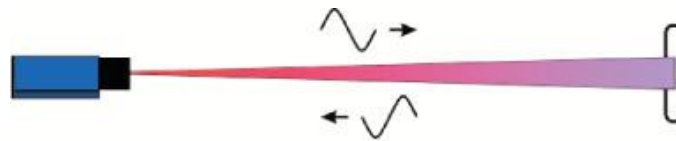


Figura 10: Comportamiento del haz de luz reflejado

Entre sus ventajas se encuentra que los sensores que utilizan estas tecnologías detectan objetos de tamaño pequeño con alta precisión. Utilizan un haz visible de fácil alineación y tienen un rango de detección mucho mayor que sensores que utilizan luz roja o infrarroja visible estándar.

Sin embargo, precisan de una superficie reflectora o bien un segundo sensor en una posición fija que haga las veces de detector. Por tanto, a nivel funcional, esto complica la incorporación de este tipo de sensores en el robot. Son más apropiados para aplicaciones de automatización industrial.

### 2.5.1.2 Inductivos/Capacitivos

Estos sensores se emplean para la identificación de objetos, para funciones contadoras y para toda clase de control de nivel de carga de materiales sólidos o líquidos. También son utilizados en algunos dispositivos de pantalla táctil.

El principio de funcionamiento [10] de estos sensores se basa en la medición de los cambios de capacitancia eléctrica de un condensador en un circuito resonante RC, ante la proximidad de cualquier material. Están basados en osciladores, cuya frecuencia de oscilación varía al aproximar un objeto.

La capacitancia del circuito resonante se altera cuando un objeto u otro medio material irrumpe en la zona activa de conmutación. La corriente del oscilador también aumenta, y cuando esta alcanza un valor determinado se activa el disparador *Trigger* y el dispositivo de salida conmutará.

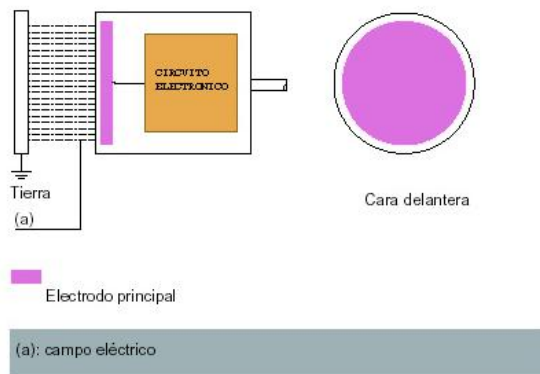


Figura 11: Esquema de sensor capacitivo

Como en el caso de los láser, la mayoría de las aplicaciones de estos sensores son industriales. La distancia de detección máxima (10-15mm), hace poco funcional la incorporación del mismo en el robot.



Figura 12: Sensor capacitivo

### 2.5.1.3 Sensores ultrasónicos

Son sensores de proximidad que pueden detectar cualquier material, independientemente del color, superficie y forma [11]. Trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros.

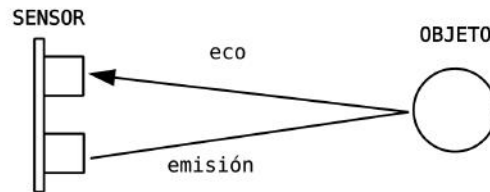


Figura 13: Esquema sensor de proximidad ultrasónico

El sensor emite un sonido (onda sonora) y mide el tiempo que la señal tarda en regresar, que dependerá de la distancia a la que se encuentre el objeto. El eco producido se interpretará en una salida de tensión continua determinada.

El problema que presentan estos dispositivos son las zonas ciegas (comprendidas entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable)



Figura 14: Sensor de proximidad ultrasónico

### 2.5.1.4 Sensores infrarrojos

Sensores de proximidad compuestos de un emisor infrarrojo y un receptor que suele ser un fototransistor o un fotodiodo [12]. El circuito amplifica la señal de salida de tensión determinada por la distancia al objeto. Se utilizan LEDs infrarrojos y luz modulada para garantizar una gran inmunidad a la luz ambiental.

Cuando el fototransistor recibe el reflejo que se ha producido sobre el objeto del haz infrarrojo emitido, éste incide sobre la base del mismo generando portadores en ella que permiten el paso de la corriente llevando al transistor al estado de conducción. Esto origina una salida de tensión determinada por la distancia al objeto en cuestión.

Existen de salida analógica (provee a la salida de una tensión función de la distancia al objeto) o digitales, cuya salida se activa superado un cierto umbral y tienen aplicaciones más enfocadas a la detección de objetos o a evitar colisiones que a la medida de una distancia.

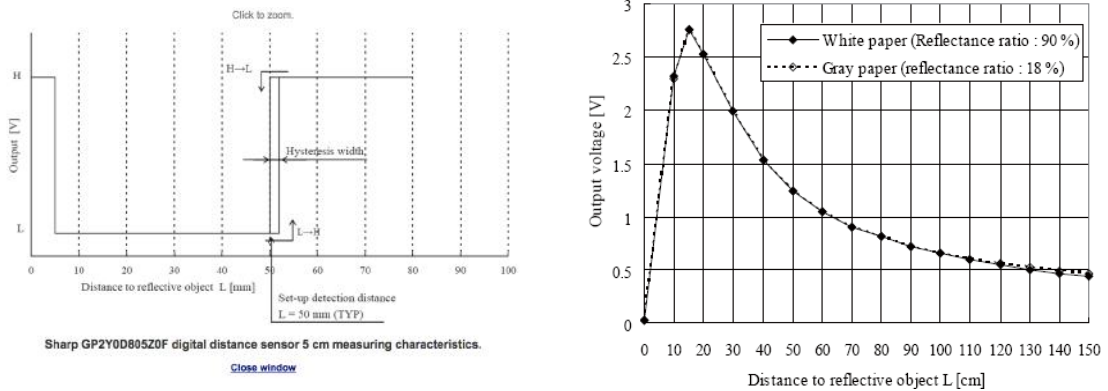


Figura 15: comparativa salida de tensión sensor de proximidad infrarrojo digital y analógico

Entre las ventajas de este tipo de sensores se encuentra la precisión que garantizan y su bajo coste. Pueden detectar objetos a distancias de hasta 80cm [13]



Figura 16: Sensor de proximidad infrarrojo

## 2.5.2 Diodos LED

Un diodo LED es un dispositivo optoelectrónico pasivo, un diodo que emite luz.



Figura 17: Símbolo eléctrico diodo LED

Se incorporan con el objetivo de ser utilizados como indicadores luminosos, pero también tienen utilidades relacionadas con tecnologías avanzadas de comunicaciones y control.

En cuanto a los modelos, pueden encontrarse desde los clásicos en un color, tricolor RGB, o con encapsulado superficial 0805



Figura 18: Imágenes didos LED de agujero pasante o montaje superficial

### 2.5.3 Sensor de luz LDR

Un sensor de luz LDR o fotorresistencia es un sensor capaz de detectar cambios en la luminosidad incidente modificando la resistencia que éste presenta al paso de corriente.

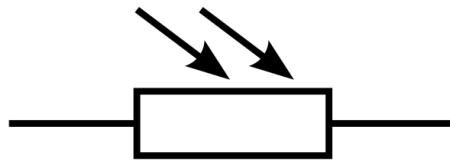


Figura 19: Símbolo eléctrico Fotorresistencia LDR

Están fabricados con un semiconductor de alta resistencia. Con la luz incidente apropiada, los fotones son absorbidos y los electrones tienen la suficiente energía para saltar a la banda de conducción, de esta forma disminuye la resistencia que el sensor presenta al paso de la corriente.

Son, así, transductores de la luminosidad ambiental a una señal de tensión dependiente de la misma. La resistencia de los sensores LDR varía entre  $1M\Omega$  en la oscuridad y  $100\Omega$  con luz intensa.



Figura 20: Fotorresistencia LDR

### 2.5.4 Zumbador, *buzzer*

Un zumbador, o *buzzer*, es un transductor electroacústico que produce un sonido o zumbido continuo o intermitente de un mismo tono (generalmente agudo). Se quiere introducir como mecanismo de señalización o aviso.



Figura 21: Zumbador

Los zumbadores piezoeléctricos están formados por dos conductores separados por cristales piezoeléctricos, los cuales se deforman cuando se aplica una tensión entre sus caras generando una onda sonora.

En cambio, los zumbadores electrostáticos están compuestos por tres placas metálicas con sus centros alineados. Las dos exteriores ejercen de condensador, sobre ellas se aplica una diferencia de potencial, éstas generan un flujo magnético que hace vibrar a la placa central.

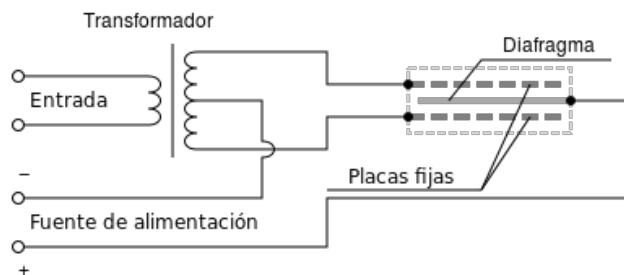


Figura 22: Esquema de funcionamiento zumbador

### 2.5.5 Infrarrojo de corto alcance

Los sensores infrarrojos de corto alcance CNY70 [14] cuenta con un emisor de luz (fotodiodo) y un receptor (fototransistor), ambos apuntando en la misma dirección. El fotodiodo emite un haz de luz infrarroja que se refleja en mayor o menor medida dependiendo de la naturaleza del material (color, textura,... ) y activa el paso de la corriente a través del fototransistor.

Midiendo la tensión de salida en el emisor del fototransistor somos es posible saturar a negro/blanco o bien calibrar a 3 o 4 superficies concretas, pudiendo realizar funciones de identificación de diferentes superficies.

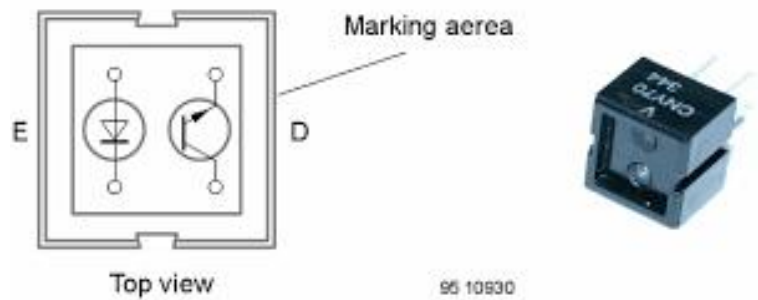


Figura 23: Sensor CNY70

Conectar la salida del sensor a una entrada de un conversor analógico-digital permite la detección dinámica de blanco y negro (muy útil cuando el recorrido presenta alteraciones en la iluminación). Si empleamos los sensores sobre superficies de distinto color, se debe establecer un mecanismo para la distinción entre los mismos, lo que cual se puede conseguir calibrando el sensor sobre valores concretos.

Este sensor requiere de un circuito de acondicionamiento basado en dos resistencias para una correcta polarización. En el montaje A, la salida de tensión para el microcontrolador está en el emisor, y en el montaje B en el colector.

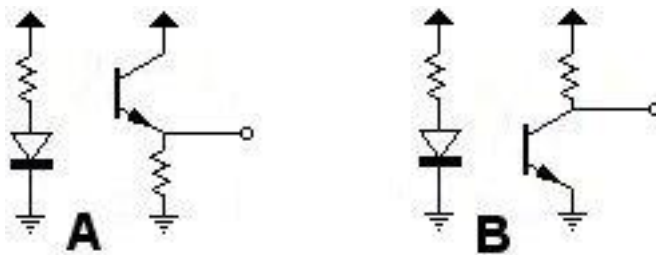


Figura 24: Esquemas de montaje sensor CNY70

### 2.5.6 Motorreductor

Los motorreductores son reductores de engranajes y a menudo pueden ser variadores de la velocidad. Pueden ser monofásicos ó trifásicos. Funcionan con una relación de reducción elemental  $n:1$  y combinaciones de las mismas y se denominan motorreductores sólo si tienen un motor acoplado directamente.

Los motorreductores consiguen aumentar el par motor. Éste se define como el cociente entre la potencia(HP) y la velocidad de giro (rpm). Ambas características están relacionadas y dependen la una de la otra, y por tanto el par permitirá que podamos girar una determinada carga con mayor o menor capacidad.



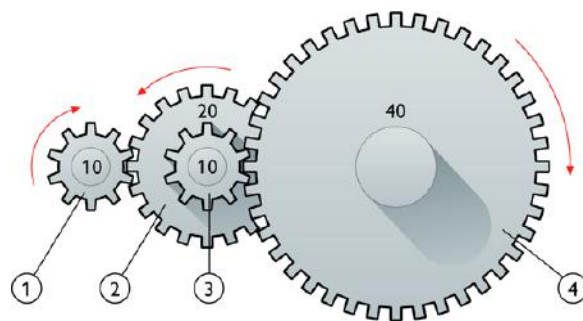


Figura 25: Reducción con engranajes

En el mercado puede encontrarse una amplia variedad de motorreductores y relaciones de reducción, desde 5:1 hasta 5000:1, referido a la relación entre diámetros y por tanto a las vueltas que debería dar el eje principal del motor por cada vuelta de la extensión del mismo con la velocidad de giro reducida.

### 2.5.6 Encoder

Un *encoder* (en este caso un codificador rotatorio) es un transductor capaz de convertir una posición angular en un código digital. Con la información que proporcionan es posible determinar la dirección de giro y la velocidad.

Entre las tecnologías que realizan esta función se encuentra el *encoder* efecto Hall y los optoelectrónicos.

El *encoder* de efecto Hall es sensible a la aparición de un campo magnético generado por la presencia de un disco conectado de forma solidaria al eje del motor.



Figura 26: Encoder efecto Hall

Utilizando dos canales de salida en cuadratura y midiendo el tiempo que dura el cambio de polaridad se puede determinar la información de la que precisamos una vez correctamente procesada.

El *encoder* optoelectrónico [15] es un dispositivo mecánico consistente en una extensión del eje del motor sobre la que se coloca un disco ranurado. Si se hace pasar este disco a través de un dispositivo que disponga de un diodo emisor de luz infrarroja y un fototransistor, este tendrá una tensión de salida de 1 o 0 dependiendo de que el haz infrarrojo alcance o no el receptor (habrá un 1 en las zonas agujereadas y un cero en las opacas). De nuevo, utilizando dos canales midiendo el ancho de pulso, es posible determinar la velocidad angular y el sentido de giro.

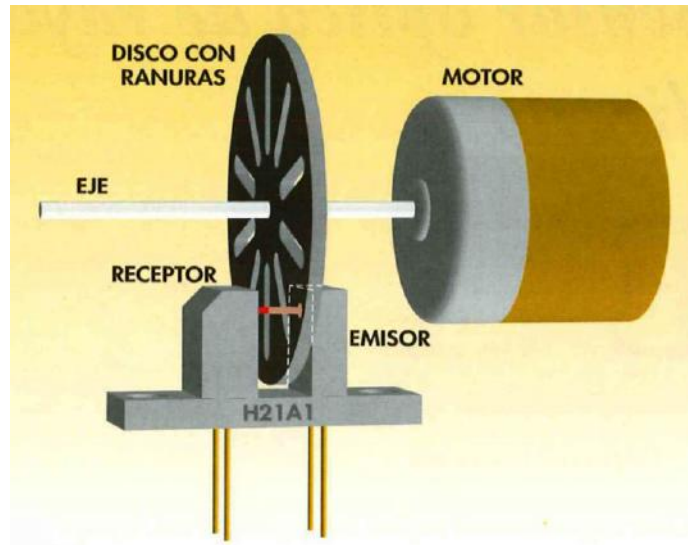


Figura 27: Encoder óptico ranurado

### 2.5.7 Pulsadores

Los pulsadores son dispositivos que funcionan como interruptores eléctricos permitiendo el paso de la corriente mientras son activados y se les asigna una función determinada, desde encendido de diodos LED hasta activación del RESET. Cuando ya no se presiona sobre él vuelven a la situación de reposo. Pueden ser de contacto normalmente abierto en reposo (NO), o de contacto normalmente cerrado en reposo (NC).

Cuentan con una lámina conductora que establece contacto eléctrico cuando éstos se pulsan y un muelle que lo hace regresar a su posición original al dejar de pulsar.



Figura 28: Pulsadores

Los circuitos de acondicionamiento más habituales son los de tipo *Pull-up* y *Pull-down*, y se refieren a la salida digitalizada del circuito en los casos de pulsador accionado y

pulsador sin accionar. El circuito consta de un divisor de tensión entre una resistencia y el interruptor.

Así, en el caso *Pull-up* la salida del circuito, determinada en la figura por  $V_{out}$ , será un 1 mientras no se active el pulsador, ya que  $R1$  es mucho menor que la resistencia eléctrica que representa un circuito abierto, y por tanto la mayor caída de tensión de  $V_{cc}$  será en el pulsador y  $V_{out}$  será prácticamente  $V_{cc}$ . En el caso de pulsar, en cambio, el pulsador ejerce de cortocircuito y toda la tensión cae en  $R1$ , siendo la salida un 0.

Un análisis equivalente lleva a la conclusión de que para el circuito *Pull-down* la salida es un 0 mientras no se active el pulsador y un 1 cuando éste se activa

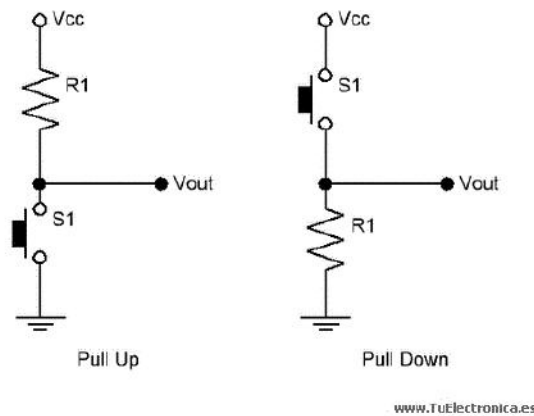


Figura 29: Esquema eléctrico 'pull-up' y 'pull-down'

### 2.5.8 *Driver* de motor

Los *drivers* de motor son dispositivos que incluyen toda la circuitería de control necesaria para manejar uno o varios motores de corriente continua, alterna o motores paso a paso. Además, ejercen de amplificadores de corriente, tomando una señal de control de baja corriente y amplificándola hasta una capaz de manejar el motor.

Dependiendo del modelo, estos *drivers* son capaces de manejar inicio, parada, dirección o velocidad. Las diferencias entre los mismos se refieren básicamente a las especificaciones técnicas (tensión de trabajo y amperaje que es capaz de proveer a cada motor que maneja).



Figura 30: driver 8833 Texas Instruments

Algunos desarrolladores de componentes electrónicos, como Pololu [16], han implementado circuitos impresos que incluyen el driver y una circuitería de control adicional que facilita el acceso a los pines del mismo para hacer más sencilla su utilización, así como incorpora protección contra picos de tensión o temperatura.

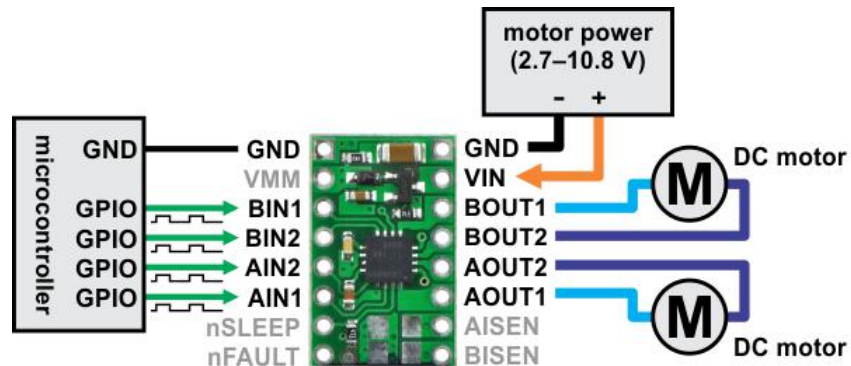


Figura 31: Modelo Driver Pololu

Algunos *drivers* de motor permiten aplicar regulación de corriente a las salidas que alimentan los motores para variar la velocidad de los mismos. La técnica de Modulación por Ancho de Pulsos[17] permite habilitar esta funcionalidad

Esta técnica consiste en modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica para conseguir que el zumbador emita a la frecuencia deseada. El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período.

$$\text{Ciclo de Trabajo: } D = \frac{\Gamma}{T};$$

donde  $\Gamma$  es el tiempo en que la función es positiva (ancho de pulso) y  $T$  es el período de la función.

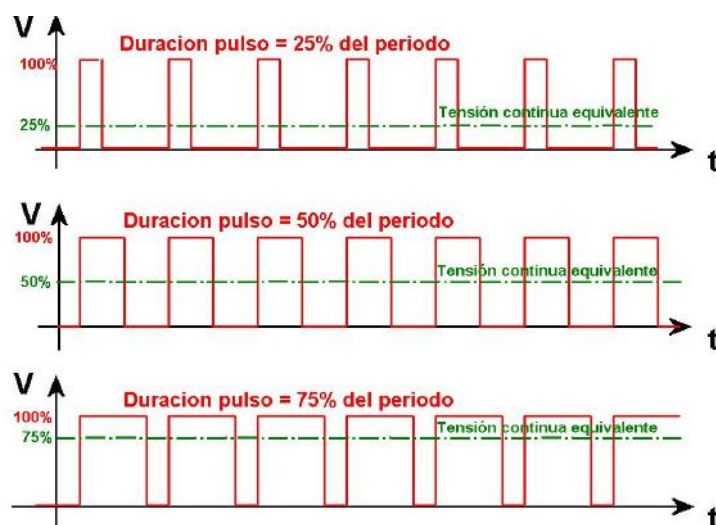


Figura 32: Gráfica tensión tiempo modificando el ancho de pulso

En la primera de las funciones se puede apreciar como la parte positiva del pulso dura 0.25 veces un periodo completo. En la segunda y tercera las duraciones son del 50% y 75% respectivamente.

Una desventaja que presentan los circuitos donde se implementa PWM, es la interferencia por radiofrecuencia que puedes presentar. Reduciendo la distancia entre el controlador y la carga y con el filtro adecuado a la señal de alimentación logramos reducir este efecto.

### 2.5.9 Pantalla LCD

Una pantalla de cristal líquido [18] es un *display* plano y delgado compuesto de una serie de píxeles en color o monocromos. Estos se encuentran delante de una fuente de luz y la combinación da origen a textos o imágenes visibles.

Existen diversas tecnologías que dan lugar a pantallas LCD de propiedades diferentes. Las pantallas LCD con un pequeño número de sectores, tales como los que se utilizan en relojes digitales y calculadoras de bolsillo, tienen contactos eléctricos individuales para cada segmento. Un circuito externo dedicado suministra una carga eléctrica para el control de cada segmento. Esta estructura es difícil de visualizar para algunos dispositivos de visualización. Son pequeñas pantallas monocromo que utilizan tecnologías de matriz pasiva como STN.

En cambio, dispositivos más complicados con monitores LCD de alta resolución utilizan tecnología de matriz activas.

Un modelo sencillo de pantalla LCD sería el la reflectiva con tecnología de matriz pasiva, que permite que funcione utilizando muy poca potencia utilizando sólo 5 V de alimentación.

Los modelos que tiene sentido implementar en un proyecto de las características de éste, son del tipo tecnología *Super-Twisted Nematic*, son LDC monocromas de matriz pasiva que cuentan con un umbral de electro-óptica más pronunciado lo que permite direccionamiento por matriz pasiva con muchas más líneas y columnas. Además, requieren poca energía para funcionar.

Las diferencias entre las distintas pantallas que utilizan esta tecnología se limitan prácticamente a la amplitud de la misma y a la tensión de trabajo.



Figura 33: Pantalla LCD monocroma

## 2.5.10 Sensores de temperatura

Un sensor de temperatura [19] es un transductor entre una variable ambiental como la temperatura y una señal eléctrica que posteriormente puede ser procesada.

Existen numerosas tecnologías que pueden ejercer de sensor de temperatura.

Entre ellas se encuentran los eléctricos (termopar, termorresistencias, termistores,...), los mecánicos (sistemas de dilatación, termómetros,...), los de radiación térmica y algunos otros.

Algunos de los sensores de temperatura más extendidos en la industria son los que típicamente se utilizan en circuitos con microcontroladores. Entre ellos, destacan termopares, termorresistencias, termistores y termómetros infrarrojos.

Los termopares son sensores consistentes en dos alambres de materiales diferentes unidos por un extremo. Al aplicar una temperatura en ese punto se genera una diferencia de potencial (del orden de milivoltios) entre los dos extremos restantes de los alambres. Procesando y calibrando dicha señal es posible medir la temperatura.

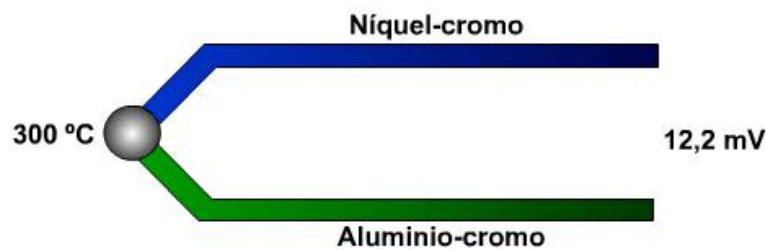


Figura 34: Esquema termopar

Las termorresistencias RTD funcionan según el principio de variación de la resistencia de un semiconductor en función de la temperatura. Utilizando un circuito de acondicionamiento y calibrando adecuadamente se puede procesar la temperatura como una señal eléctrica. Entre los materiales de los que se suelen constituir estos sensores destaca el platino, por ser las medidas a partir del mismo más estable y exacto, y el níquel, que proporciona más linealidad.

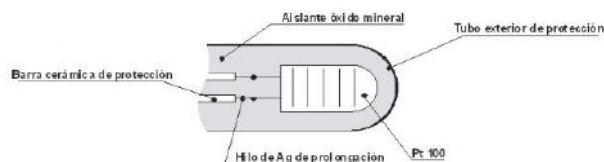


Figura 35: Esquema termorresistencia RTD

Los termistores son sensores resistivos de temperatura, basados en la variación de la resistividad de un semiconductor con la temperatura derivado del cambio en la concentración de portadores. Existen los tipos NTC y PTC, que dependen del signo del coeficiente de variación de temperatura. Entre las ventajas que presentan frente a los

RTD destaca su menor coste y mayor sensibilidad, aunque por el contrario presentan poca linealidad.



Figura 36: Termistor

Los termómetros infrarrojos miden temperatura sin contacto físico, simplemente interceptan y miden la radiación infrarroja, basándose en el principio que dice que todos los objetos emiten una radiación ubicada en la región infrarroja del espectro de radiación electromagnética. Se acerca el detector al objeto, y éste es capaz de convertir esa energía en una señal eléctrica.

### 2.5.11 Detector de sonido

Un micrófono es un transductor de ondas sonoras en energía eléctrica. El principio fundamental consiste un diafragma atraído intermitentemente por un electroimán que al vibrar modifica la corriente transmitida por las diferentes presiones a un circuito. Convierte, por tanto, el sonido en una señal analógica amplificada. Existen múltiples tecnologías sobre las que se han desarrollado estos sensores (de condensador, dinámico, de cinta, de carbono, piezoeléctrico, láser,...)

Los detectores de audio que se comercializan para ser utilizados con microcontroladores hacen la misma función, convierten el sonido en tensiones analógicas amplificadas que pueden ser medidas por éste a través de un convertor analógico-digital.



Figura 37: Detector de sonido

### 2.5.12 Receptor de control remoto

Los mandos a distancia utilizan luz infrarroja [12], la cual es adecuada para este tipo de aplicaciones porque la luz a esa frecuencia no tiene consecuencias para los tejidos vivos, es invisible al ojo humano y tiene un alcance suficiente para cumplir la función para la que es requerida.

En el mando se encuentra el transistor que contiene un LED infrarrojo, que emite la señal de información que se ha generado en el mando y se modula con una portadora.

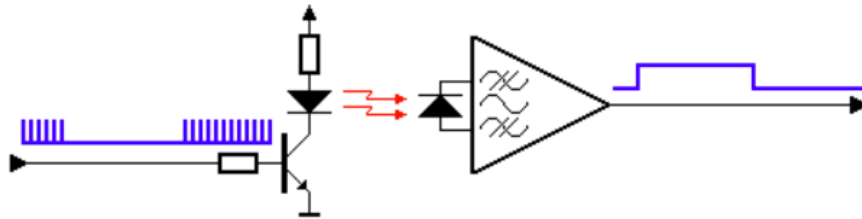


Figura 38: Esquema de funcionamiento emisor y detector infrarrojo

En el receptor se encuentra un demodulador amplificador que nos permite leer de nuevo el tren de pulsos e interpretar la orden del mando.



Figura 39: Receptor de luz infrarroja

### 2.5.13 Módulo Giroscopio, Brújula y Acelerómetro.

Se ha pensado en introducir al proyecto un módulo de orientación espacial comercializado por Pololu [20] que cuente con brújula, acelerómetro, giroscopio y altímetro. Entre sus principales ventajas prevalece que la comunicación con el mismo se realiza mediante el protocolo I2C y por lo tanto utilizando solo dos pines del microcontrolador (uno para la línea de datos y otro para la señal de reloj) es posible obtener toda la información relativa a la altitud y orientación absoluta del robot.

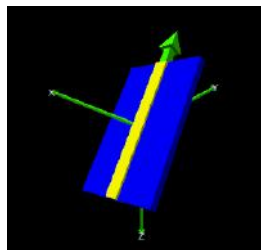


Figura 40: Esquema de orientación módulo IMU

De esta forma, el componente provee al usuario de un pin de acceso directo a la línea de datos y otro a la línea de reloj a través de las cuales se pueden manejar simultáneamente la brújula, el acelerómetro, el giroscopio y el barómetro.



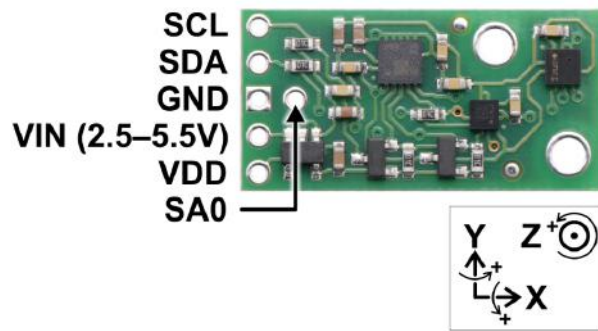


Figura 41: Placa AltIMU

### 2.5.14 Interruptor por detección de contacto

Otra funcionalidad que se ha querido dar al robot es la de detección por contacto físico en la parte delantera, habilidad que dotará al robot de la capacidad de esquivar objetos garantizando así mayor autonomía.

Los interruptores por contacto físico funcionan como un conmutador. De esta forma, el microcontrolador detectará entrada de nivel alto o entrada de nivel bajo (según el montaje) en el momento de la colisión con un objeto.



Figura 42: Interruptor por detección de contacto

Un conmutador conectado en modo NO ‘Normally Open’ es un contacto abierto, es decir, no dejará pasar la corriente mientras el mismo se halle en un estado de espera o reposo. En el momento de activarlo, la corriente circula y la salida detecta contacto.

### 2.5.15 Regulador de tensión

Los reguladores de tensión [21] son dispositivos que se utilizan para mantener una tensión constante y alimentar un circuito de forma segura. Su entrada permite aplicar una tensión que, dependiendo del modelo, puede variar en un rango determinado. La salida, en cambio, es una tensión fija.

Una primera familia son los reguladores de tensión serie o lineales. Éstos, controlan la tensión de salida ajustando continuamente la caída de tensión en un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada no regulada y la carga. El transistor debe conducir continuamente, así que éste opera siempre en la región activa o lineal.

Entre sus desventajas se encuentra que tienden a ser muy ineficientes debido a la potencia consumida por el elemento en serie. Su eficiencia es del 20% y solamente resultan ser eficaces para baja potencia (<5W).

Los modelos más adecuados para el robot, sin embargo, son los convertidores tipo *buck-boost*, que pertenecen a la familia de reguladores conmutados, los cuales se caracterizan por tener mucho rendimiento de conversión ya que los transistores funcionan en conmutación, reduciendo así la potencia disipada en estos y el tamaño de los disipadores. Utilizan un transistor de potencia como conmutador de alta frecuencia, de tal manera que la energía se transfiere desde la entrada a la carga en paquetes discretos.

Los pulsos de intensidad se convierten después a una corriente continua mediante un filtro inductivo y capacitivo

Los convertidores *buck-boost* son capaces de suministrar en su salida una tensión que puede ser mayor o menor que la tensión aplicada en su entrada. Además, son más pequeños y ligeros. El voltaje a la salida puede ajustarse variando el ciclo de trabajo del transistor de conmutación.

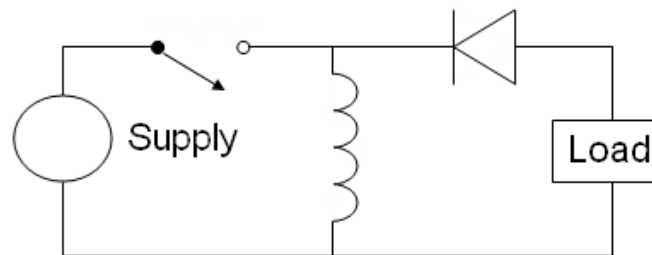


Figura 43: Convertidor buck-boost

Una desventaja de este tipo de reguladores es la producción de ruido electromagnético producido por la conmutación a frecuencias elevadas, por lo que un correcto diseño de esa zona del circuito impreso es fundamental.

### 2.5.16 Módulo de comunicación inalámbrica

Se ha pensado en incorporar al robot un módulo de comunicación inalámbrica que le habilite para intercambiar datos e interactuar con otros dispositivos.

Se encuentran en el mercado numerosos módulos de este tipo que utilizan tecnologías diversas. Entre ellas, destacan los módulos Xbee [22] y los módulos de comunicación *bluetooth* [23].

Entre los segundos, destacan los modelos HC-05 y HC-06 por su fácil integración en un proyecto con un circuito impreso. Pueden funcionar como maestro o como esclavo y disponen de una dirección única de identificación y, de esta forma, son capaces de

establecer un contacto con otro dispositivo que utilice la misma tecnología. La principal limitación reside en la poca distancia de uso útil que presentan (alrededor de 20 metros)



Figura 44: Módulo de comunicación *bluetooth* HC-05

Tienen una sensibilidad de recepción de  $-80\text{dBm}$ , se pueden alimentar con una tensión de 5V y disponen de puerto serie UART.

Los módulos de comunicación por radiofrecuencia, en cambio, presentan una distancia máxima de conexión mucho más elevada. Además, la frecuencia de emisión tanto de los módulos Xbee como de otros modelos como el NRF2401, de Nordic Semiconductors, suele ser de 2.4GHz, que es una banda libre que no requiere permisos. También presentan corrección de errores y protocolo de reenvío.

Los módulos Xbee [24] son módulos de comunicación por radiofrecuencia para interconexión y comunicación entre dispositivos. Utilizan el protocolo de red IEEE 802.14.4 para crear redes punto a punto o punto a multipunto. Fueron diseñados para aplicaciones que requieren un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible. Entre sus ventajas está que algunos de sus modelos, los de la serie PRO, tienen un alcance de conexión de hasta 1.6km.



Figura 45: Módulo de comunicación inalámbrica XBee PRO Series 2

### 2.5.17 Expansor de Puertos

Se quiere incorporar al robot un expansor para multiplicar el número de pines hábiles del mismo y por tanto el número de periféricos con el que se puede trabajar dotando a la plataforma, de esta manera, de muchas más funcionalidades.

La mayoría de expansores de puertos utilizan como entrada dos únicas líneas a través de las cuales es posible controlar más puertos de entrada y salida ampliando, de esta forma, el número de elementos controlables con un solo microcontrolador y las funcionalidades de la placa.

Estas dos líneas son la línea de datos y la línea de reloj correspondientes al protocolo I<sup>2</sup>C. Así, las instrucciones viajan desde el microcontrolador por el bus I2C y el expansor las reproduce en el puerto de salida. De la misma manera ocurre a la inversa, cualquier evento detectado a la entrada del puerto se traduce como información que viaja al microcontrolador para ser utilizada.

## 2.6 Estudio de protocolos *software*

Se expone, a continuación, un estudio de protocolos o tecnologías *software* que será necesario implementar para la correcta conexión y funcionamiento de algunos sensores.

### 2.6.1 Protocolo de Comunicación Serie I<sup>2</sup>C

El bus de protocolo serie síncrono I<sup>2</sup>C [25] fue desarrollado por Phillips a principios de los años 80 como medio de interconexión entre una CPU y dispositivos periféricos dentro de la electrónica de consumo.

Está formado por dos hilos: SDA (Serial DATA line) y SCL (Serial CLock line), que son respectivamente la línea por la que viajan los datos y la línea de reloj.

La idea es establecer comunicación serie y síncrona con entre un dispositivo, que ejerce de maestro, y tantos dispositivos esclavos como la aplicación requiera utilizando sólo estas dos líneas. Todos los dispositivos estarán conectados a las dos mismas líneas. El maestro controla la comunicación, general la señal de reloj (SCL) e inicia y termina el proceso. El protocolo requiere que cada byte de información sea confirmado por el destinatario

La velocidad de transmisión estándar suele ser de 100Kbits/s, aunque en modo *high-speed* puede llegar hasta los 3.4Mbits/s. Cada dispositivo del bus tiene una dirección única, de modo que el dato correspondiente tenga un destinatario inequívoco.

En cuanto al protocolo, se debe implementar de la siguiente manera:

Para iniciar una transmisión se debe dar la condición de inicio (S), y para finalizarla la condición de parada (P), y que serán generadas por el dispositivo que ejerce de maestro.

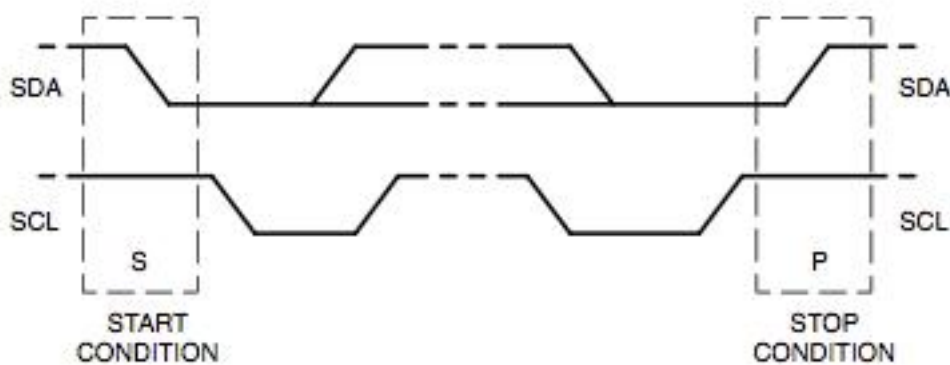


Figura 46: Esquema de control inicio-parada protocolo I<sup>2</sup>C

Entre la condición de inicio y la condición de parada, se considera que se está produciendo comunicación entre el dispositivo maestro y algún esclavo, de forma que ningún otro elemento tendrá acceso al bus mientras éste esté ocupado.

La transmisión se realiza byte a byte seguido de un bit de asentimiento (ACK). En toda transmisión, el primer byte siempre indica la dirección del esclavo con la que se

quiere establecer comunicación, de 7 bits, seguido de un bit que indica si la operación es de lectura o escritura.

La comunicación dura hasta que el maestro genera una nueva señal de comienzo, momento a partir del cual se puede direccionar a otro dispositivo para establecer comunicación con él.

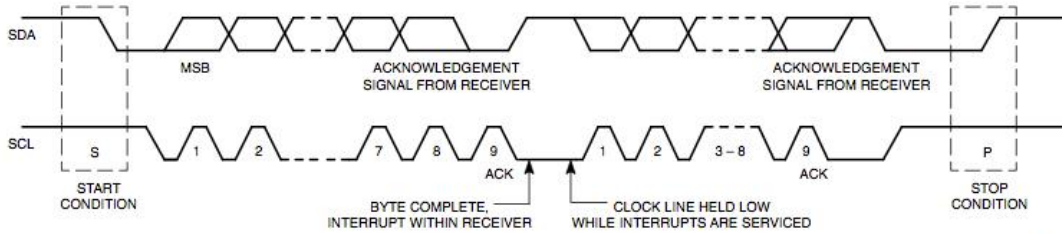


Figura 47: Esquema de comunicación protocolo I<sup>2</sup>C

La tensión referencia de todo el bus debe ser entre 1.2V hasta los 5.5V, y debe existir siempre una referencia a tierra común para todos los dispositivos. Además, se deben colocar unas resistencias llamadas de polarización (entre 1k8 Ohm y 47k Ohm) que ayuden a cambiar de estado las líneas en caso de que ningún dispositivo esté utilizando el bus.

Entre las principales ventajas de este protocolo destacan las pocas líneas de bus necesarias para establecer comunicación y controlar varios dispositivos y la posibilidad de utilizar componentes con encapsulado reducido.

En cambio, como inconveniente cabe destacar que la velocidad de transmisión es inferior a la de un bus en paralelo.

## 2.7 Microcontrolador

### 2.7.1 Definición

Un microcontrolador[26] es un circuito integrado programable que cuenta con las tres principales unidades funcionales de un ordenador: una unidad central de procesamiento, encargada de interpretar y ejecutar las instrucciones y de realizar las operaciones aritmético-lógicas, una memoria (RAM y ROM), en la que se almacenan dichas instrucciones, y periféricos de entrada y salida a través de los cuales se intercambia información con el exterior. Combinando estos elementos adecuadamente los microcontroladores pueden ejercer de unidad central en circuitos digitales con aplicaciones en la robótica o las telecomunicaciones.

Además, los microcontroladores cuentan con un generador de reloj integrado, por lo que sólo será necesario un cristal de sincronización.

Para que un microcontrolador realice una tarea concreta precisa de la previa instalación de un programa en su memoria. Éste irá ejecutando de manera secuencial las instrucciones del programa almacenado. El carácter programable de los microcontroladores permite modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para realizar diferentes funciones simplemente modificando el programa que tiene guardado en su memoria interna.

Las instrucciones que un microcontrolador interpreta y ejecuta deben estar escritas en lenguaje máquina. Pulsos de nivel alto o nivel bajo (1'os y 0'os), es decir bits, la unidad mínima de información. Afortunadamente, a través de un lenguaje de alto nivel es posible programar los microcontroladores utilizando un lenguaje más cercano al lenguaje humano que posteriormente, a través de un compilador, podrá convertirse a un archivo hexadecimal, que será el que interprete el microcontrolador.

Para transferir el código máquina a la memoria del microcontrolador se utiliza un programador físico, que escribe el programa en la memoria interna.

## 2.7.2 Selección de microcontrolador

El microcontrolador escogido para realizar este proyecto es el ATmega32U4, desarrollado por Atmel[27]. Es un modelo de arquitectura RISC de 8 bits, encapsulado TQFP-44 y se caracteriza por su bajo consumo y por disponer de conexión USB e interfaz JTAG. Alcanza un rendimiento cercano a 1 MIPS por MHz.

Dispone de 12 canales de conversión (A/D) de 10 bit, lo que permitirá trabajar con periféricos que emitan una salida analógica y poder interpretar ésta. Además cuenta con puertos serie USART, un contador de 8 bits, 8 canales PWM (modulación de ancho de pulso), un puerto para protocolo serie I<sup>2</sup>C y 16 canales programables entrada/salida de propósito general. El puerto para el protocolo serie maestro-esclavo I<sup>2</sup>C permitirá conectar tantos componentes periféricos como el usuario quiera utilizando sólo un bus de dos hilos (uno de datos y otro de reloj) así como una referencia a tierra común.

El microcontrolador cuenta con una memoria flash de 32KBytes, 2.5kBytes de memoria interna SRAM y 1KB de memoria EEPROM. La memoria FLASH contiene el programa que ejecutará el microcontrolador, y no se pierde cuando se desconecta la alimentación. Por el contrario, la memoria SRAM es una memoria donde se almacenan variables y datos de carácter temporal y cuyo contenido sí se borra al desconectar la alimentación. Por último, en la memoria EEPROM, se puede leer y escribir mientras se ejecuta el programa, y su contenido tampoco desaparece cuando no recibe alimentación.

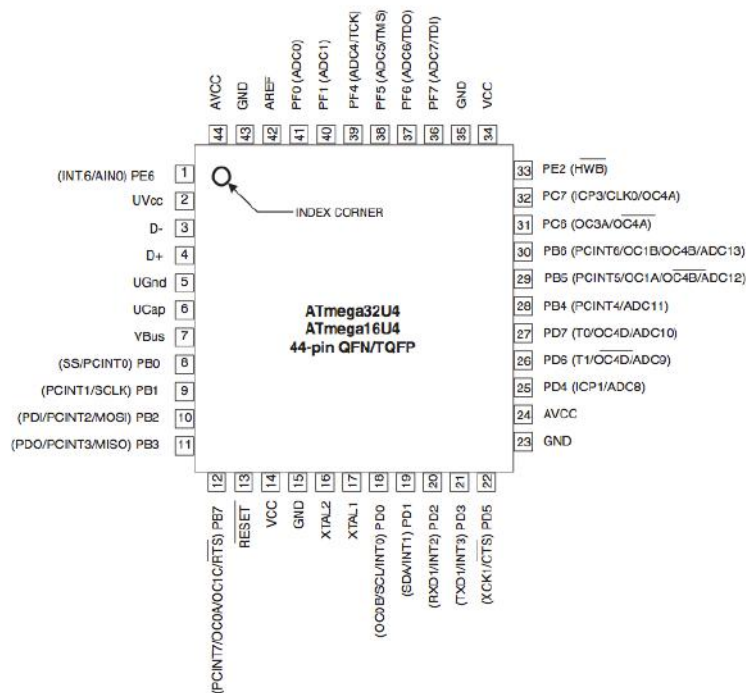


Figura 48: Distribución de pines del microcontrolador ATmega32U4



El microprocesador se puede alimentar utilizando una tensión de entre 2.7V y 5.5V. Frecuencia de reloj de hasta 16Mhz si se utiliza cristal externo y se alimenta a 5V y de 8MHz si sólo se hace uso del cristal interno.

Las posibilidades de programación del microcontrolador son diversas. Por un lado, permite la programación ISP, utilizando un programador físico y mediante el protocolo SPI. Por otro lado, se puede programar vía USB (previa instalación de un *bootloader*) conectándolo directamente a un ordenador o mediante sistema JTAG.

La distribución de pines del microcontrolador detalla los pines de alimentación y referencia a tierra (Vcc, Avcc, UVcc, y GND) así como otros pines de propósito específico como son :

- XTAL1 y XTAL2, que se utilizan para conectar de manera externa un oscilador de cristal y generar, de esta forma, una señal de reloj a la frecuencia apropiada para las necesidades del proyecto.
- Los pines D- y D+ se utilizan para la conexión USB con un ordenador
- AREF es el pin para establecer una tensión referencia para el conversor analógico-digital
- El pin VBUS es la entrada de tensión directa del conector USB
- Los pines PBx, PCx, PDx, PEx, y PFx son los pines de los puertos de entrada y salida digital con propósito general, que se pueden utilizar para establecer comunicación con los periféricos del diseño. Algunos de ellos también proporcionan acceso al conversor analógico-digital y a otras de las funciones del microprocesador descritas anteriormente como contadores o distintos protocolos de comunicación (RS232, I2C/TWI, SPI, ...)

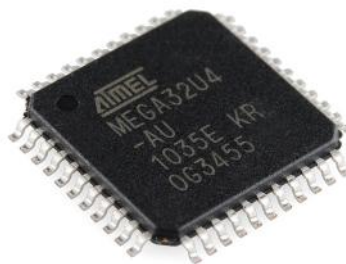


Figura 49: microcontrolador ATmega32U4



# Capítulo 3

Diseño

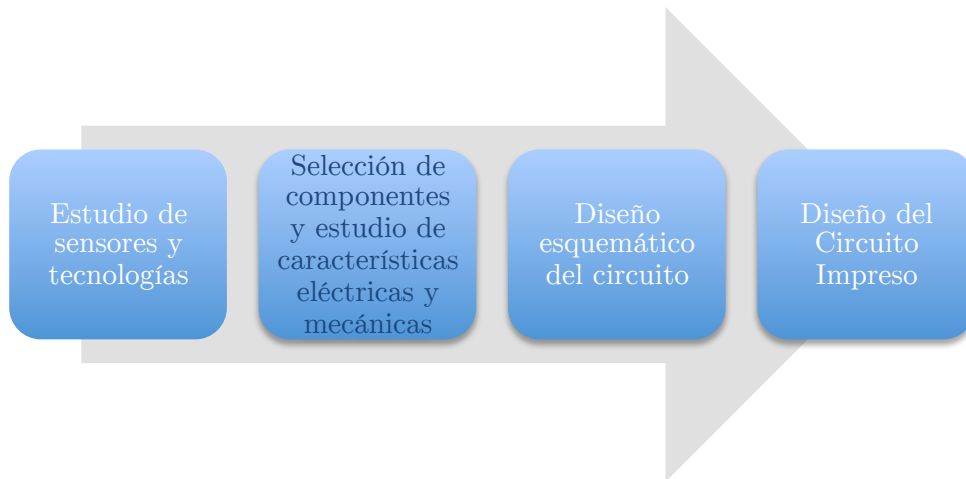


## 3. Diseño

---

### 3.1 Introducción

El diagrama de desarrollo que se ha seguido para el diseño de la plataforma robótica móvil es el siguiente:



El proceso de diseño de la plataforma robótica móvil parte del estudio de componentes y tecnologías expuesto en el apartado anterior, seguido inmediatamente por la debida selección de los mismos. Una vez éstos escogidos, atendiendo a los criterios correspondientes, es necesario estudiar sus características mecánicas y eléctricas. Esta información se presenta detallada en la hoja de características de cada uno de ellos. Durante este proceso, se estudió la distribución física de los pines de conexión de cada componente además de las características eléctricas y el circuito de acondicionamiento que, en caso de requerirlo, deberá implementarse para su correcto funcionamiento.

### 3.2 Selección de componentes

La selección de los componentes se ha llevado a cabo atendiendo a los siguientes criterios:

- Cumple con los requisitos impuestos por las necesidades del proyecto a nivel funcional.
- Sus características eléctricas encajan con las posibilidades de funcionamiento del microcontrolador.
- El tamaño debe ser el adecuado para adaptarlo a las limitaciones de diseño
- Coste moderado.

Así, se presenta a continuación una lista detallada con los modelos de todos los componentes que, finalmente, se incorporaron a la plataforma robótica móvil detallando características, posibles funcionalidades, ventajas y decisiones de diseño.

### 3.2.1 Diodos LED

Los diodos LED que finalmente se ha incorporado al diseño son el modelo LG R971 del fabricante OSRAM Opto Semiconductors[28]. Los motivos principales que han llevado a escoger este modelo son su encapsulado tipo 0805 y su bajo coste. El encapsulado de montaje superficial 0805 tiene un tamaño muy reducido (2mm x1.25mm) y facilita considerablemente las tareas de diseño, teniendo en cuenta las limitaciones de espacio.

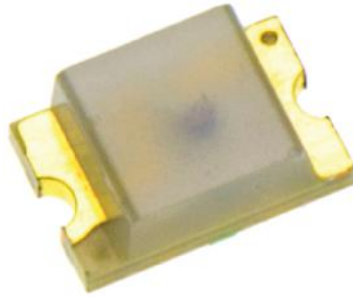


Figura 50: Diodo LED modelo LG R971

Estudiando, para cada caso, la tensión y corriente directas que se le deben aplicar para un correcto funcionamiento, se puede calcular la resistencia que debe acompañar al LED en el montaje para producir la debida caída de tensión desde la tensión de trabajo del microcontrolador (5V):

$$R = \frac{5 - V_f}{I_f} ;$$

donde  $V_f$  e  $I_f$  son, respectivamente, la tensión y corriente directas del diodo.

### 3.2.2 LED tricolor

El LED tricolor finalmente incorporado es el modelo ROHM SMLP34RGB2W3 [29]. De nuevo, se ha buscado un tamaño reducido y un coste moderado. Este modelo presenta los colores azul, rojo y verde, es de montaje superficial y sus dimensiones son 1mm x 1mm, lo que facilitará mucho su integración en el diseño.

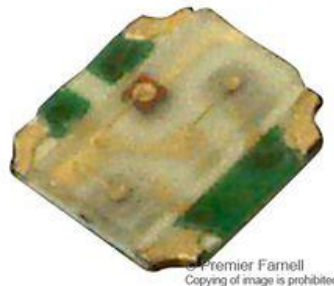


Figura 51: LED tricolor modelo ROHM SMLP34RGB2W3

Siguiendo un razonamiento similar al llevado a cabo en el caso de los LEDs monocolor, es posible calcular el valor de las resistencias que deberán incorporarse en serie con cada uno de los diodos, para que éstos trabajen con la tensión y corriente directa adecuados.

### 3.2.3 Infrarrojo de corto alcance

En el caso de los sensores infrarrojos de corto alcance para la función de seguidor de línea, la decisión de incorporar el modelo CNY70 del fabricante Vishay[30] estuvo clara desde el principio, debido a que son modelos ampliamente probados, de un coste reducido, y cumplen la función para la que son incorporados adecuadamente.

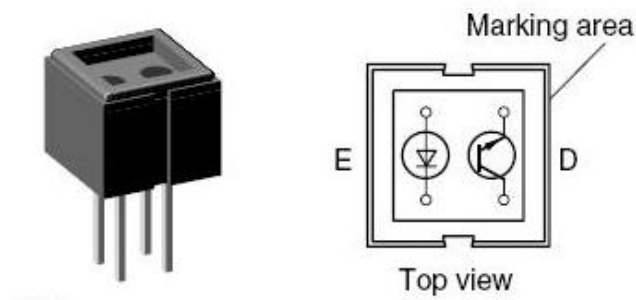


Figura 52: Sensor infrarrojo de proximidad CNY70

El funcionamiento de este sensor es sencillo. El diodo emite luz infrarroja y ésta rebota con más o menos intensidad dependiendo de la naturaleza de la superficie (color, textura,...), haciendo circular la corriente a través del fototransistor. Conectando el microcontrolador al colector de éste, es posible identificar la superficie por la que está pasando el robot, por lo que la aplicación de seguir de línea puede ser implementada.

Para el correcto funcionamiento de este sensor debe montarse una resistencia de  $220\Omega$  en el ánodo del diodo emisor, así como una resistencia de  $10k\Omega$  en el colector del fototransistor.

### 3.2.4 Zumbador

El modelo de zumbador, o *buzzer*, finalmente escogido es el KMTG1003-F del fabricante Kingstate [31].

Es un modelo piezoeléctrico, de montaje superficial, onda cuadrada y programable. Debe ser conectado a un pin del microcontrolador que pueda proveer una salida PWM.



Figura 53: Zumbador modelo KMTG1003-F

### 3.2.5 Encoder

El *encoder* escogido para este proyecto es un modelo magnético que comercializa Pololu, concretamente el modelo 3081 [32], que se adapta a los modelos de motor con motorreductor de la misma marca. Funcionan en un rango de tensión que va desde los 2.7V a los 18V.

Utiliza un disco magnético de 6 polos y sensores de efecto Hall y proporcionan salidas digitales en cuadratura que se pueden conectar directamente al microcontrolador. La placa del *encoder* detecta la rotación del disco magnético por los cambios de polaridad y proporciona una resolución de 12 pulsos por revolución.

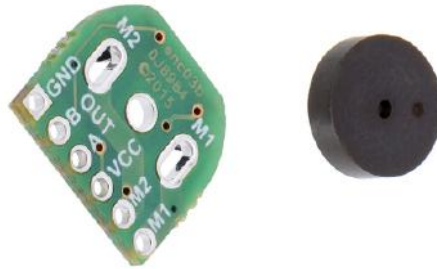


Figura 54: Encoder Pololu 3081

Los pines M1 y M2 se utilizan para alimentar el motor. OUTB y OUTA son las salidas digitales del *encoder* cuyo estudio permitirá conocer velocidad y dirección del robot.

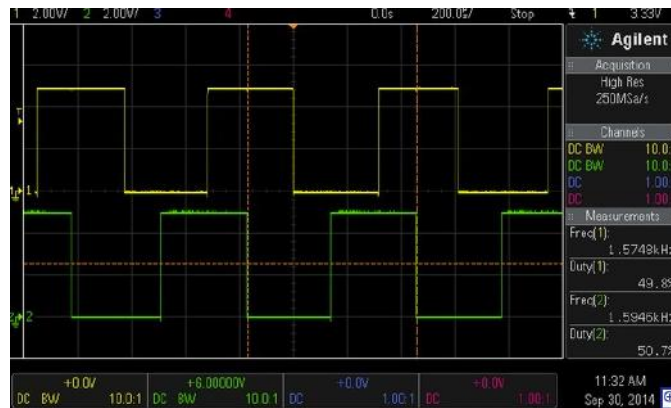


Figura 55: Salidas A y B en cuadratura del *encoder*

En el ejemplo de la imagen anterior pueden apreciarse ambas salidas. El cambio de polaridad en la salida de color verde se produce antes que el cambio de la salida representada en amarillo, lo que define el sentido de la rotación. Midiendo el desfase temporal entre ambas, y teniendo en cuenta la reducción aplicada a la rueda en el giro, se puede calcular la velocidad.



### 3.2.6 Motores

Los motores finalmente implementados en el diseño son el modelo 3079 del fabricante Pololu[33]. Entre sus ventajas destaca que incluyen un motorreductor ya montado sobre el eje del motor, además de una extensión de éste que permitirá la incorporación de un *encoder* comercializado por el mismo fabricante y que se adapta perfectamente a los motores.



Figura 56: Motores modelo Pololu 3079

Tienen una tensión de alimentación aproximada de 6V, aunque pueden funcionar sin problemas con la tensión de trabajo del microcontrolador utilizado en el proyecto (5V). Por la funcionalidad que se quiere dar al robot, interesa una relación de reducción de 298:1, lo que se traducirá en una velocidad final de 100rpm a esa tensión de alimentación. El límite superior del par motor instantáneo es de 2 kg\*cm, aunque se recomienda mantener las cargas aplicadas por debajo de ese límite, ya que se podría causar daño térmico al aplicar cargas superiores al motor y dañar éste. Cuentan con escobillas de carbón, lo que aumentará la vida útil de las mismas.

Se ha decidido incorporar el soporte de montaje que comercializa el mismo fabricante, con el objetivo de sujetar los motores a la plataforma de una forma segura.



Figura 57: Soporte de montaje para modelo motor 3079 de Pololu

### 3.2.7 Driver

El *driver* escogido para este proyecto es el modelo DRV8833 de Texas Instruments[34]. En concreto, se va a incorporar la placa 2130 de Pololu que contiene el modelo de *driver* fabricado por Texas Instruments citado anteriormente, además de un circuito de

acondicionamiento que protege al *driver* de picos de corriente, tensiones en sentido inverso y temperaturas excesivas.



Figura 58: Placa *Driver* Pololu 2130

Este controlador de motor en puente H dual puede manejar hasta dos motores de corriente continua suministrando una corriente de 1,2A de manera constante a cada uno. Además, las salidas de los motores se pueden conectar en paralelo para suministrar 2.4A a un solo motor. Tiene una tensión de trabajo que puede ir desde los 2.7V hasta los 10.8V.

El driver se maneja utilizando las entradas de control , XIN1 y xIN2, que establecen el estado de las salidas correspondientes, xOUT1 y xOUT2.

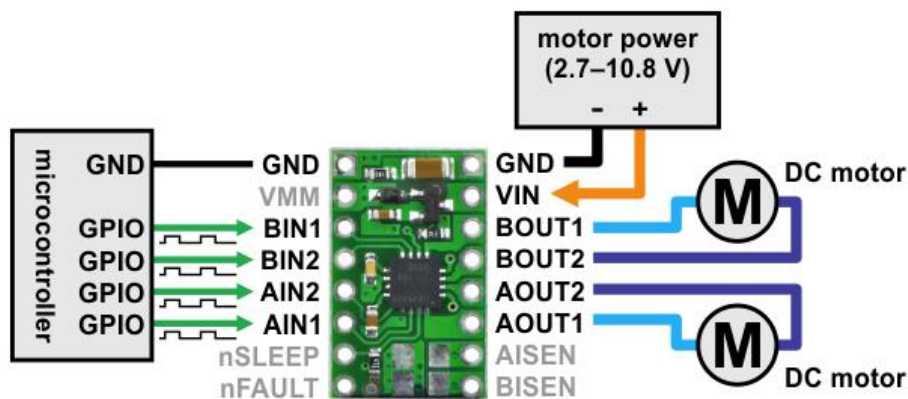


Figura 59: Esquema de funcionamiento placa *Driver* Pololu 2130

Además, se les puede aplicar una señal de entrada con el ancho de pulso modulado

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

Figura 60: Esquema de funcionamiento *driver* 8833 Texas Instruments

En la tabla anterior puede observarse el estado de las salidas y la función correspondiente dependiente del estado de las entradas de control.

El pin nFault es una salida que se activa bajo la condición de un mal funcionamiento del *driver*, como en caso de una temperatura excesiva, baja tensión o un pico de

corriente. En el caso de no detectar dicho fallo en el controlador, la salida se mantiene en un estado flotante, por lo que será necesario colocar una resistencia pull-up externa. Se ha implementado en el diseño un zócalo que provee acceso directo al pin nFAULT, de manera que quede habilitada para el usuario la opción de acceso al pin y, de esta forma, a la detección de fallos en el *driver*.

Por otro lado, el pin nSLEEP activa el modo espera en bajo consumo del *driver*.

Además, la placa provee dos pines de limitación de corriente a través de los motores (AISEN y BISEN), que se encuentran conectados a tierra inicialmente pero se pueden habilitar soldando en la parte posterior y en una zona especificada dos resistencias para que realicen esta función.

### 3.2.8 Detector de Sonido

Se ha decidido incorporar al proyecto el modelo de micrófono o detector de sonido 1620 del fabricante Pololu[35].

Esta placa incorpora un micrófono modelo MD9745APZ-F[36] del fabricante Knowles Acoustic además de un amplificador operacional que convierten el sonido en tensiones analógicas amplificadas que podrán interpretarse usando una entrada del conversor analógico-digital del microcontrolador. Tiene una tensión de alimentación que puede ir de los 2.7V a los 5.5V



Figura 61: Detector de sonido Pololu 1620

### 3.2.9 Pantalla

El modelo de pantalla escogido es el MC21603A6W-BNML de Midas Displays[37]. Es un display LCD Alfanumérico de tecnología Super Twisted Nematic de 2 filas con 16 caracteres cada una. Funciona con una tensión de alimentación de 5V.



Figura 62: Pantalla LCD Modelo MC21603A6W-BNML de Midas Displays

La principal ventaja de este modelo reside en su tamaño, considerablemente pequeño en comparación con otros modelos con la misma cantidad de caracteres. Sin embargo, la limitación que presentaba la incorporación al diseño final de una pantalla era el elevado número de pines de control que requería.

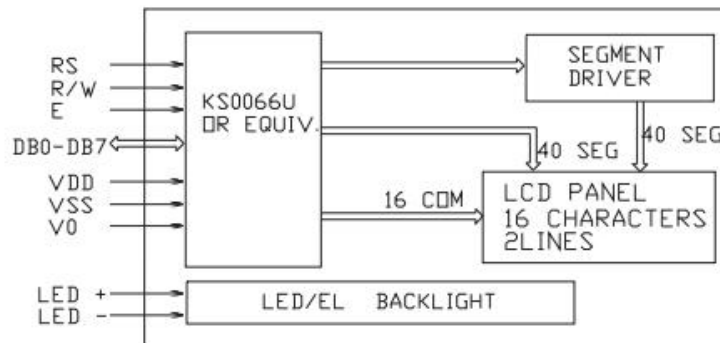


Figura 63: Esquema de funcionamiento pantalla LCD Modelo MC21603A6W-BNML de Midas Displays

Además de un bus de datos de 8 pines de escritura, se requieren 2 pines de alimentación y 3 de control, lo que puede suponer un problema para un microcontrolador con un número de pines limitado al que se quieren conectar muchos periféricos. El LED de iluminación de fondo deberá conectarse a la tensión de alimentación a través de una resistencia que mantenga su tensión y corriente directas en los niveles especificados por el fabricante. Por último, el pin V0 deberá conectarse a un potenciómetro (10KΩ-20KΩ) que permita controlar el contraste.

Teniendo en cuenta la limitación dada por el número de pines que presenta la pantalla LCD, se decidió incorporar un expansor de puertos que funciona con el protocolo de comunicación serie I<sup>2</sup>C, el cual se puede controlar utilizando sólo dos pines del microcontrolador. Además, con el objetivo de utilizar los menos pines posibles de los 16 de expansión de éste, se ha diseñado el circuito de forma que la pantalla funcione en modo 4 bits, es decir, utilizando la mitad de pines que requiere el bus de datos con el que el display recibe la información del texto que debe ser representado.

De esta forma, la pantalla utilizará en total 7 pines del expansor, dejando libres los otros 10 para otras funcionalidades que se desee implementar con ellos.

La pantalla LCD se debe montar utilizando un conector específico, un modelo FPC de TE Connectivity[38] en 90°, hembra y de montaje superficial.

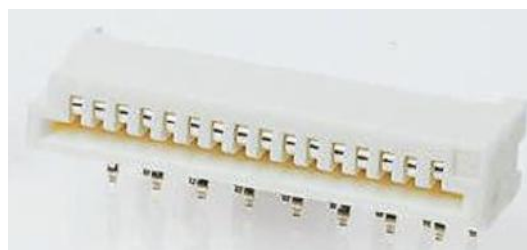


Figura 64: Conector FPC 90° hembra y de montaje superficial

### 3.2.10 Expansor de puertos I<sup>2</sup>C

El modelo de expansor escogido para el proyecto es el TCA9535 de Texas Instruments[39].

Éste se comunican con el microcontrolador vía protocolo serie I<sup>2</sup>C.

Este protocolo consiste en un bus de dos hilos bidireccionales (línea que transporta los datos, SDA y línea de reloj, SCL) y una referencia a tierra común.

De esta forma, utilizando sólo dos pines del microcontrolador que se usa en el proyecto y enviando al expansor la información correspondiente, es posible manejar hasta 16 pines, que pueden configurarse como entradas o como salidas, y con los que establecer comunicación con otros sensores o actuadores. La pantalla LCD incorporada en el proyecto, por ejemplo, necesitará hasta 8 pines y no hubiera sido posible su inclusión sin el expansor.

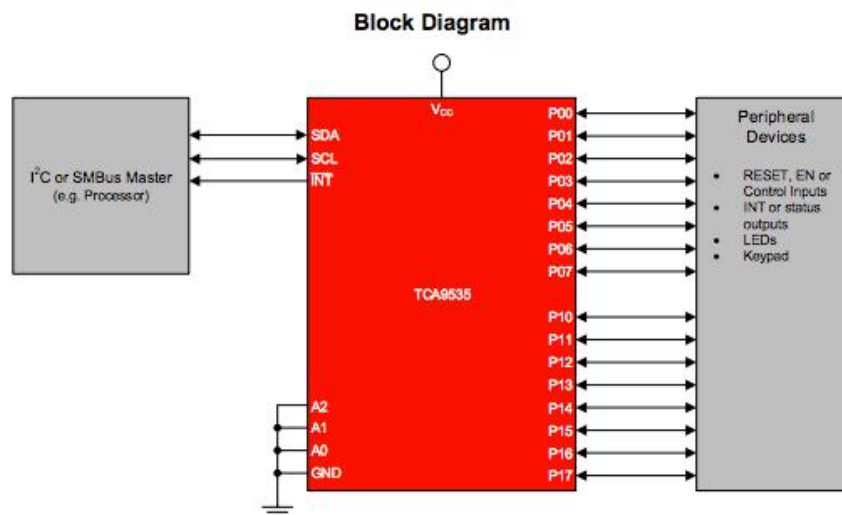


Figura 65: Diagrama de conexión expansor TCA9535 de Texas Instruments

Este modelo funciona con una tensión de alimentación de puede ir desde los 1.6V hasta los 5.5V

Como puede verse en el diagrama, el microcontrolador se comunica con el expansor utilizando dos líneas, una de datos y otra de reloj, a través de las cuales se envía la información correspondiente. Éste activa los pines de cualquiera de sus dos puertos, permitiendo controlar hasta 16 entradas o salidas digitales más.



Figura 66: Expansor de puertos TCA9535 de Texas Instruments

### 3.2.11 Regulador de tensión

El modelo de regulador incorporado al proyecto es un buck-boost, concretamente el TPS63061 de Texas Instruments[40]. Es un convertidor de conmutación DC/DC de bajada/subida, es decir, puede proveer a su salida tensiones tanto menores como mayores que la tensión que se le aplica



Figura 67: Regulador de tensión modelo TPS63061 de Texas Instruments

Entre sus ventajas se encuentra que ha sido ampliamente probado en el laboratorio HCTLab y utilizado en anteriores proyectos con requisitos muy parecidos a éste. Se caracteriza por un amplio rango de tensiones de entrada (entre 2.5 y 12V).

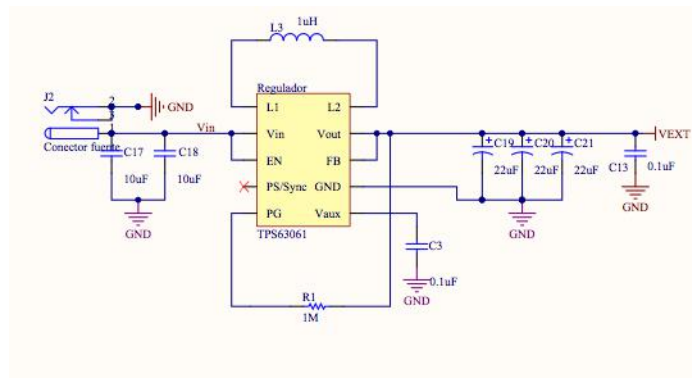


Figura 68: Esquema eléctrico bloque regular de tensión

En el laboratorio se ha desarrollado una configuración específica de uso del regulador, garantizando una salida estable de 5V y protegiendo así el resto de elementos de entradas de tensión superiores.

### 3.2.12 Módulo de orientación AltIMU

Se ha incorporado al diseño de la plataforma robótica una placa de orientación absoluta comercializada por Pololu, el modelo 2739[41].

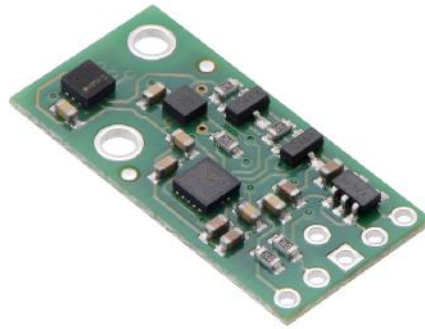


Figura 69: Módulo de orientación Pololu 2739

El AltIMU-10 v5 es una unidad de medición inercial (IMU) y un altímetro. Cuenta con un giroscopio, un acelerómetro y una brújula. Esta unidad se comunica con el microcontrolador con el protocolo I<sup>2</sup>C y proporciona los datos de todas las medidas de forma independiente, de forma que se puede utilizar para calcular la orientación absoluta del robot.

Los circuitos integrados del acelerómetro, brújula y giroscopio operan por debajo de los 3.6V. Sin embargo, esta placa contiene la electrónica necesaria para poder manejar el conjunto con una tensión de alimentación que puede ir desde los 2.5V hasta los 5.5V. Además, la placa incluye un circuito que desplaza la tensión de trabajo a las líneas I<sup>2</sup>C.

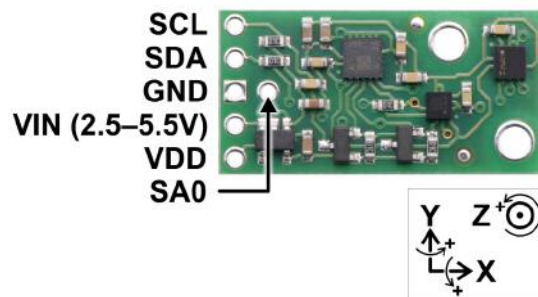


Figura 70: Esquema de conexiones AltIMU

Las conexiones mínimas para trabajar con el módulo son las líneas de datos y reloj para comunicación I<sup>2</sup>C con otro dispositivo, tierra y entrada de tensión. Si se trabaja con una tensión de 3.3V la placa se puede alimentar directamente a través del pin VDD, sin que sea necesario pasar por el circuito del regulador.

La configuración y lectura de la brújula, el acelerómetro, el altímetro y el giroscopio se realiza mediante el bus I<sup>2</sup>C. Cada uno de los cuatro sensores actúa como un dispositivo esclavo en el mismo bus pero con direcciones independientes.

### 3.2.13 Receptor de control remoto

El receptor de infrarrojos escogido para este proyecto es el modelo TSOP77438WTT del fabricante Vishay[42]. Funciona en el estándar de frecuencia europeo (38KHz), se puede



alimentar en un rango de tensiones que va desde los 2.5 hasta los 5.5V y destaca por su gran alcance a la distancia de transmisión (35m).

Además, tiene un encapsulado de montaje superficial y sus dimensiones son las apropiadas para una fácil inclusión en el proyecto. Se puede utilizar tanto para aplicaciones de control remoto como para comunicación vía infrarrojos.

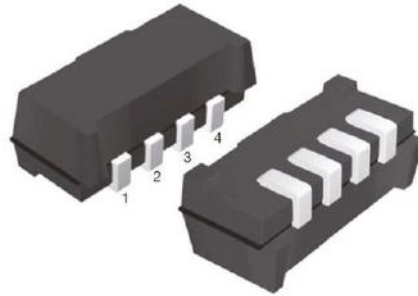


Figura 71: Receptor de control remoto modelo TSOP77438WTT del fabricante Vishay

### 3.2.14 Interruptor de acción rápida

Se ha incluido en el proyecto un interruptor de acción rápida comercializado por Pololu, concretamente el modelo 1403 [43].

La funcionalidad que tiene es la detección de obstáculos por contacto. El sensor funciona como un conmutador que cambia de posición si se pulsa el brazo de 50mm que incorpora.



Figura 72: Interruptor de acción rápida modelo Pololu 1403

Se han incorporado dos unidades de este modelo, uno a cada lado del robot. De esta forma, observando el estado de las salidas de los sensores se puede detectar si se ha producido contacto y por qué lado, pudiendo corregir la trayectoria.



### 3.2.15 Módulo de comunicación inalámbrica.

Se ha decidido incorporar a la plataforma robótica un módulo de comunicación inalámbrica por radio-frecuencia. El modelo escogido ha sido el XB24-AWI-001, de Digi International[44].

Este módulo utiliza el estándar IEEE 802.15.4 de la tecnología Zigbee. Se caracteriza por su bajo consumo y no necesita grandes anchos de banda.

Funciona en la banda ISM de 2,4GHz y puede proporcionar comunicación de largo alcance, hasta 100m. Tiene una salida de alta potencia(0dBm) y un receptor con mucha sensibilidad (-92dBm) y permitirá al robot configurar redes con diferentes topologías.

Además de la antena, el módulo XBee incorpora un microcontrolador de 8 bits, que se encarga del procesamiento de los datos, y un transceptor de radiofrecuencia, con tasa de transferencia de 256Kbps.

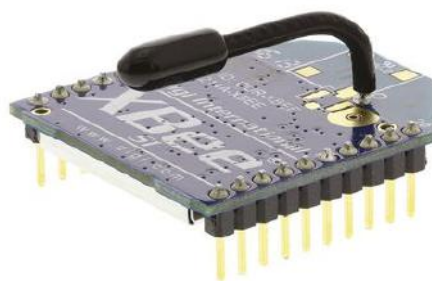


Figura 73: Módulo de comunicación inalámbrica XB24-AWI-001

Este módulo, además de ser capaz de transmitir y recibir datos por radiofrecuencia, dispone de convertidores analógico-digital, terminales de entrada y salida, terminales de salida modo modulación de ancho de pulso y un puerto UART para la transmisión asíncrona de datos, que será el utilizado para la comunicación con el microcontrolador.

Funciona con una tensión de alimentación de 3.3V, por lo que ha sido necesaria la inclusión en el proyecto de un regulador de tensión capaz de transformar los 5V con los que funciona la plataforma robótica en la tensión de trabajo del módulo XBee.



Figura 74: Regulador de tensión modelo MCP1700T-3302E/TT

El modelo escogido ha sido el MCP1700T-3302E/TT del fabricante Microchip[45], que tiene un encapsulado estándar tipo SOT-23.

Su rango de posibles tensiones de entrada encaja en las necesidades del proyecto (2.3V-6V) y proporciona a su salida una tensión fija de 3.3V.

### 3.2.16 Sensor de proximidad

El sensor de proximidad que se ha decidido incorporar es el Sharp GP2Y0A41SK0F[46]. Es un modelo de sensor infrarrojo cuyo rango de detección va desde los 4cm hasta los 30cm. Emite un haz de luz infrarroja y proporciona una salida de tensión analógica dependiente de la distancia al objeto reflector.



Figura 75: Sensor de proximidad modelo Sharp GP2Y0A41SK0F

La salida del mismo deberá ser conectada a una entrada del conversor analógico-digital del microcontrolador, de forma que éste sea capaz de interpretar la distancia que existe al objeto sobre el que se está reflejando la luz infrarroja. Utiliza un conector JST PH de tres pines. Funciona con un rango de tensiones que va desde los 4.5V hasta los 5.5V. El fabricante recomienda conectar un condensador de  $10\mu\text{F}$  entre el las líneas de alimentación y tierra y próximo al sensor, con el objetivo de estabilizar la línea de alimentación.

La relación entre la tensión de salida del sensor y la inversa de la distancia es aproximadamente lineal sobre el rango de uso del mismo.

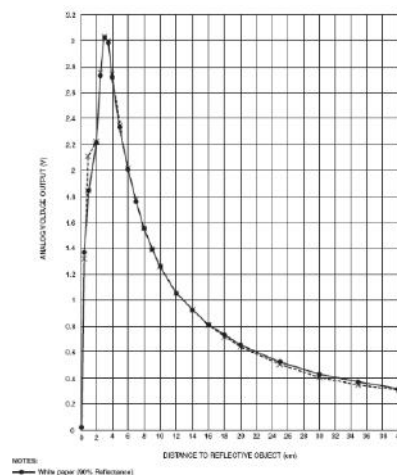


Figura 75: Salida de tensión del sensor Sharp GP2Y0A41SK0F como función de la distancia

### 3.2.17 Fotorresistencia LDR

Se ha decidido incorporar al proyecto una resistencia dependiente de la luz modelo NSL-19M51 del fabricante Sionex [47].

Consiste en dos células fotoconductoras de sulfuro de cadmio cuya resistencia disminuye al aumentar la intensidad de la luz a la que está expuesta. En concreto, el rango de resistencia a la luz va desde los  $20k\Omega$  durante la exposición máxima hasta los  $100k\Omega$  en plena oscuridad. Se presenta en un encapsulado tipo T0-18 de orificio pasante y sus dimensiones son muy reducidas, lo que facilitará su inclusión en el proyecto.

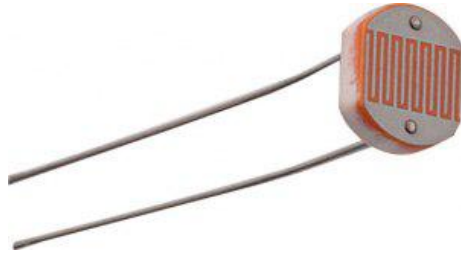


Figura 76: Fotorresistencia LDR modelo NSL-19M51

Modulando adecuadamente la respuesta sobre un sencillo circuito acondicionador se podrá establecer la transducción definitiva entre la intensidad luminosa y una salida de tensión analógica. Así, la foto-resistencia formará parte, junto con otra resistencia de  $100k\Omega$ , de un divisor de tensión cuya salida se conectará directamente a una entrada del conversor analógico-digital del microcontrolador, donde podrá interpretarse el valor de la magnitud deseada.

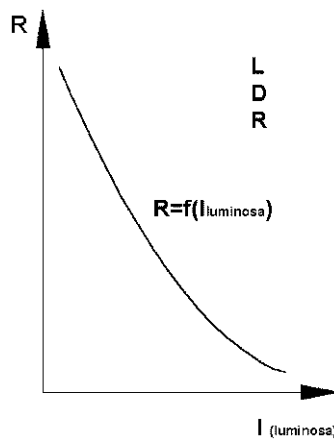


Figura 77: Resistividad que ofrece el sensor en función de la intensidad luminosa

### 3.2.19 Sensor de temperatura

Se ha decidido incorporar al diseño un sensor de temperatura modelo LM35DZ del fabricante Texas Instruments [48].

Funciona en un rango de tensión de alimentación que va desde los 4V hasta los 30V y tiene un encapsulado tipo TO-92 de agujero pasante.



Figura 78: Sensor de temperatura modelo LM35DZ

La temperatura de funcionamiento mínima son  $0^{\circ}\text{C}$  y la máxima  $100^{\circ}\text{C}$ . Proporciona una salida de tensión analógica inversamente proporcional a la temperatura, a razón de  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , de forma que conectando su salida a una entrada del convertor analógico-digital del microcontrolador y aplicando la relación de forma inversa será posible medir esta magnitud.

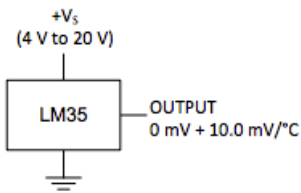


Figura 79: Esquema eléctrico sensor de temperatura modelo LM35DZ

### 3.2.18 Pulsador

El modelo de pulsador escogido para incluir en el proyecto es el EVQ11U05R de Panasonic[49].



Figura 80: Pulsador modelo EVQ11U05R

Consiste en un interruptor táctil, tipo placa de empuje con funcionamiento tipo 'push-on' y contactos SPST-NA. Son apropiados para pequeñas corrientes (20mA, 5Vcc) y tienen una vida útil de aproximadamente 50000 pulsaciones. Con un encapsulado tipo orificio pasante, además, son del tamaño apropiado para las dimensiones del proyecto.

# Capítulo **4**

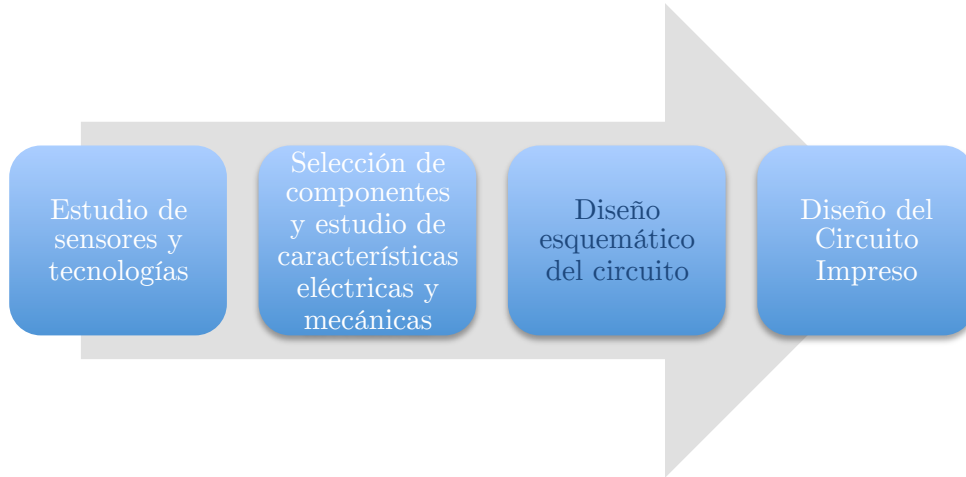
Desarrollo



## 4. Desarrollo

---

### 4.1 Introducción



Una vez completada la fase de estudio y selección de sensores y actuadores, se realizó el diseño del esquemático del circuito utilizando la herramienta de Altium Designer. Durante esta fase, la conexiones eléctricas entre componentes deben quedar perfectamente definidas.

Por último, se procedió al diseño del circuito impreso, utilizando la misma herramienta. El objetivo de esta parte es implementar las conexiones físicas sobre una placa con pistas de cobre donde irán soldados los componentes. Finalizada esta fase, la placa debe quedar perfectamente definida para su impresión.

Altium Designer es un paquete *software* de automatización de diseño y simulación de circuitos impresos en todas sus fases, desde las conexiones eléctricas en la fase esquemática hasta el diseño de la placa del circuito impreso, que además permite generar los archivos necesarios para la impresión del mismo.

## 4.2 Diseño esquemático del circuito

El diseño esquemático del circuito comenzó estudiando las conexiones mínimas que deben implementarse para el correcto funcionamiento del microcontrolador.

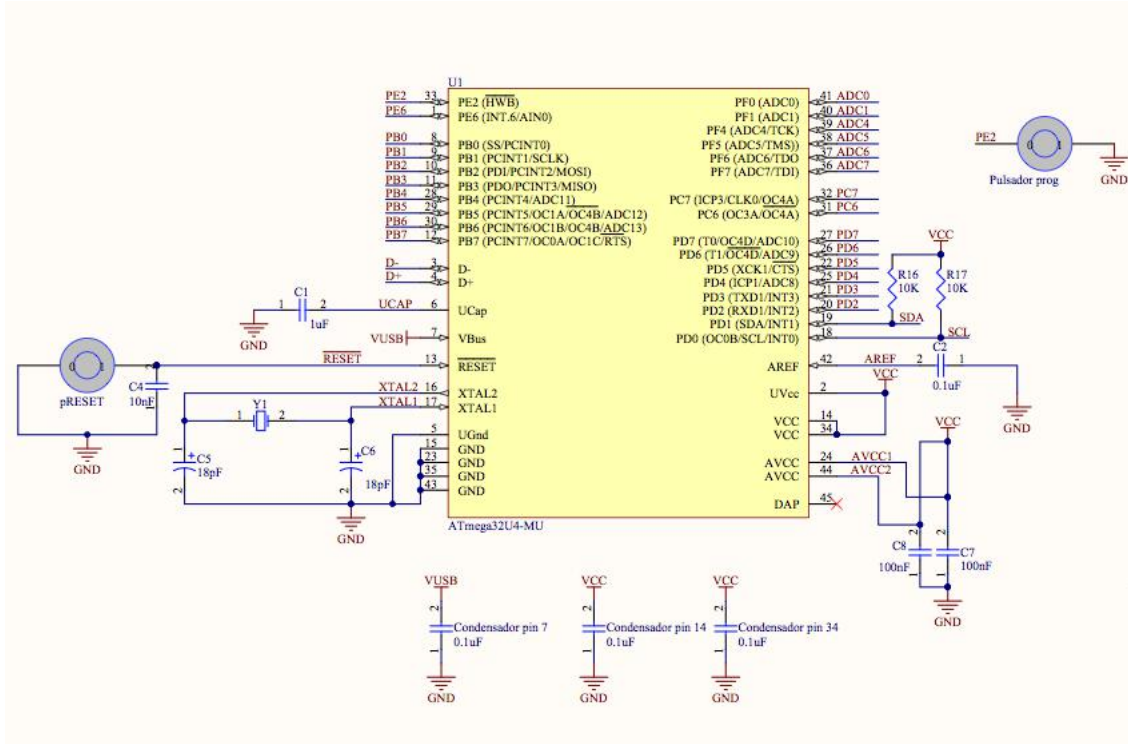


Figura 81: Diseño esquemático de conexiones microcontrolador

En la figura puede apreciarse el circuito esquemático del microcontrolador ATmega32U4.

Entre los pines XTAL1 y XTAL2 se conectó un oscilador de cristal de 11.059 MHz, de forma que el microcontrolador pueda funcionar con una señal de reloj de esta frecuencia. En sus extremos, se colocaron dos condensadores de 18pF cada uno.

Los pines D- y D+ se han referenciado a la conexión con el puerto USB. En el pin UCAP, que se corresponde con la salida del regular interno de tensión de alimentación de los pines USB, y siguiendo la recomendación del fabricante se ha conectado un condensador de 1µF.

Por otro lado, un pulsador al pin RESET para activar esta función junto con un condensador de 100nF.

En los pines 1 y 2 del Puerto D, se han establecido las conexiones de la línea de datos y la de reloj para las conexiones I<sup>2</sup>C a través de dos resistencias pull-up de 10kΩ cada una.



En las entradas AVCC de los pines 24 y 44, que son entradas de alimentación para todos los canales del convertor analógico-digital, se han conectado dos condensadores de desacoplo de valor 100nF.

El pin Aref ha sido conectado a tierra a través de un condensador de 100nF. Se encarga de establecer la tensión referencia para las conversiones del ADC.

Además, en todos los pines con conexión directa a la tensión de alimentación, VCC o VUSB, del circuito se ha colocado un condensador de desacoplo de 100nF. La función de estos condensadores, que físicamente deben ser conectados lo más cerca posible de dichos puntos, es filtrar los picos de tensión.

Los circuitos digitales conmutan en tiempos muy breves y durante este proceso se pueden generar picos de tensión significativos. Los condensadores de desacoplo ejercen de filtros de alta frecuencia evitando este efecto.

En el resto de pines del microcontrolador se colocado referencias a los puertos de entrada/salida digitales así como a los canales del convertor analógico-digital. En el siguiente esquema se puede apreciar la localización de los puertos.

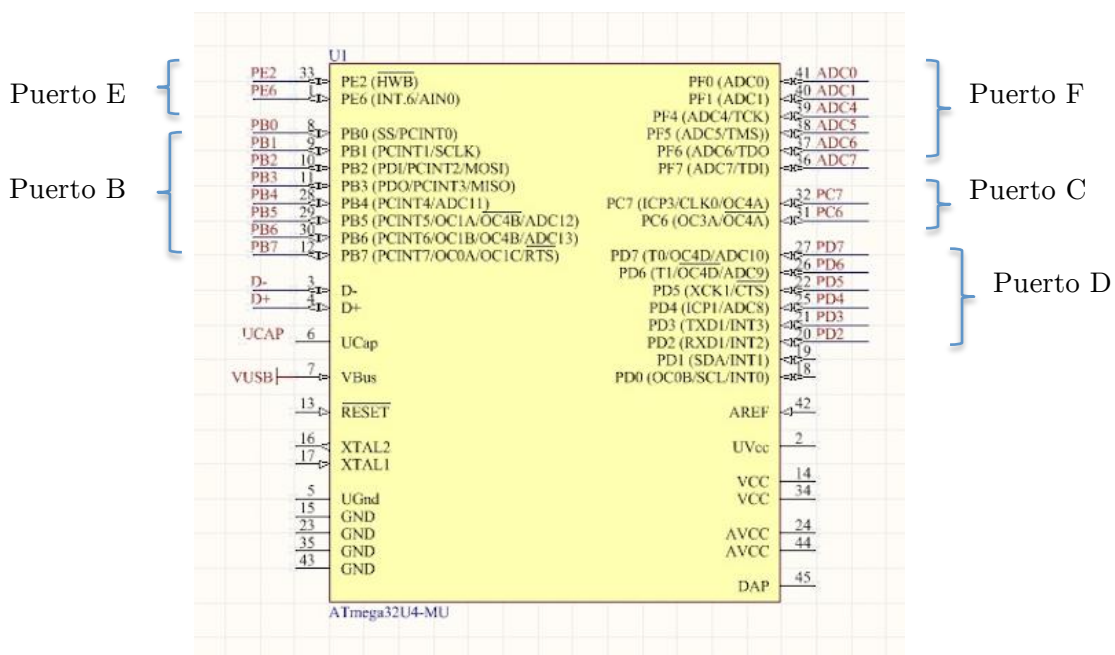


Figura 82: Esquema puertos microcontrolador

Por otro lado, se ha diseñado el circuito esquemático del puerto ISP de programación.

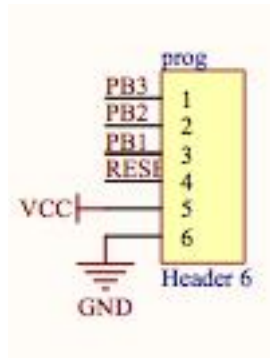


Figura 83: Diseño esquemático de conexiones programador ISP

El microcontrolador escogido para el diseño puede ser programado en modo ISP *In-System Programming*, es decir, mientras está instalado y formando parte de un sistema completo en lugar de requerir la instalación de un programa antes de ser instalado. La principal ventaja de este sistema es la posibilidad que ofrece de integrar pruebas y programación de forma simultánea. Los microcontroladores con capacidad de programación ISP tienen circuitería interna que les permite generar un voltaje de programación necesario desde la línea de alimentación convencional.

El puerto ISP de programación consiste en un bus de 6 hilos con 3 accesos a pines del microcontrolador (*Programming data input, programming data output*), además de una vía al RESET, alimentación y referencia a tierra.

En el pin 2 del Puerto E (Hardware Bootloader Activation), se ha conectado un pulsador para entrar en modo programación. Esta entrada permite activar el modo *bootloader* después de un reinicio durante el pulso de RESET, habilitando el microcontrolador para ser programado de forma externa.

Un *bootloader* es un programa que corre en el microcontrolador para ser programado. Si recibe una nueva información de programa a través de alguna vía de comunicación, escribe esta información en la memoria de programa del procesador.

De igual forma, se ha diseñado el circuito esquemático del puerto USB, que permitirá alimentar y programar el microcontrolador.

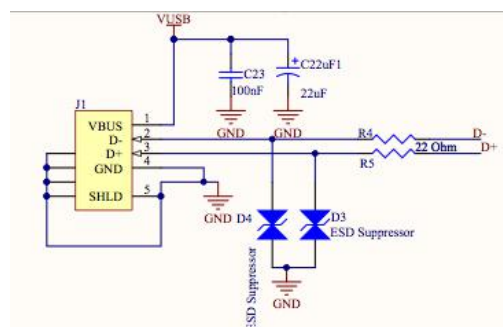


Figura 83: Diseño esquemático de conexiones puerto USB

En la figura anterior puede observarse el componente J1, que esquematiza el puerto USB. Se ha conectado el pin Vbus a la tensión de alimentación VUSB, cuya función será tanto alimentar la placa en caso de que el usuario así lo requiera como establecer contacto con el microcontrolador y que éste reconozca que se ha producido una conexión. Además, y por el mismo motivo que en los casos anteriores, se han conectado dos condensadores de desacoplo en la línea de alimentación que deberán ser físicamente implementados lo más cerca posible de la fuente.

Por otro lado, los pines D- y D+ se han conectado directamente al microcontrolador y a través estas líneas se podrá establecer comunicación e intercambio de datos entre éste y el puerto USB. El diseño del circuito incluye dos diodos ESD Supresor, cuya función es la de protección contra descargas electroestáticas.

De igual forma, se ha implementado en el diseño el siguiente circuito regulador de tensión para establecer a 5V la tensión de trabajo de toda la plataforma:

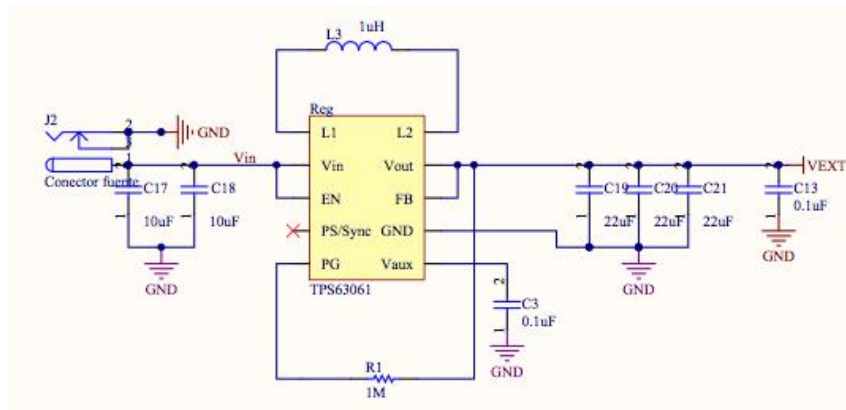


Figura 84: Diseño esquemático de conexiones regulador de tensión

En la entrada del circuito se ha colocado un conector tipo Jack a través del cual se alimentará el circuito. La salida del mismo, VEXT, deberá proporcionar una tensión fija de 5V. Además, se han colocado dos condensadores de desacoplo de 10µF para la señal de entrada y 3 condensadores de 22µF en la salida con la misma función.

Se ha diseñado también un conmutador manual que habilite al usuario para alimentar el circuito utilizando o bien la tensión proporcionada desde una fuente externa a través del conector tipo Jack o bien la conexión USB.

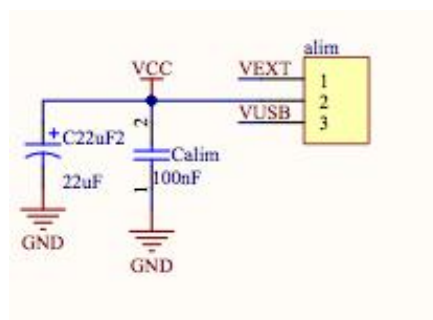


Figura 85: Diseño esquemático de conexiones conmutador de alimentación

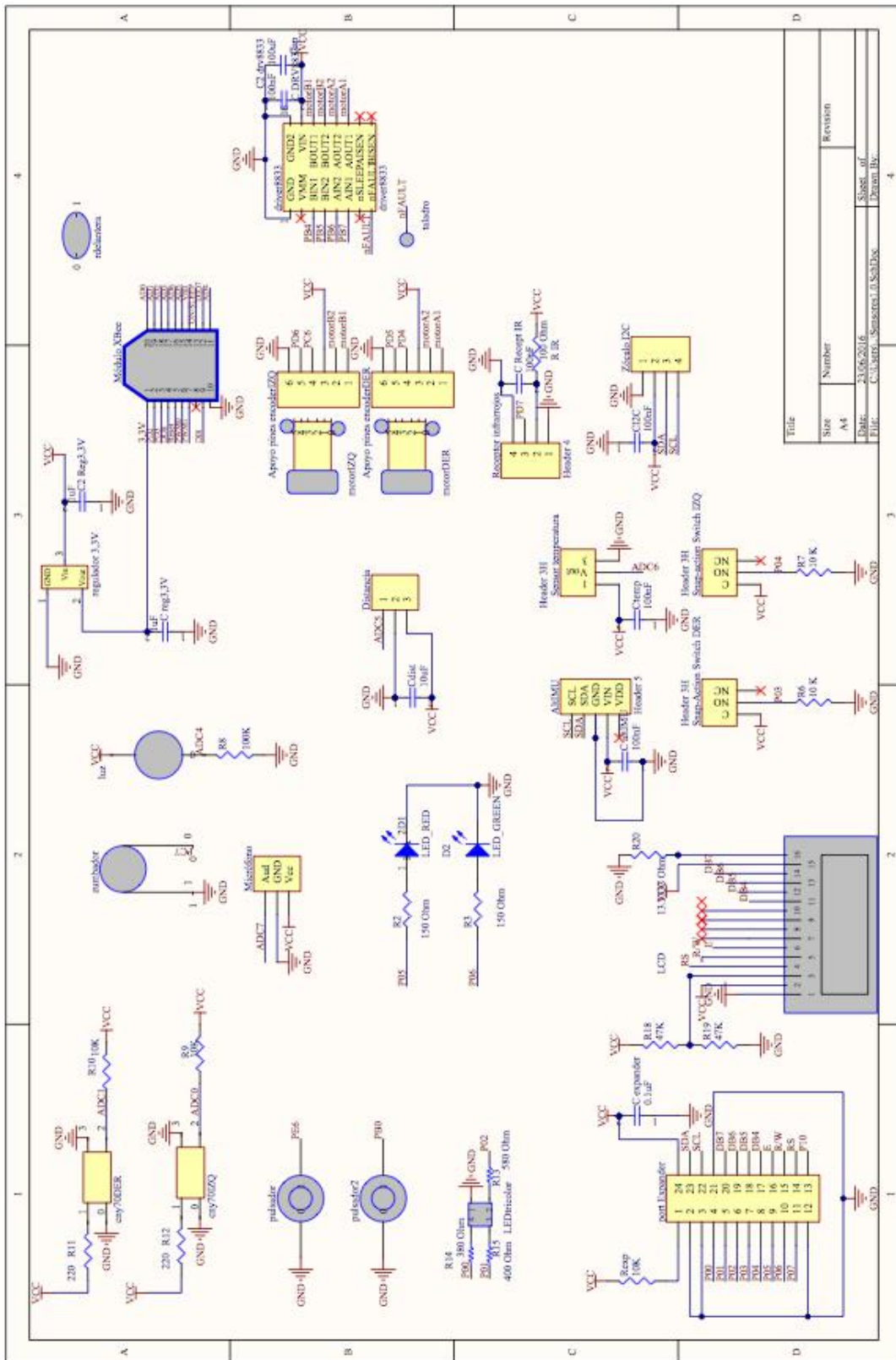


Figura 86: Hoja de diseño esquemático de sensores y actuadores incorporados

En la imagen de la página anterior puede observarse un esquema con el conjunto de sensores y actuadores incorporados al proyecto. Pueden distinguirse tres tipos:

Por un lado, los que van conectados a un pin de entrada/salida digital del microcontrolador. Entre éstos, se encuentran las conexiones de control del *driver* y las salidas del *encoder*.

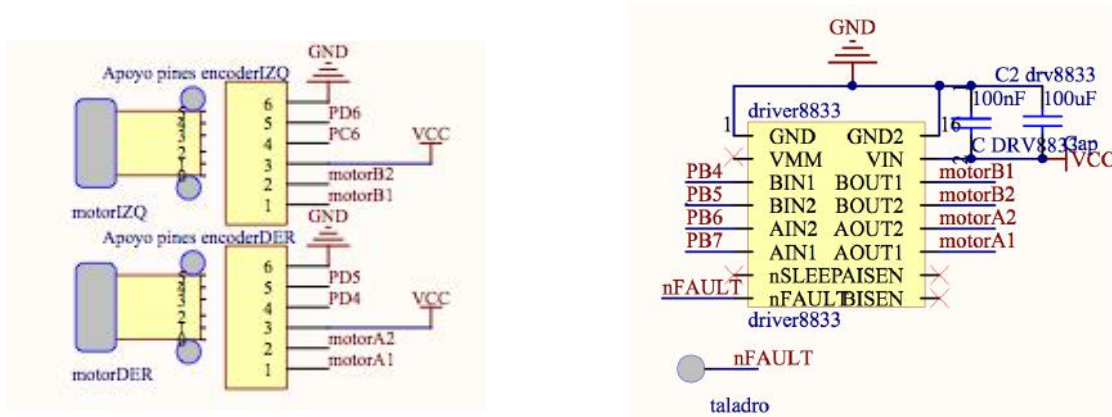


Figura 87: Diseño esquemático de conexiones *encoder*, *driver* y motores.

En el circuito esquemático del *driver*, se ha incorporado un condensador de 100 $\mu$ F con el objetivo de evitar los picos de tensión, ya que en este componente nacen las pistas que alimentan los motores DC y suponen la parte del circuito que precisa de más potencia. Además, se ha diseñado un taladro donde irá conectado un pin que de acceso a la función Nfault, que detecta un fallo en el *driver* en caso de sobre-corriente o exceso de temperatura. Sobre este pin se instalará un zócalo que habilite al usuario para trabajar con esta función.

Otros sensores van conectados directamente a entradas del convertor analógico-digital, como el sensor de proximidad, el LDR, los infrarrojos de corto alcance o CNY70, el sensor de temperatura y el micrófono.



Figura 87: Diseño esquemático de conexiones del detector de sonido y la fotorresistencia LDR

En las figuras anteriores pueden observarse la fotorresistencia LDR y el detector de sonido, ambos conectados a una entrada del conversor analógico-digital del microcontrolador.

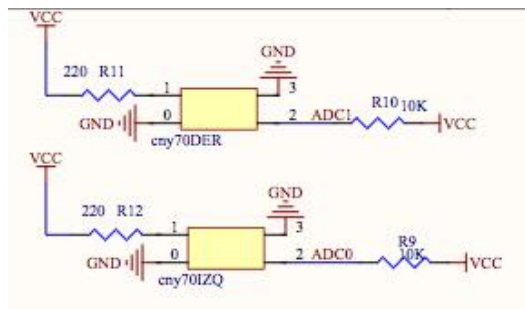


Figura 88: Diseño esquemático de conexiones de los sensores CNY70

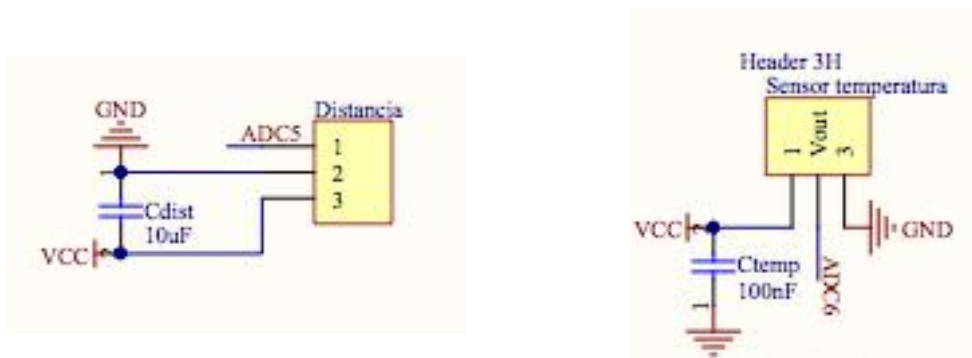


Figura 89: Diseño esquemático de conexiones del sensor de proximidad y el sensor de temperatura

En estas figuras pueden observarse los circuitos esquemáticos los sensores infrarrojos de corto alcance CNY70, el sensor de proximidad y el de temperatura. Para el CNY70, se ha optado por un montaje con la salida de tensión analógica en el colector del fototransistor. En el caso del sensor de proximidad y el de temperatura, el fabricante recomienda conectar un condensador de desacoplo de  $10\mu\text{F}$  y  $100\text{nF}$  respectivamente, entre las líneas de alimentación y tierra de cada uno.

Además, se ha conectado el zumbador, o *buzzer*, a una salida del microcontrolador con opción a modular el ancho de pulso de la señal. En concreto, al pin 7 del puerto C, que permite habilitar la opción PWM a través del contador, o *timer*, 4.

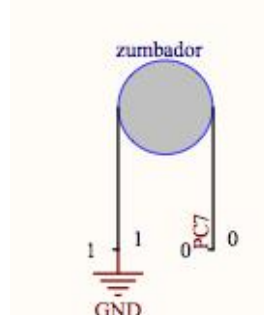


Figura 90: Diseño esquemático de conexiones del zumbador



El receptor de infrarrojos ha sido conectado al pin 7 del puerto D, que permite habilitar el contador o *timer* del microcontrolador.

Utilizando esta función, se espera que el sensor sea capaz de interpretar la señal codificada de un mando universal e implementar correctamente las órdenes.

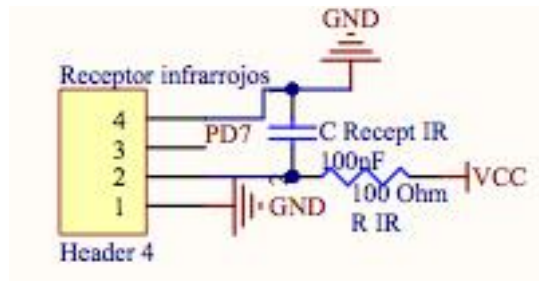


Figura 91: Diseño esquemático de conexiones del receptor de infrarrojos

Se ha conectado un condensador de desacoplo entre los pines de alimentación y tierra y una resistencia de 100  $\Omega$  en la línea de alimentación siguiendo las indicaciones del fabricante.

Otro componente del que se ha diseñado el circuito esquemático es el módulo de comunicación inalámbrica. Para la correcta implementación de este dispositivo ha sido necesario alimentarlo a través de un regulador, que transforme la tensión nominal del circuito (5V) en la tensión de trabajo del módulo XBee (3.3V).

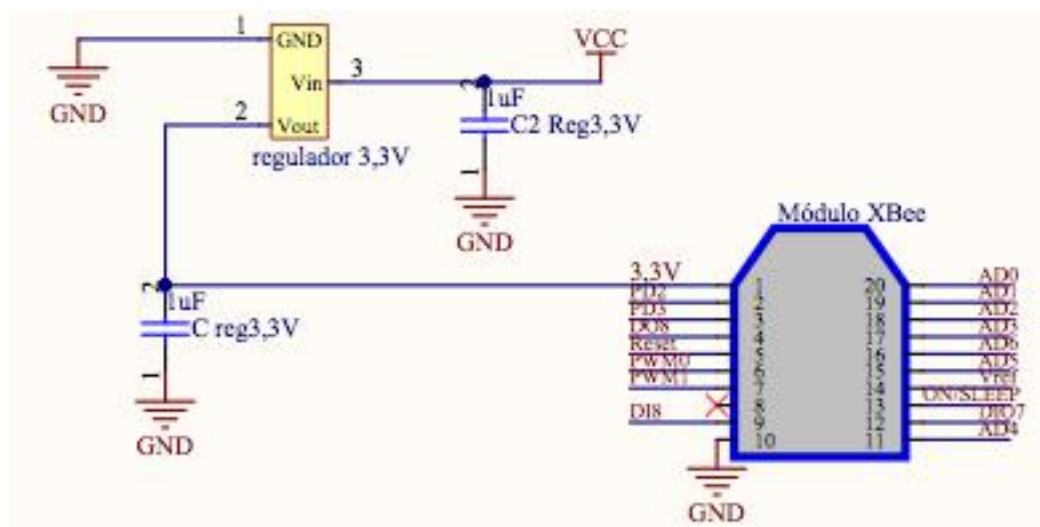


Figura 92: Diseño esquemático de conexiones módulo de comunicación inalámbrica XBee y del circuito de alimentación del mismo

Además, las líneas de transmisión y recepción de datos se han conectado a los pines 2 y 3 del Puerto D, que se corresponden con el puerto serie asíncrono y *full-duplex* UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) del microcontrolador.

La comunicación con el resto de sensores/actuadores del diseño se realiza a través del protocolo I<sup>2</sup>C.

Las líneas SDA y SCL del protocolo nacen en el microcontrolador, que ejercerá de componente maestro, concretamente en los pines 0 y 1 del puerto D. Conectados directamente a estas líneas se encuentran el AltIMU y el expansor de puertos. Éste último multiplica las entradas/salidas digitales facilitando la comunicación entre el resto de componentes y el microcontrolador.

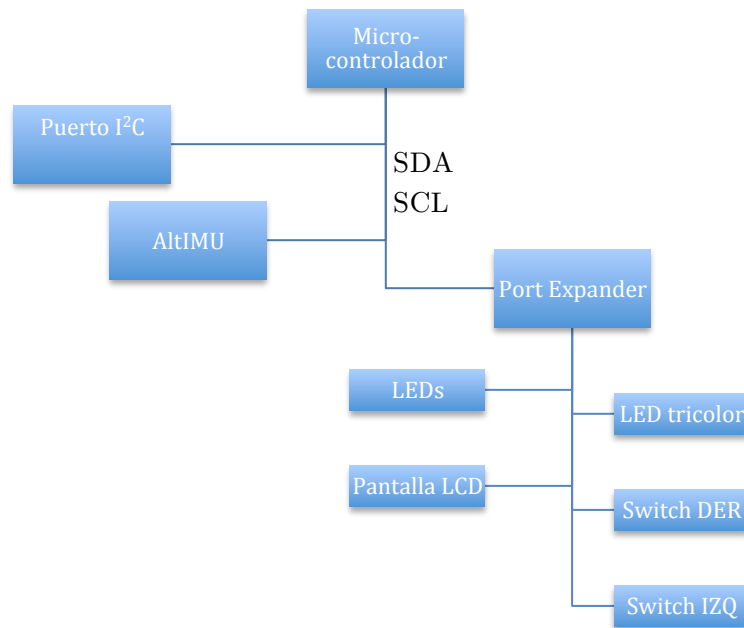


Figura 93: Esquema de conexión de componentes a través del bus I<sup>2</sup>C

En la siguiente imagen se puede apreciar el diseño esquemático del AltIMU y el expansor de puertos, ambos conectados a las líneas SCL y SDA del bus I<sup>2</sup>C.

El módulo de orientación proveerá acceso a todos los elementos que contiene (altímetro, brújula, acelerómetro, giroscopio) seleccionando adecuadamente la dirección de cada uno de ellos.

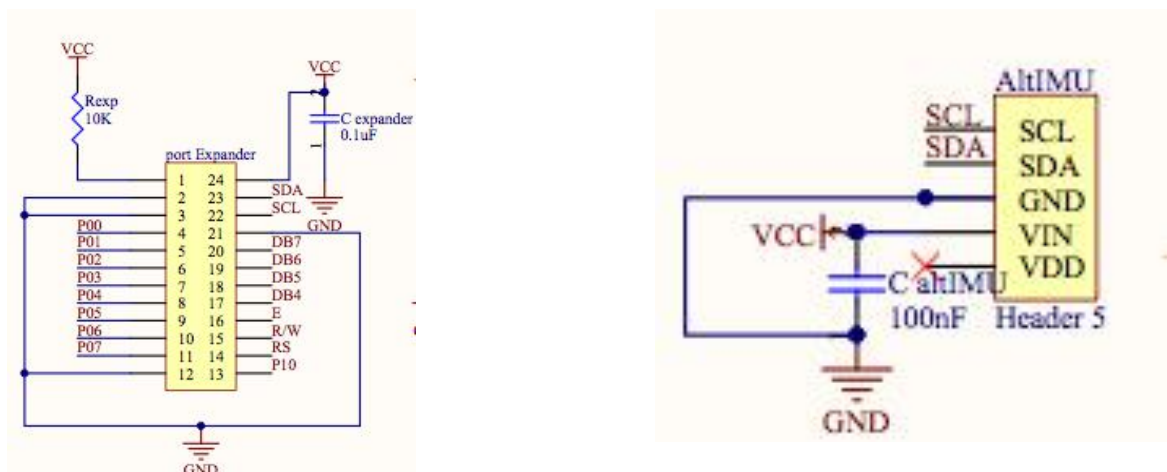


Figura 94: Diseño esquemático de conexiones del expansor de puertos y el módulo AltIMU



El expansor de puertos habilita la opción de efectuar una lectura, activar o desactivar los 16 pines digitales de los puertos P0 y P1.

Los pines 0 a 7 del puerto 1 del expansor se utilizan para el control de la pantalla LCD. Se ha diseñado la conexión de la misma de manera que trabaje en modo 4 bits, es decir, el bus de datos de ésta sólo requiere 4 líneas, que sumadas a los 3 bits de control hacen un total de 7 pines del expansor necesarios para su correcto funcionamiento. En la siguiente imagen se puede apreciar las conexiones que ha sido necesario implementar en la pantalla LCD.

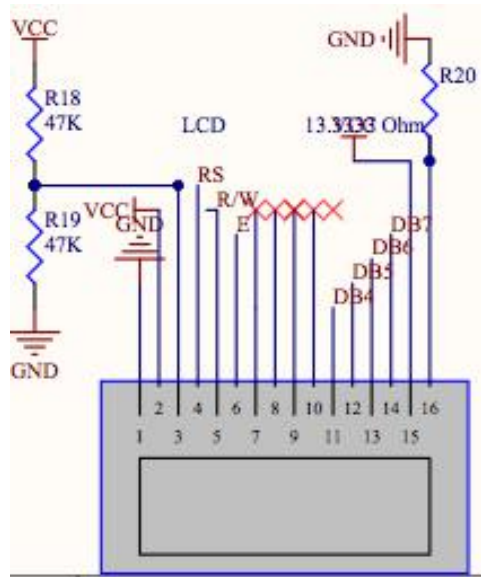


Figura 95: Diseño esquemático de conexiones de la pantalla LCD

En las siguientes imágenes se presentan el resto de componentes conectados al expansor de puertos. Concretamente, los pulsadores de acción rápida para la detección de contacto (pines 3 y 4 del puerto 0), los LEDs (pines 5 y 6 del puerto 0) y el LED tricolor (pines 0, 1 y 2 del puerto 0).



Figura 96: Diseño esquemático de conexiones del diodo LED tricolor y los diodos LED rojo y verde

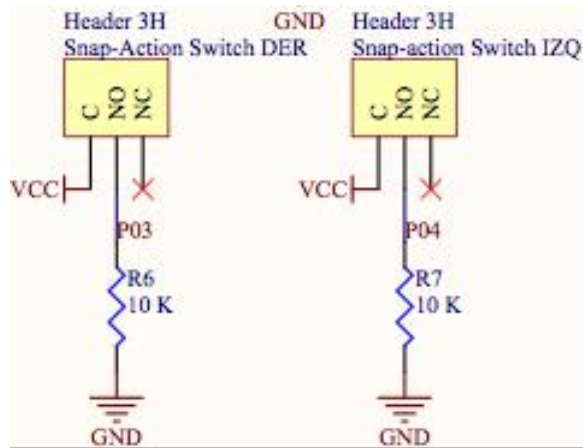


Figura 97: Diseño esquemático de conexiones de los interruptores de acción rápida

Por último, se ha decidido incorporar al diseño del circuito un puerto con conexión directa al bus I<sup>2</sup>C para que el usuario incorpore, de esta forma, tantos componentes como desee a través de este protocolo de comunicación. Además de las líneas de datos y reloj, se han habilitado una conexión a la alimentación del sistema y un pin de referencia a tierra.

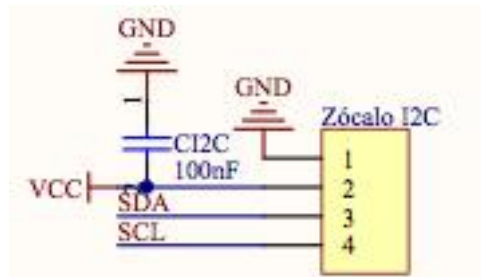


Figura 98: Diseño esquemático de conexiones del puerto I<sup>2</sup>C para ampliaciones

### 4.3 Diseño del circuito impreso

Una vez finalizada la fase de diseño esquemático del circuito, se procedió al diseño del PCB (*Printed Circuit Board*) utilizando la herramienta Altium Designer.

La primera fase para completar el diseño consiste en asignar a cada elemento del circuito su huella, o *footprint*, correspondiente. Este archivo contiene toda la información relativa a las dimensiones exactas del componente así como tamaño, número y disposición de *pads* para la tecnología de montaje superficial o taladros para la de agujero pasante.

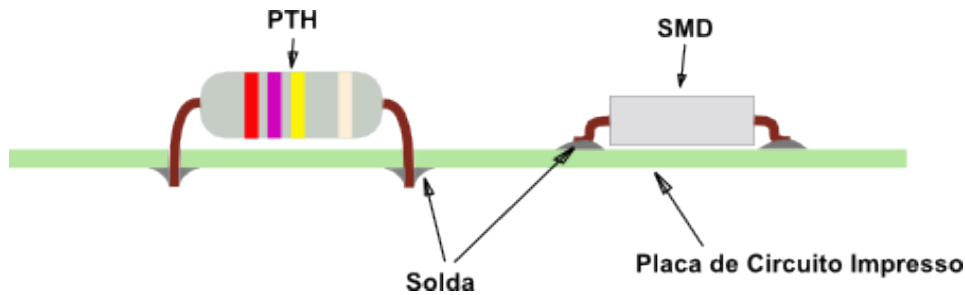


Figura 99: Soldaduras de componentes *through hole* y montaje superficial

Asignando una etiqueta a los pines, o *pads*, del footprint de cada componente con el mismo número que en el diseño esquemático, la herramienta de diseño Altium Designer señalará las conexiones eléctricas que deben rutarse en el circuito. Además, su ubicación en el conjunto del PCB permitirá a la herramienta de impresión del circuito definir las zonas de soldadura o taladros.

El *footprint* de aquellos componentes con una familia de encapsulado estándar puede encontrarse en las librerías públicas que proporciona la propia página web de Altium Designer. Es el caso, por ejemplo, del microcontrolador o el regulador de tensión de 3.3V.

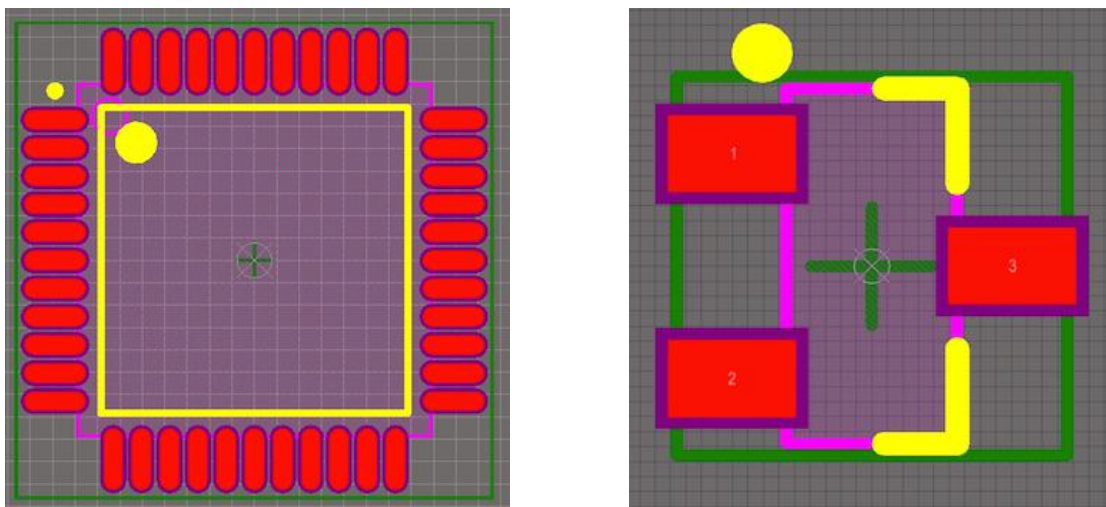


Figura 100: *Footprint* de microcontrolador y regulador de tensión

El *footprint* de otros componentes, sin embargo, se ha realizado a mano. En la siguiente imagen puede verse el resultado del diseño de la huella del módulo de comunicación inalámbrica Xbee, el receptor de infrarrojos y la pantalla LCD.

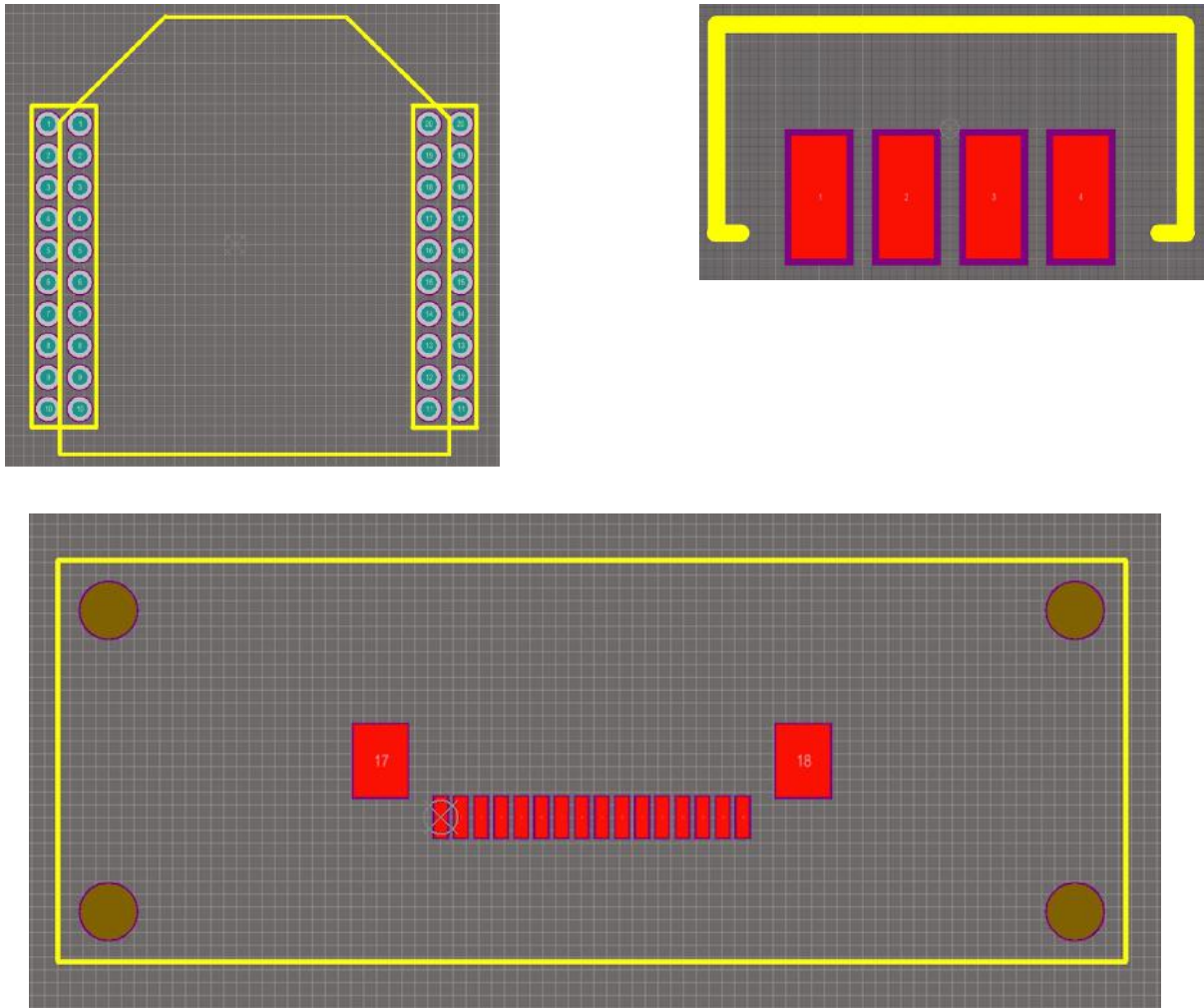


Figura 101: *Footprint* de módulo de comunicación inalámbrica XBee, pantalla y receptor de infrarrojos

Los *pads* para componentes de montaje superficial aparecen en rojo y tienen exactamente mismo tamaño, forma y disposición que en el propio componente. Igualmente los taladros, para el caso de los pines de los componentes *through-hole*, deben posicionarse siguiendo las dimensiones reales del sensor o actuador. Estos últimos son de color azul y al tamaño del taladro se añade un margen (zona gris) que dibujará la impresora de circuitos y donde se prevé que irá ubicada la soldadura. Además, en el *footprint* de la pantalla pueden observarse, en marrón, los 4 taladros que deberán efectuarse sobre la placa para atornillarla.

Una vez se ha incluido o diseñado el *footprint* de cada uno de los componentes, se procede a diseñar el PCB. Este proceso consiste en una primera etapa donde se posicionan los componentes sobre la placa y una segunda donde se procede al rutado de las pistas.

En las siguientes imágenes puede apreciarse el proceso de posicionamiento de componentes sobre el PCB. Debieron tenerse en cuenta los límites del diseño, las dimensiones de los componentes y las conexiones eléctricas.

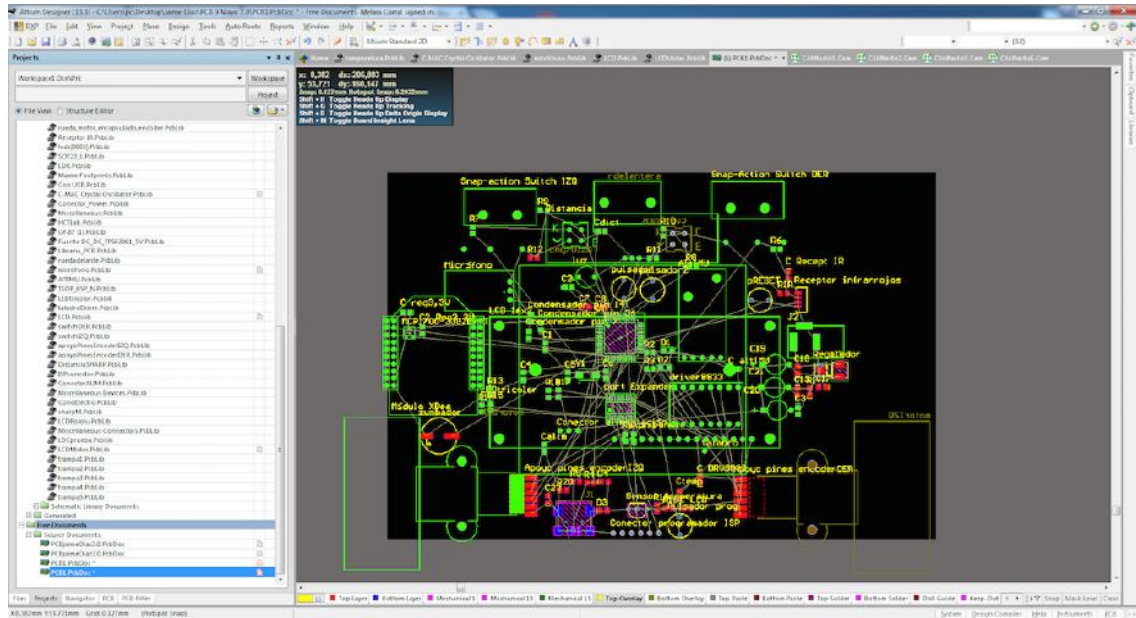


Figura 102: Imagen de la herramienta Altium Designer durante el proceso de incorporación de componentes

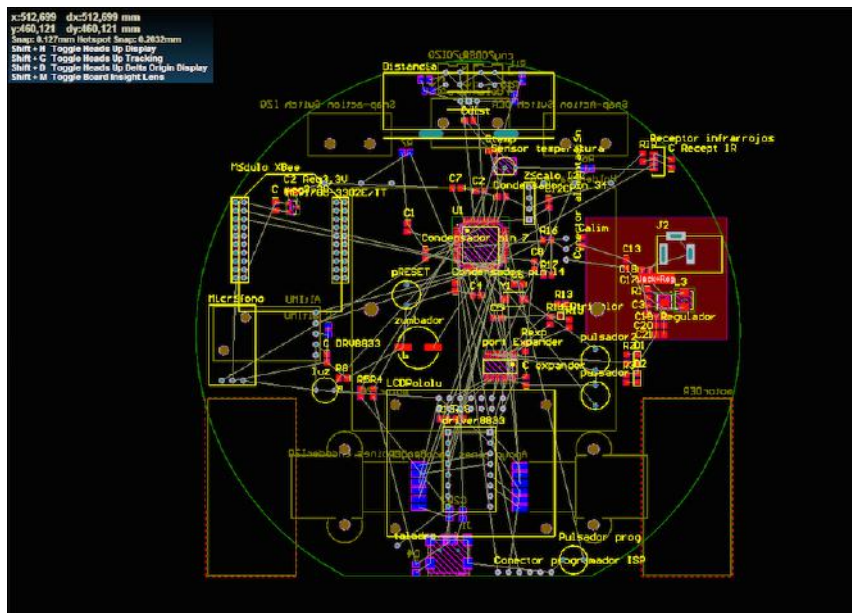


Figura 103: Imagen de la herramienta Altium Designer durante el proceso de composición del circuito

Como puede observarse, el programa de diseño marca, utilizando líneas blancas, las conexiones eléctricas entre componentes facilitando, de esta forma, un posicionamiento inteligente y evitando fallos en el rutado de las pistas. Además, con un código de capas



y colores, permite diferenciar qué componentes irán ubicados en la zona superior de la placa y cuales en la inferior, la serigrafía o las zonas de soldadura.

Una vez decididos tamaño y forma final del PCB y completado el posicionamiento de componentes sobre el mismo, se procedió a realizar el rutado de las pistas. Para esta fase, se debieron tener en cuenta una serie de parámetros que deben ser programados como reglas de diseño del circuito.

Estos parámetros son los siguientes:

		Objetivo
Separación mínima entre pistas	0,2 mm	Evitar cortocircuitos por imprecisiones de la herramienta de impresión
Distancia mínima entre pista y <i>pad</i> de componente	0,254 mm	Evitar cortocircuitos por imprecisiones de la herramienta de impresión
Ancho de pistas generales	0,3 mm	
Ancho de pistas alim. motores	0,4 mm	Aumentar la intensidad de corriente que puede soportar la pista
Ancho de pistas VCC	0,4 mm	
Número de capas	2 ( <i>top</i> y <i>bottom</i> )	
Tamaño de vías	1,27 mm	

Una vez finalizada una primera versión del rutado, fue necesario hacer numerosas correcciones.

Por un lado, separar en la medida de lo posible zonas de soldadura que hubieran quedado demasiado cerca entre sí, con el objetivo de facilitar dicha tarea y evitar cortocircuitos.

Además, fue necesario corregir la posición de las vías ya que algunas se diseñaban debajo de componentes de montaje superficial. Las vías son taladros en el PCB que conectan pistas entre capas. Para este proyecto y teniendo en cuenta las limitaciones técnicas, las vías se montan a mano y no quedan perfectamente horizontales y niveladas con la superficie de la placa.

Como la opción de evitar vías debajo de componentes de montaje superficial es imposible de programar se procedió a simular una tercera capa entre la capa *top* y la capa *bottom* donde posteriormente se diseñaron e incorporaron componentes del mismo tamaño que los primeros pero se incluyeron en la nueva capa. De esta forma, la herramienta de rutado no posiciona vías en esa zona y, sin embargo, si permite el paso de pistas por encima y por debajo del componente, en las capas superior e inferior. Dichos componentes fueron posteriormente eliminados.

Una vez completada la fase de corrección y revisión del rutado se llegó a la versión final del diseño del circuito impreso, que puede apreciarse en la siguiente imagen.

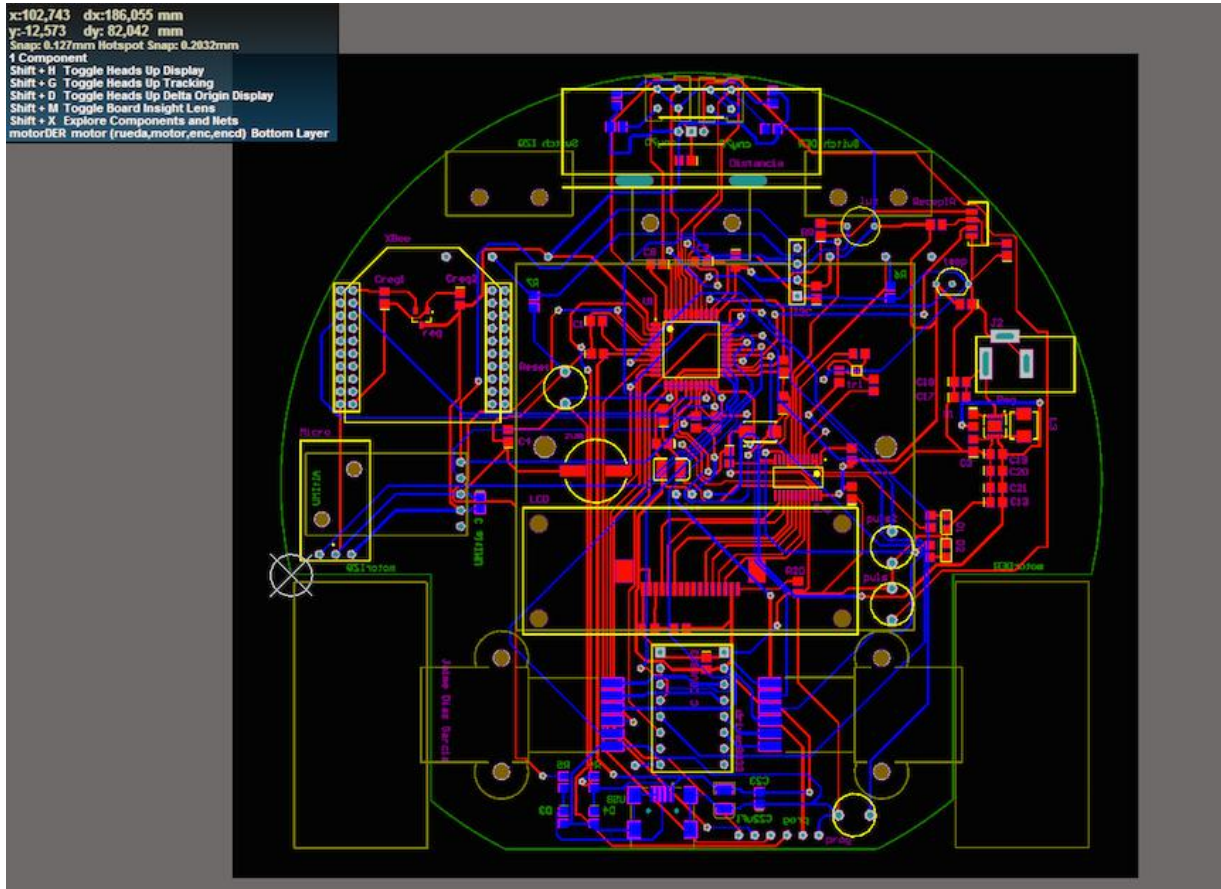


Figura 104: Versión final del diseño del circuito impreso PCB

Una vez completado el diseño es necesario exportar los archivos Gerber files y NC Drills, que contienen la información necesaria para la fabricación del PCB (posición de componentes, pistas y taladros y dimensiones de la placa).

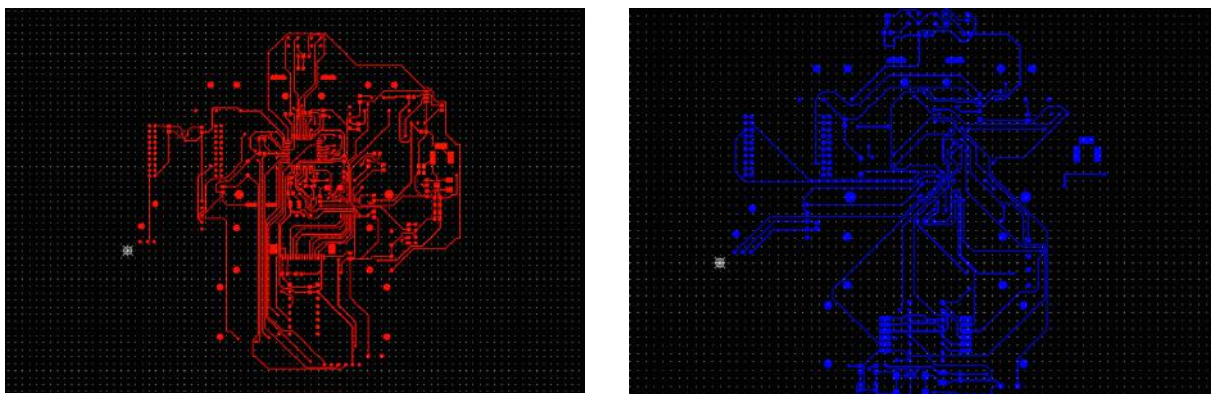


Figura 105: Archivos de salida Gerber de las caras *top* y *bottom*

## 4.4 Montaje y soldadura

Una vez finalizado el diseño e impresa la placa, se procedió a soldar elementos y montar componentes. Toda la fase de soldadura se realizó a mano en el taller del HCTLab de la EPS.



Figura 106: Placa de circuito impreso durante la fase de soldadura en el taller HCTLab

En primer lugar se soldaron las vías, con el objetivo de habilitar todas las pistas del circuito. En una segunda fase se realizó el montaje del microcontrolador, junto con la circuitería necesaria para ponerlo en funcionamiento y el conector ISP, necesario para programar éste.

Después, se realizó un montaje progresivo de sensores y actuadores que eran probados de forma individual, garantizando así su funcionamiento antes de incluir más componentes en la placa.



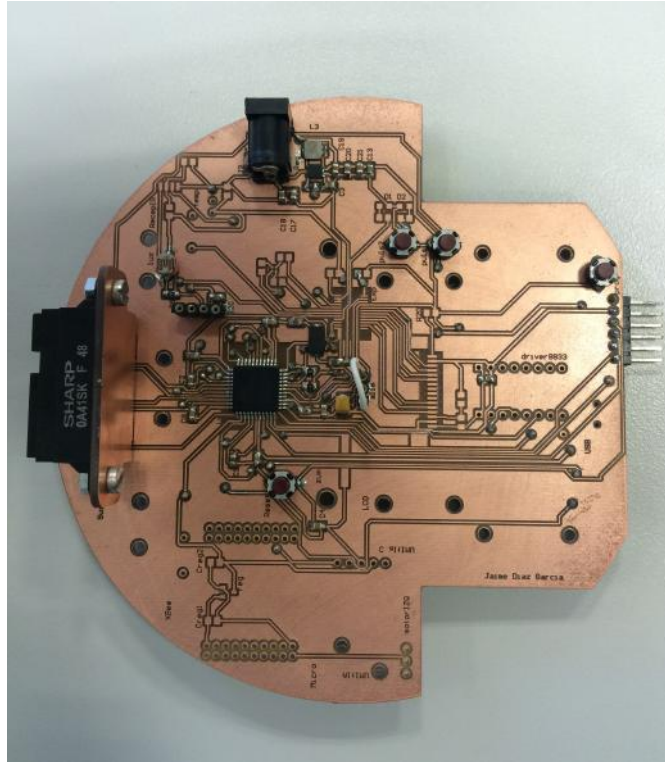


Figura 107: Plataforma robótica durante la fase de montaje de componentes

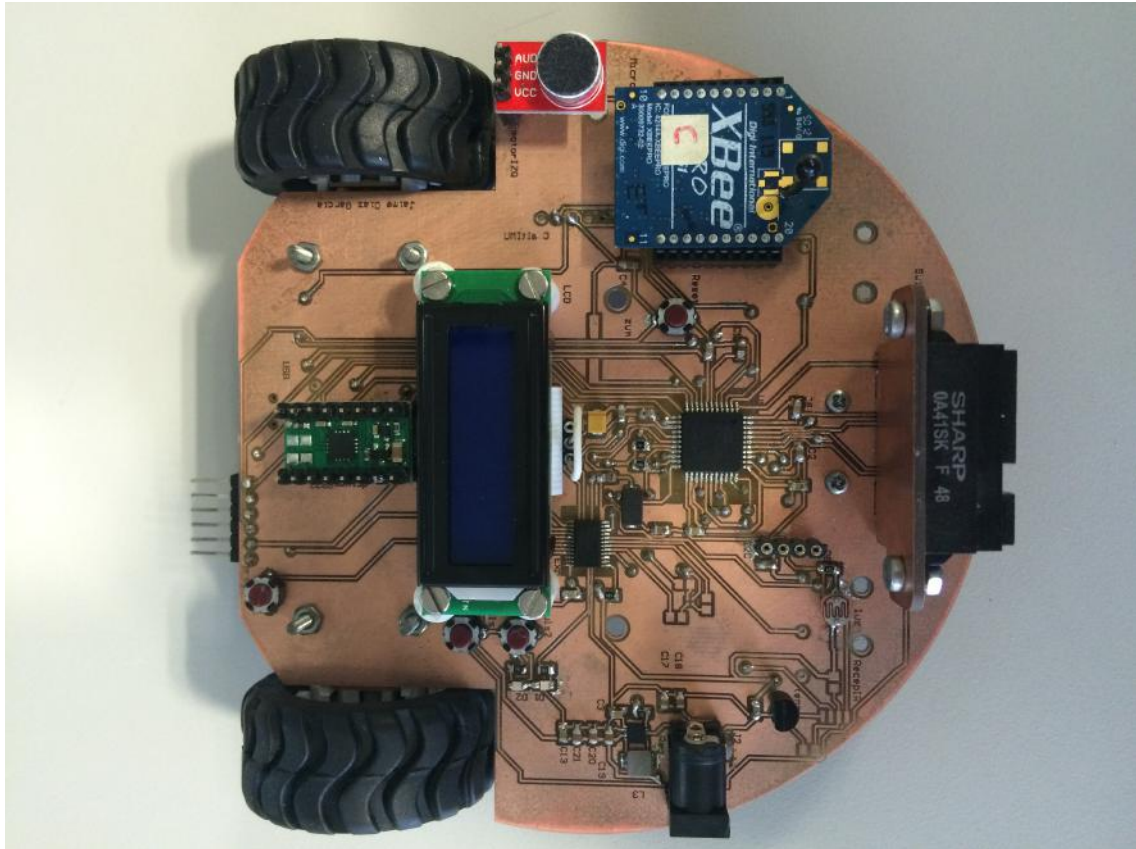


Figura 108: Plataforma robótica una vez completado el montaje de componentes

## 4.5 Software

Se han desarrollado, en lenguaje de programación c, una serie de rutinas con el objetivo de facilitar el uso de sensores y actuadores de una forma cómoda y con una simple llamada a función y envío de parámetros. De esta forma se facilita que usuarios con poco nivel de experiencia en programación puedan hacer uso de todas las funcionalidades de la plataforma robótica sin hacer grandes modificaciones de código.

En un futuro, estas rutinas podrán ser incluidas en las funciones de la interfaz gráfica diseñada por William Luguña en el Trabajo de Fin de Grado “Entorno de programación para aplicaciones en robótica”. De esta manera, un usuario inexperto podría manipular las funcionalidades del robot sin hacer uso del código fuente.

Estas rutinas forman parte de la librería Robótica.

### 4.5.1. Herramienta de programación

Se ha utilizado el *software* Atmel Studio como herramienta de programación. Este programa permite desarrollar las rutinas en lenguaje c, además de depurar el código y sintetizar el archivo hexadecimal que será instalado en el microcontrolador a través del bus ISP.

Entre sus principales ventajas se encuentra que dispone de las librerías de los microcontroladores Atmel de la serie AVR

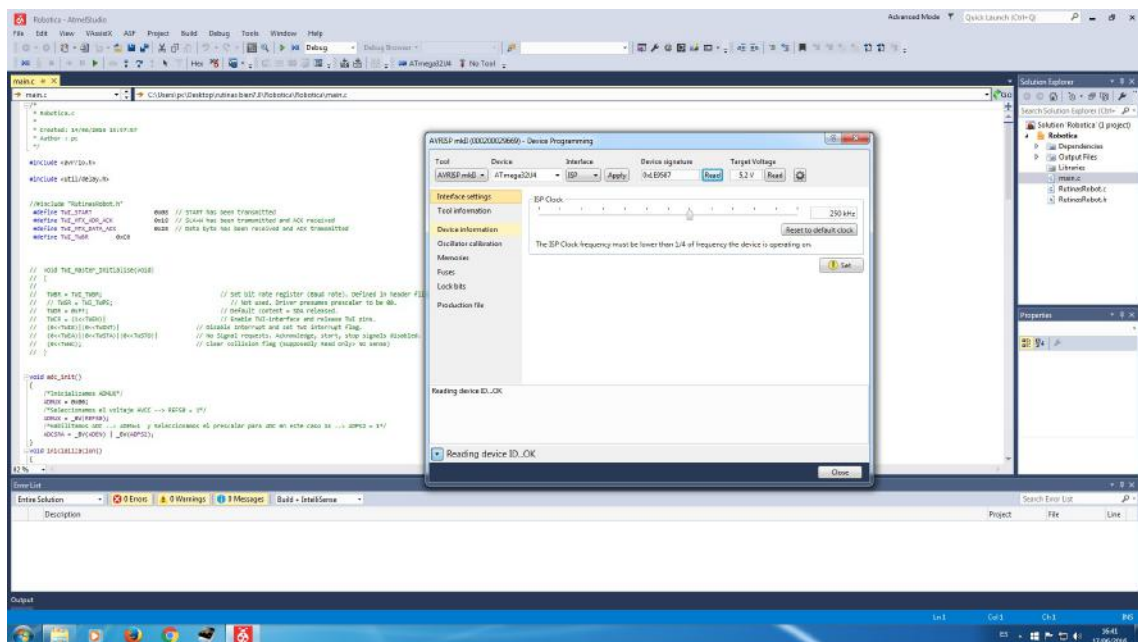


Figura 109: Imagen de la herramienta Atmel Studio durante el proceso de elaboración de rutinas y programación de la plataforma

## 4.5.2 Rutinas

### 4.5.2.1 Rutina Inicialización

En primer lugar se ha programado una rutina que inicializa los pines del microcontrolador y los habilita como entradas o como salidas, según corresponda.

```
void inicialización();
```

De igual forma, se han programado otras dos rutinas de inicialización, una para el conversor analógico-digital y otra que inicializa el protocolo de control del bus I<sup>2</sup>C y por tanto habilita dicha funcionalidad. Estas dos rutinas se ejecutan con una simple llamada a la función de inicialización general.

```
void adc_init();  
void TWI_Master_Initialise (void);
```

### 4.5.2.2 Rutina LEDs

Se han programado varias rutinas de control de los diodos LED:

```
Void LedVerde(void);  
Void LedRojo(void);  
Void APAGALeds(void);  
Void EncenderLeds(void);
```

El control de los diodos LED lo realiza el expansor de puertos, el cual se comunica con el micro-controlador con el protocolo TWI (*Two Wire Interface*), que equivale a I<sup>2</sup>C en las rutinas de control de un microcontrolador Atmel.

Para activar dicha comunicación en primer lugar se debe realizar una llamada a la rutina de inicialización del protocolo, TWI\_Master\_Initialise, la cual habilita y configura el maestro TWI y lo programa en su estado de espera inicial.

Así mismo, asigna un valor al registro TWBR (TWI Bit Rate Register), que controla la velocidad en la línea de reloj SCL. Dicho valor se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{SCL frequency} = \frac{\text{CPU Clock frequency}}{16 + 2(\text{TWBR}) \cdot 4^{\text{TWPS}}}$$

Figura 110: Relación de la frecuencia de reloj del protocolo I<sup>2</sup>C con el registro TWBR

Mediante la asignación TWBR = 0xC0 se configura la línea de reloj del protocolo para que trabaje a una frecuencia de 40Hz, la cual se ha considerado óptima.

La comunicación debe comenzar con una condición de inicio, seguida por el direccionamiento del esclavo que debe recibir la información. Una vez establecida la

comunicación, se procede al intercambio de datos, que finaliza con una condición de parada. El registro TWCR (TWI Control Register) se utiliza para controlar la comunicación en todas sus fases y comprobar el estado de los asentimientos ACK.

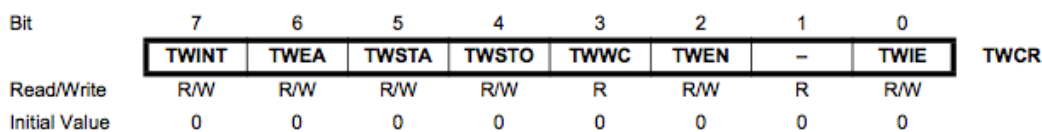


Figura 111: Imagen de la distribución de los bits del registro TWCR

El registro TWDR (Two Wire Data Register) contiene el siguiente byte que será transmitido cuando el maestro gobierna la comunicación.

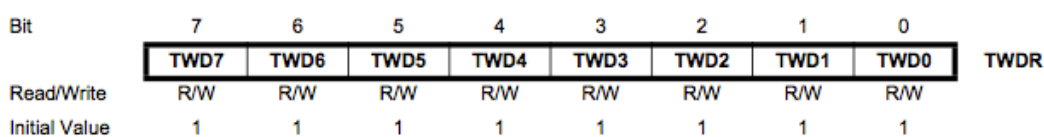


Figura 112: Imagen de la distribución de los bits del registro TWDR

Para las rutinas de control de los diodos LED, el esclavo al que deberá direccionar el protocolo será el expansor de puertos modelo TCA9535 de Texas Instruments, cuya dirección depende del nivel lógico de los pines A0, A1 y A2 del mismo, los cuales son configurables vía hardware.

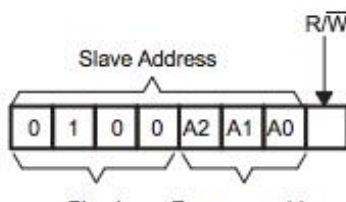


Figura 113: Imagen de la distribución del byte que direcciona al esclavo

En el diseño de este proyecto se han conectado los 3 pines a nivel lógico 0, por lo que finalmente la dirección del esclavo será 0b0100000 ó 0x20. El primer byte transmitido en el protocolo debe contener al final el bit R/W que determina si la operación será de escritura o de lectura. De esta forma, el byte que direccionará el esclavo será 0x40.

Una vez completada esta etapa, se debe escribir en los registros del expansor de forma que activen los pines correspondientes y enciendan o apaguen los diodos LED.

CONTROL REGISTER BITS			COMMAND BYTE (HEX)	REGISTER	PROTOCOL	POWER-UP DEFAULT
B2	B1	B0				
0	0	0	0x00	Input Port 0	Read byte	xxxx xxxx
0	0	1	0x01	Input Port 1	Read byte	xxxx xxxx
0	1	0	0x02	Output Port 0	Read-write byte	1111 1111
0	1	1	0x03	Output Port 1	Read-write byte	1111 1111
1	0	0	0x04	Polarity Inversion Port 0	Read-write byte	0000 0000
1	0	1	0x05	Polarity Inversion Port 1	Read-write byte	0000 0000
1	1	0	0x06	Configuration Port 0	Read-write byte	1111 1111
1	1	1	0x07	Configuration Port 1	Read-write byte	1111 1111

Figura 114: Imagen de la distribución de los registros de control de los puertos del expansor

Los diodos LED se encuentran conectados a los pines 5 y 6 del puerto 0 del expansor. Por tanto, y según el esquema de control de registros del dispositivo, se debe entrar en modo configuración del puerto 0 (comando 0x06) y definir dichos pines como salidas para posteriormente escribir sobre ellos.

El proceso completo, por tanto, se podría resumir de la siguiente manera:

1. Condición de inicio, START
2. Direccional al esclavo TCA9535 TWDR = 0x40;
3. Entrar en modo configuración del puerto TWDR = 0x06;
4. Configurar pines 5 y 6 como salidas TWDR = 0xAF;
5. Entrar en modo escritura de los registros del puerto 0 TWDR = 0x02;
6. Escribir el nivel lógico deseado en el pin del puerto que corresponda
7. Condición de parada, STOP

#### 4.5.2.4 Rutina Pulsadores

Se han programado dos rutinas de control de los pulsadores 1 y 2 de forma que habilita los pines correspondientes del microcontrolador como entradas y comprueba su estado.

```
unsigned short pulsador1();
```

```
unsigned short pulsador2();
```

Dichas funciones devuelven el valor 0 en el caso de que el pulsador se encuentre sin activar y el valor 1 si son pulsados.

#### 4.5.2.5 Rutina Distancia

Se ha programado una rutina que determina, a través del sensor de proximidad, si la distancia entre la plataforma robótica y un objeto en concreto es superior o inferior a un umbral previamente establecido.

```
unsigned short distancia(umbral);
```

Esta rutina, en primer lugar, hace una llamada a la rutina `adc_init()` de forma que se inicialice la función del conversor analógico-digital del microcontrolador. En segundo lugar, debe establecer el pin 5 del puerto F como entrada de tensión analógica. Una vez realizada la conversión, la función devolverá 1 en caso de que la medida de distancia se encuentre por debajo del umbral establecido y 0 en caso contrario.

Para inicializar el conversor se deben configurar varios registros. En primer lugar se debe inicializar el registro ADMUX y seleccionar como tensión de referencia la de trabajo de circuito VCC, activando el bit 6 del mismo (REFS0). Más adelante se deberá escoger el canal de conversión utilizando los bits MUXx del registro.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>REFS1</b>	<b>REFS0</b>	<b>ADLAR</b>	<b>MUX4</b>	<b>MUX3</b>	<b>MUX2</b>	<b>MUX1</b>	<b>MUX0</b>	<b>ADMUX</b>
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 115: Imagen de la distribución de los bits del registro ADMUX

En segundo lugar, se debe habilitar el conversor activando el bit ADEN del registro ADCSRA (ADC Control and Status Register)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>ADEN</b>	<b>ADSC</b>	<b>ADATE</b>	<b>ADIF</b>	<b>ADIE</b>	<b>ADPS2</b>	<b>ADPS1</b>	<b>ADPS0</b>	<b>ADCSRA</b>
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 116: Imagen de la distribución de los bits del registro ADCSRA

Además, es necesario seleccionar el factor de división entre la frecuencia XTAL y el reloj de entrada al conversor analógico-digital. Este valor se configura con los bits ADPSx del registro ADCSRA, según la siguiente tabla:

<b>ADPS2</b>	<b>ADPS1</b>	<b>ADPS0</b>	<b>Division Factor</b>
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

Figura 117: Imagen de la configuración del factor de división con los bits 0, 1 y 2 del registro ADCSRA

El resto de bits del registro ADCSRA tienen las siguientes funciones de control durante la conversión:

Bit7, ADEN: escribir un 1 en este bit habilita el conversor ADC.

Bit6, ADSC: se pone a uno cuando se inicia una conversión y mantiene este estado mientras dura el proceso.

Bit5, ADATE: habilita el auto disparador (*Trigger*)

Bit4, ADIF: bandera de interrupción ADC. Este bit se pone a 1 cuando se completa la conversión

Bit3, ADIE: activa una interrupción en el proceso de conversión

La fase de inicialización es común para todas las rutinas que requieran habilitar una entrada de tensión analógica y la posterior conversión del este valor.



Una vez habilitado e inicializado el conversor ADC, la rutina del sensor de proximidad deberá seleccionar el canal 5 del Puerto F. La selección del canal se lleva a cabo configurando los bits MUXx del registro ADMUX según la siguiente tabla:

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

Figura 118: Imagen de la distribución de los bits del registro ADMUX para configurar el canal de conversión

La conversión, por tanto, se realiza de la siguiente manera:

1. Se inicializa el conversor ADC
2. Se comprueba que no hay ningún canal de conversión asignado previamente
3. Se selecciona el canal de conversión correspondiente al pin de entrada de la señal analógica
4. Se inicia la conversión escribiendo un uno en el bit ADSC del registro ADCSRA y se opera mientras no cambie este valor, que es comprobado periódicamente.
5. Se concatenan los resultados del registro de salida del conversor ADC para obtener el valor de salida deseado

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	-	-	-	-	-	-	ADC9	ADC8	ADCH
	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
	R	R	R	R	R	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 119: Imagen de la distribución de los bits de los registros ADCL y ADCH

Para completar la rutina, se comprueba si el valor en bits de salida del conversor supera el umbral que recibe la función y que es establecido durante la llamada a la misma. La función devolverá 1 si la conversión ha producido un valor superior al umbral y 0 en caso contrario.

En la llamada a la rutina, se debe establecer un umbral comprendido entre 0 (que se producirá para una tensión analógica de 0V) y 1023 (límite superior de la conversión correspondiente a la tensión de trabajo del circuito).

#### 4.5.2.6 Rutina Fotorresistencia LDR

Se ha programado una rutina que determina si la intensidad luminosa detectada por la fotorresistencia LDR instalada en la plataforma robótica supera, o no, un umbral establecido durante la llamada a la función.

```
unsigned short sensorLuz(umbral);
```

Seleccionando canal 4, la función realiza una conversión entre el valor de tensión analógica de salida de la fotorresistencia y un valor en bits comprendido entre 0 y 1023. Una vez ésta ha finalizado, realiza una comparación entre el umbral recibido por la función y el resultado de la misma, devolviendo 1 en caso de que se haya superado dicho umbral y 0 en caso contrario.

#### 4.5.2.7 Rutinas de control del *driver*

Se han programado una serie de rutinas que activan las funcionalidades de control del driver permitiendo manejar, en consecuencia, los dos motores instalados y habilitando todas las opciones de movimientos para la plataforma robótica.

```
void controldriver_parar_motores();  
void controldriver_girar_izquierda();  
void controldriver_girar_derecha();  
void controldriver_atras_ambas();  
void controldriver_delante_ambas();
```

En cada una de estas rutinas se realiza una llamada a la función de inicialización de manera que los pines 4 a 7 del Puerto B se habiliten como salidas digitales (DDRB = 0xF0)

En segundo lugar, cada rutina debe activar las entradas de control del driver siguiendo el esquema de funcionamiento del mismo:

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

Figura 120: Imagen de la configuración de las entradas de control del *driver*



#### 4.5.2.8 Rutina Detección de Audio

Se ha programado una rutina que compara la señal de tensión analógica de salida del detector de sonido instalado con un umbral previamente establecido en la llamada a la función.

```
unsigned short sonido(umbral);
```

Tras inicializar el conversor ADC, la rutina selecciona el canal 7 del mismo y realiza la conversión a un valor en bits entre 0, para tensión de salida 0V y 1023 para la tensión Vcc (5V). La función devuelve 1 en el caso de que el valor en bits convertido supere el umbral, y devuelve 0 en caso contrario.

Nótese que el detector de audio tiene una salida de aproximadamente 2.5V para la intensidad sonora detectada durante la fase de pruebas con el sonido ambiente del laboratorio, valor que se reduce a medida que aumenta dicho nivel. Esta tensión se corresponde con un valor en bits de 512.

#### 4.5.2.10 Rutina Infrarrojos de corto alcance CNY70

Se han programado dos rutinas que analizan y procesan la tensión analógica de salida de los sensores infrarrojos de corto alcance y la comparan con un umbral recibido por la función.

```
unsigned short CNY70IZQ(unsigned short umbral);  
unsigned short CNY70DER(unsigned short umbral);
```

Las rutinas seleccionan, respectivamente, los canales de conversión 0 y 1 del conversor ADC del microcontrolador y realizan la conversión a un valor en bits entre 0 y 1023. Posteriormente, este valor será comparado con el umbral establecido en la llamada a la función y que dependerá de la aplicación deseada. Por último, la función devolverá 1 si se ha superado dicho umbral y cero en caso contrario.

En el caso de que se desee programar la aplicación de seguidor de línea, en la que los sensores deberán distinguir entre blanco y negro, se recomienda establecer el umbral en 380 bits, valor que se corresponde con una tensión analógica intermedia entre los 4.8V de salida sobre una superficie negra y 1.2V, aproximadamente, sobre una superficie blanca.

Sin embargo, la aplicación se puede modificar habilitando la plataforma para distinguir entre superficies de otra naturaleza estableciendo umbrales intermedios que dependen de la respuesta del sensor a dichas superficies.

### 4.5.2.9 Rutina Temperatura

Se ha programado, en la librería Robótica, una rutina de control de temperatura. Esta rutina compara un umbral recibido con la tensión analógica de salida del sensor para, una vez procesada, comprobar si dicho umbral se ha superado o no.

```
unsigned short temperatura(umbral);
```

En primer lugar, la rutina inicializa el conversor analógico-digital del microcontrolador para posteriormente seleccionar el canal de entrada de tensión analógica correspondiente (PF6). Una vez realizada la conversión la función devuelve 1 si se ha superado el umbral establecido en la llamada a la misma y 0 en caso contrario. Este umbral deberá encontrarse entre 0 y 1023

El sensor de temperatura proporciona una salida de tensión analógica que sigue la relación  $V_{out} = 10mV/^{\circ}C$ , de manera que si se quisiera establecer el umbral, por ejemplo, en  $18^{\circ}C$  se deberá configurar el umbral en un valor en bits de 37.

### 4.5.2.10 Rutina Zumbador

En primer lugar, esta rutina inicializa el contador *timer* 4 del microcontrolador para habilitar una salida PWM y lograr que el *buzzer* emita un zumbido.

El registro TCNT4 contiene el valor de éste contador.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
4	MSB							LSB	TCNT4
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 121: Imagen de la distribución de los bits del registro TNCT4

La inicialización se completa mediante la asignación  $TCNT4 = 0x00$ ;

Existen dos registros de control que deben ser configurados para habilitar esta función: los TCCR4 A y B (Timer/Counter4 Control Register).

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	

Figura 122: Imagen de la distribución de los bits del registro TCCR4A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>PWM4X</b>	<b>PSR4</b>	<b>DTPS41</b>	<b>DTPS40</b>	<b>CS43</b>	<b>CS42</b>	<b>CS41</b>	<b>CS40</b>	<b>TCCR4B</b>
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 123: Imagen de la distribución de los bits del registro TCCR4B

En cuanto al registro TCCR4A;

- Los bits COM4Ax y COM4Bx 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).

Figura 124: Configuración de los bits COM4Ax y COM4Bx del registro TCCR4A

- Los bit FOC4x deshabilitan la opción PWM cuando son activados.
- Los bits PWM4x habilitan el modo modulación por ancho de pulso (PWM) basada en los comparadores ORC4x.

De esta forma, el registro TCCR4A debe quedar configurado mediante la siguiente asignación: TCCR4A=0x82

En cuanto al registro TCCR4B;

- El bit PWM4X activa el modo inversión PWM y de las salidas Dead Time Generator OC4x.
- El bit PSR4 resetea el pre-escalador del *timer* 4 si se establece a 1.
- Los bits DTPS4x definen la preescala de tiempos muertos.
- Los bits CS4x definen la preescala del *timer* 4. En la práctica, estos bits son los que permiten definir la frecuencia de la señal PWM.

En una situación de inicialización la configuración del registro debe ser TCCR4B=0x00. Se ha programado la rutina `void timerInit(void)`; que realiza dicha función. Sin embargo, para emitir una señal PWM se deben modificar los últimos 4 bits del mismo seleccionando la frecuencia correspondiente. La frecuencia de la señal PWM de salida se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$f_{OCnXPWM} = \frac{f_{clkT4}}{N}$$

De esta forma, el factor de división de la frecuencia de trabajo quedará definido mediante la configuración de los bits CS4x del registro TCCR4B según la siguiente tabla:

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

Figura 125: Configuración de los bits CS4x del registro TCCR4B

Para emitir un zumbido continuo se recomienda un factor de división entre 1 (frecuencia máxima) y 5 (tono más grave), que se correspondería, respectivamente, con las configuraciones:

TCCR4B |= 0x01;

TCCR4B |= 0x05;

Las rutinas de control del zumbador son:

```
void emitirZumbido(void);
void silenciarZumbido(void);
```

que realizan las funciones correspondientes.

Capítulo **5**

**Pruebas y resultados**



## 5. Pruebas y resultados

---

### 5.1 Introducción

Se han realizado una serie de pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de sensores y actuadores. Todas ellas han sido llevadas a cabo en el laboratorio HCTLab, alimentando la plataforma robótica a través de una fuente de alimentación modelo FA-350 del fabricante Blausonic.

Además, se ha utilizado un programador hardware AVR ISP de la marca Atmel que se conecta a la placa a través de un bus ISP.

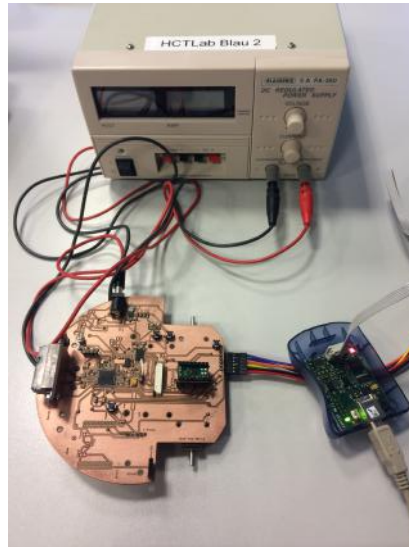


Figura 126: Imagen de la plataforma robótica conectada al bus ISP y alimentada a través de la fuente FA-350 del fabricante Blausonic.

Entre el material utilizado para la realización de pruebas también se encuentra un multímetro modelo 37XR, de la marca Meterman y un osciloscopio modelo MSO-X 3104A de Agilent Technologies

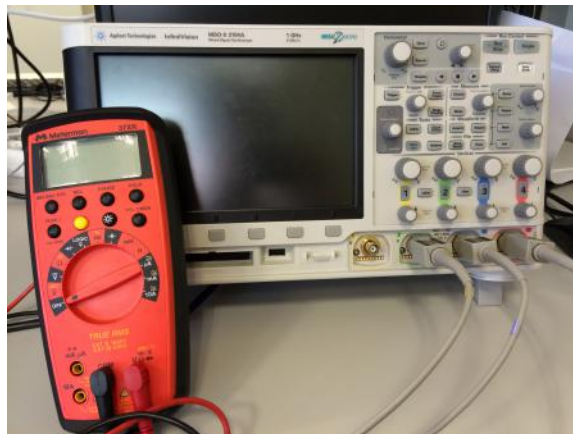


Figura 127: Imagen del osciloscopio y el multímetro utilizados durante la fase de pruebas

## 5.2 Pruebas de sensores y actuadores

### 5.2.1 Funcionalidades del microcontrolador

Una vez realizado el montaje y soldadura del microcontrolador, el conector ISP y la circuitería necesaria para el funcionamiento de ambos, se comprobó que la herramienta de programación reconocía el microcontrolador y que la tensión de trabajo del mismo era la apropiada. Utilizando un multímetro, se pudo comprobar también como todos los pines de entrada/salida digital de cada puerto eran correctamente activados y desactivados.

### 5.2.2 Regulador de tensión

Se ha comprobado como la tensión de trabajo del circuito permanece invariante en 5,12V para un rango de tensiones de alimentación de la plataforma entre 3 y 7 voltios, lo que prueba el correcto funcionamiento del regulador de tensión.

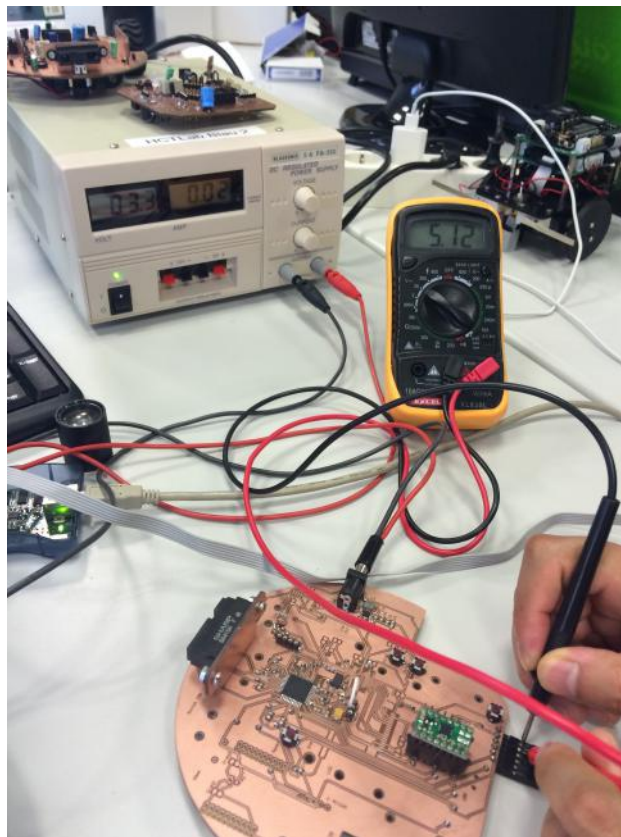


Figura 128: Prueba regulador de tensión

En la imagen puede apreciarse como la tensión de trabajo del circuito es 5,12V aún alimentando el sistema a través de una fuente que tiene fijado el valor de tensión de salida en 3.3V



### 5.2.3 Prueba expansor de puertos

Con el objetivo de poder incorporar todos los componentes de la plataforma robótica, se ha comprobado que el expansor de puertos funciona correctamente. De esta forma, quedan habilitadas todas las funcionalidades del circuito y se puede montar y probar cualquier elemento del mismo.

Para esta prueba, en primer lugar se midió la tensión de alimentación del componente. Una vez era ésta correcta, se ha probado la comunicación con el expansor de puertos a través del bus de dos hilos I<sup>2</sup>C con resultados satisfactorios. Los pines de entrada y salida digitales del mismo se activan y desactivan correctamente.

### 5.2.4 Prueba diodos LED

Se ha comprobado como los LEDs rojo y verde, conectados respectivamente a las salidas 5 y 6 del puerto 0 del expansor de puertos se activan y desactivan correctamente. Así mismo, estos componentes se han utilizado en el resto de pruebas como chivatos de las medidas de sensores o como respuesta a la aplicación de un actuador.

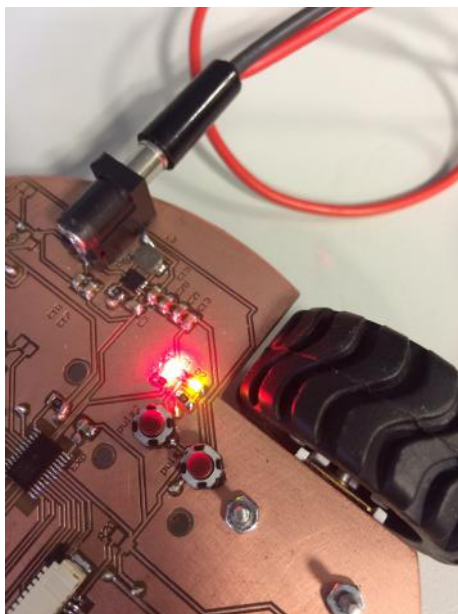


Figura 129: Prueba diodos LED

En la imagen pueden apreciarse, en detalle, ambos LEDs iluminados. De igual forma, en la parte izquierda de la misma puede apreciarse el expansor de puertos.

### 5.2.5 Prueba pulsadores

Una vez incorporados los pulsadores a la plataforma robótica, se ha comprobado su correcto funcionamiento.

En primer lugar se probaron los dos pulsadores de propósito general mediante la siguiente aplicación: una vez el microcontrolador detectaba que se había pulsado el

mismo, éste debía activar un pin de un puerto en concreto. Esta prueba tuvo resultados exitosos para ambos pulsadores. En segundo lugar se comprobó como el pulsador que activa un RESET en el microcontrolador paraba cualquier aplicación que estuviera corriendo en el mismo y la cargaba de nuevo desde el principio.

### 5.2.6 Prueba sensor de proximidad

Se ha comprobado, utilizando un multímetro, como la tensión de salida del sensor de distancia dependía, de forma inversamente proporcional, de la distancia al objeto reflectado según las especificaciones del fabricante. Además, se ha programado el microcontrolador para convertir dicha salida de tensión analógica en un valor en bits que, correctamente procesado, se ha convertido a centímetros para establecer un umbral o distintos niveles de decisión.

En la imagen puede apreciarse como, en la prueba realizada, se activa el LED verde si el objeto reflectado se encuentra a una distancia por debajo de 10cm. En caso contrario se activa el LED rojo.

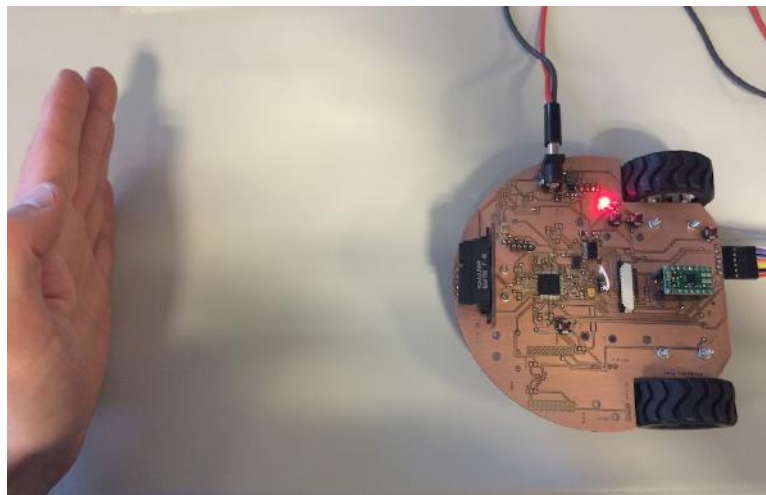


Figura 130: Prueba sensor de proximidad (por encima del umbral)

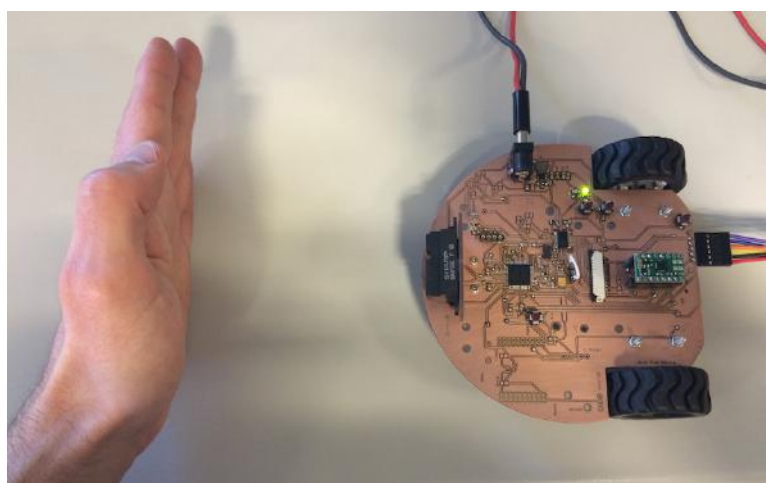


Figura 131: Prueba sensor de proximidad (por debajo del umbral)

### 5.2.7 Prueba Fotorresistencia LDR

En este caso se ha comprobado como la salida de la fotorresistencia LDR es una señal de tensión analógica que depende de la intensidad luminosa. Igualmente, procesando correctamente esa señal a través del conversor analógico-digital del microcontrolador es posible establecer un umbral y detectar distintos niveles de luz.

En la imagen puede apreciarse como para la intensidad luminosa del laboratorio se el LED rojo y, sin embargo, en una situación de oscuridad casi total se activa el LED verde

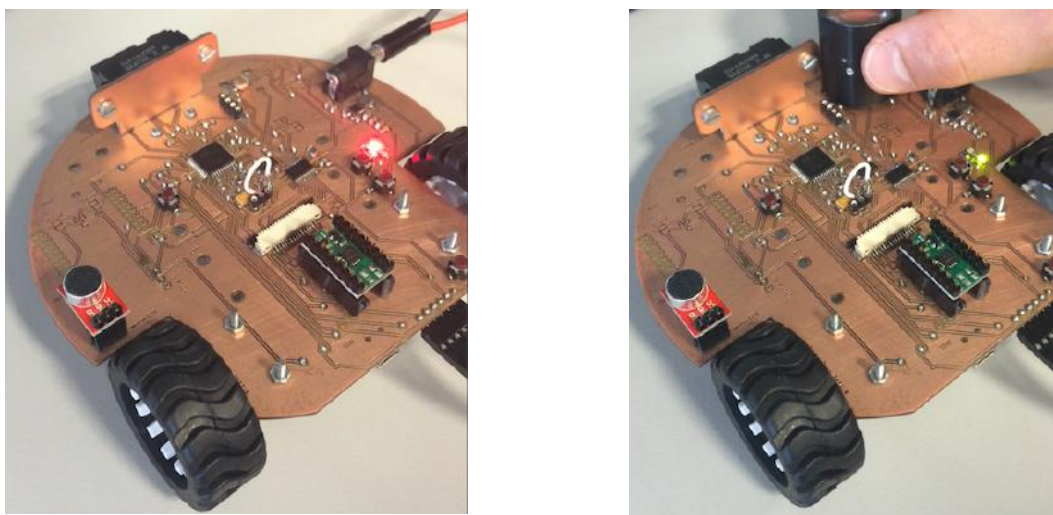


Figura 132: Prueba fotorresistencia LDR

### 5.2.8 Prueba *Driver* y motores

Se ha comprobado que las salidas digitales del *driver* responden, según el diagrama de funcionamiento del fabricante, a las entradas de control del mismo.

De igual forma, estas salidas activan de forma correcta los motores izquierdo y derecho en el sentido adecuado.

Por otra parte, se ha comprobado también como utilizando la funcionalidad de Modulación de Ancho de Pulso en las entradas de control del driver la velocidad de giro de los motores es modificada correctamente.

### 5.2.9 Prueba *Encoder*

Utilizando un osciloscopio se ha comprobado como las salidas del *encoder* magnético incorporado presentan dos señales de tensión en cuadratura entre 0V y 5V. Cada revolución del eje del motor se produce un flanco de subida y uno de bajada debido al cambio de polaridad en el *encoder*. El desfase temporal entre ambas salidas permite conocer la dirección del motor y el ancho de pulso la velocidad de giro.

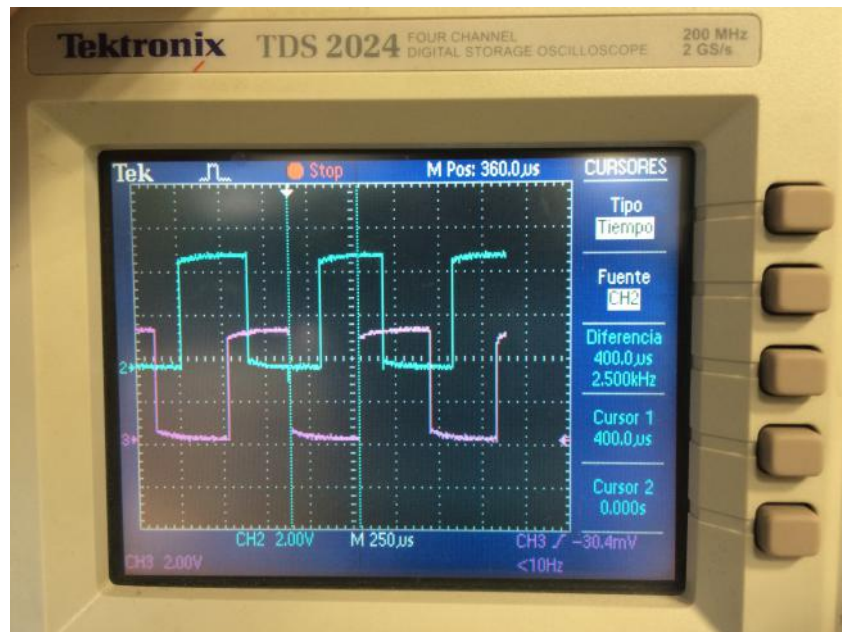


Figura 133: Señales de salida del *encoder* mostradas en la pantalla de un osciloscopio

En la imagen pueden apreciarse ambas salidas digitales. Como puede observarse, la señal representada en azul (salida 2) está temporalmente adelantada a la señal representada en rosa (salida 1), de lo que se deduce que el motor se encuentra girando en sentido inverso.

De igual forma, puede apreciarse como la diferencia temporal entre ambos cursores, colocados en los extremos de un pulso de nivel bajo, es de 400  $\mu$ s. Teniendo en cuenta que en cada revolución del motor se producen doce pulsos o cambios de polaridad y aplicando la reducción de 298:1 de los motores incorporados, se puede calcular la velocidad de giro:

$$V(r.p.m) = \frac{60000 \text{ ms/min}}{\left(\frac{4.8\text{ms}}{\text{rev}}\right) * 298} = 41,94$$

### 5.2.10 Prueba detector de audio

La prueba del detector de sonido consistió, en primer lugar, en comprobar como la salida de tensión analógica del mismo variaba en función de la intensidad sonora. En una segunda fase, esa señal fue procesada como en casos anteriores utilizando el convertor analógico-digital del microcontrolador para establecer un umbral basado en el nivel de sonido ambiente del laboratorio, que resultó ser de 2.5V aproximadamente. Una vez establecido éste, se procedió a programar la activación de un diodo LED, concretamente el verde, que reflejara la detección de un sonido cuya intensidad fuera superior a la del umbral.

### 5.2.11 Prueba sensores infrarrojos de corto alcance CNY70

Tras el montaje de los sensores infrarrojos de corto alcance CNY70 se ha procedido a medir la tensión analógica de salida de los mismos cuando son enfrentados a superficies de distinta naturaleza y color, obteniendo los resultados esperados: salidas cercanas a la tensión de trabajo del circuito para superficies con un color negro intenso y menores de 1.5V sobre una superficie blanca. Dicha salida es posteriormente procesada utilizando el conversor analógico-digital del microcontrolador, de forma que escogiendo adecuadamente el umbral, el robot será capaz de distinguir las superficies por las que circula

Para probar los sensores en la aplicación de seguidor de línea, se ha programado los diodos LED para que se activen dependiendo de la superficie sobre la que se encuentra el robot.

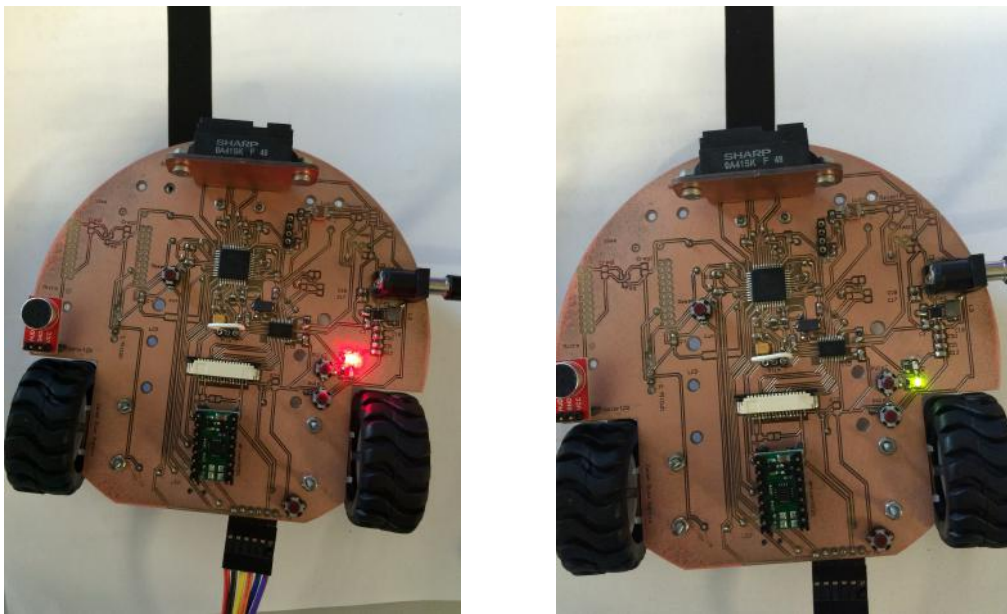


Figura 134: Prueba sensores CNY70 con aplicación seguidor de línea

Los sensores se encuentran en la parte frontal del robot y se han montado de forma que se mantengan a escasos milímetros de la superficie sobre la que circula el mismo. En la imagen puede apreciarse como el CNY70 detecta el cambio de color, entre blanco y negro, de forma que se active un LED u otro en ambos casos. Esta misma aplicación podría programarse utilizando las rutinas de control del driver de forma que el robot siga el recorrido trazado por la línea negra.



### 5.2.12 Prueba sensor temperatura

Se ha comprobado como la tensión analógica de salida del sensor de temperatura es directamente proporcional a ésta siguiendo la relación  $V_{out} = 10mV/^{\circ}C$ .

Procesando correctamente dicha señal a través del conversor analógico-digital del microcontrolador se puede establecer uno o varios umbrales y activar diferentes funcionalidades de manera que dependan de ésta magnitud.

Para realizar la prueba se estableció el umbral en 180mV, que equivalen a 18<sup>o</sup>C, siendo la temperatura ambiente del laboratorio de unos 24<sup>o</sup>C. Por debajo de este valor debía encenderse el LED rojo. Con el objetivo de reducir la temperatura de una forma segura, se utilizó un vaso de plástico que contenía hielo. Como se puede apreciar en la imagen, tras aproximadamente un minuto de contacto con el vaso de plástico se iluminó LED rojo, lo cual significa que el sensor detectó de forma correcta la bajada de temperatura.

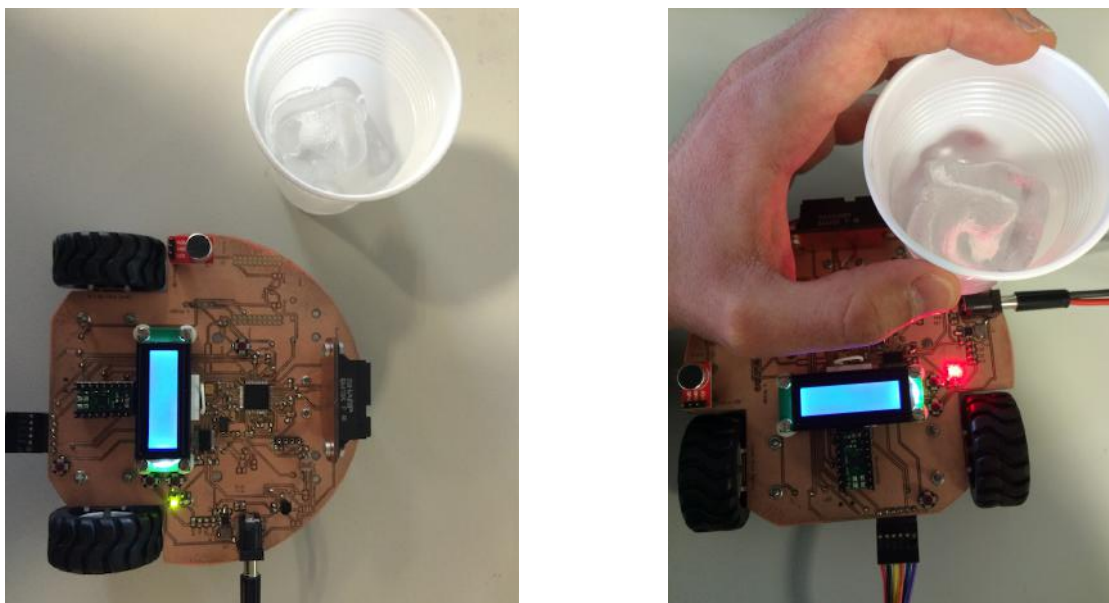


Figura 135: Prueba sensor de temperatura

### 5.2.13 Prueba regulador de tensión MCP1700 3,3V

Se ha realizado una medida para comprobar como la tensión de alimentación del módulo XBee de comunicación por radiofrecuencia era la correcta. Dado que la tensión nominal de la plataforma es de 5V, se ha instalado un regulador de tensión que transforme dicho valor en los 3,3V con los que debe alimentarse dicho componente.

Se ha comprobado como la tensión de salida del regulador es de 3,292V, y por tanto el módulo Xbee se está alimentando correctamente y su uso queda habilitado.

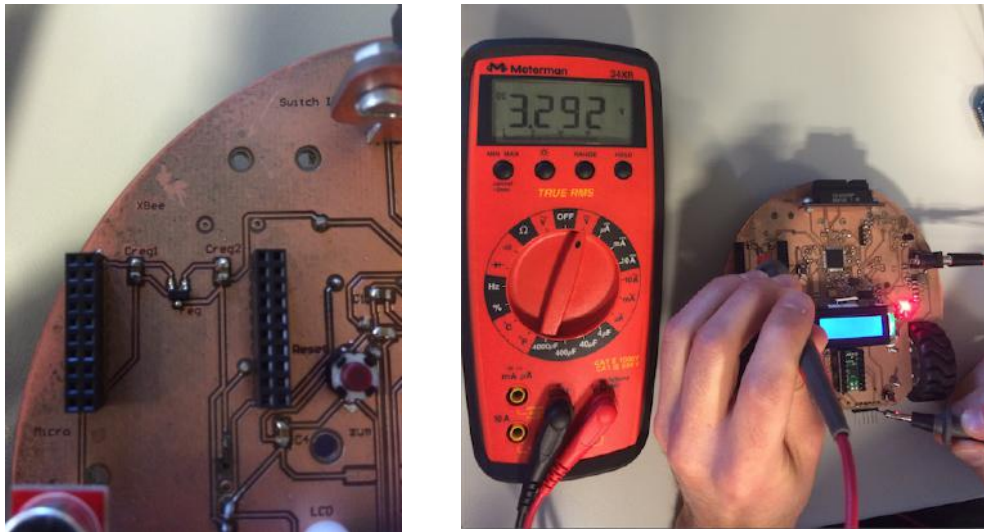


Figura 136: Vista en detalle del regulador de tensión MCP1700 y de la tensión de salida del mismo

### 5.2.14 Prueba módulo de comunicación inalámbrica

Tras la instalación del módulo XBee de comunicación por radiofrecuencia, se ha procedido a comprobar, utilizando la herramienta XCTU de DIGI INTERNATIONAL su correcto funcionamiento. Esta herramienta software permite la instalación y configuración de los módulos así como la realización de pruebas de comunicación y la medida del alcance o de la potencia de transmisión y recepción.

Tras configurar otro módulo que ejerce de coordinador, se procedió a comprobar si la herramienta detectaba el módulo instalado en la plataforma robótica, que ejerce de dispositivo final, con resultado positivo.

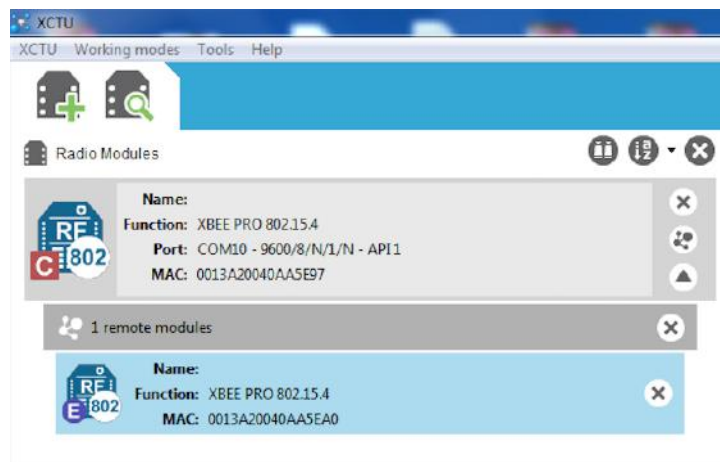


Figura 137: La herramienta XCTU detecta en red el módulo XBee con dirección MAC 0013A20040AA5EAD

Se han realizado dos pruebas de alcance. En la primera de ellas se han colocado los módulos coordinador y final a una distancia de 3 metros y con visión directa entre los mismos. La potencia de recepción medida era, de media, -40dBm.

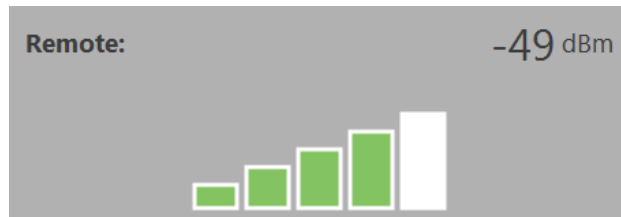


Figura 138: Potencia de recepción del dispositivo final medida con la herramienta XCTU

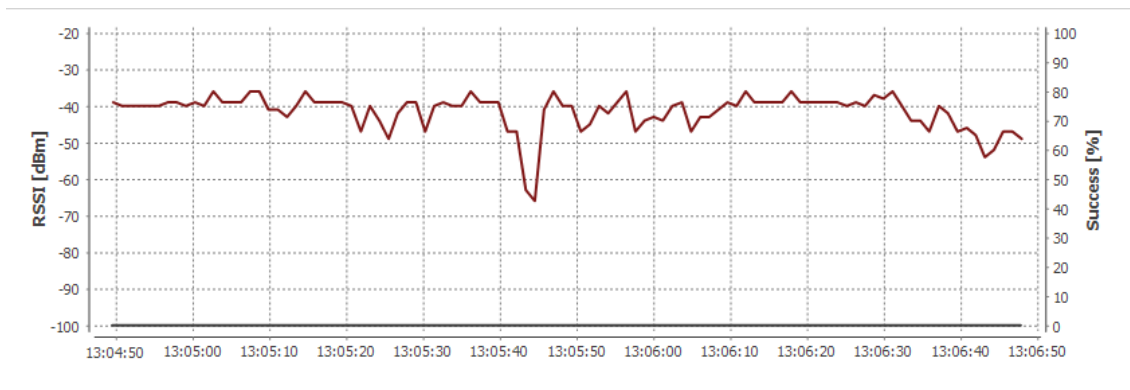


Figura 139: Potencia de recepción del dispositivo final en función del tiempo en prueba 3 metros.

Puede observarse en la imagen como la potencia de recepción sufre dos caídas en los puntos medio y final de todo el tiempo de transmisión, llegando a -65dBm en un caso. Esto se debe a la colocación de obstáculos en la línea de visión entre ambos dispositivos

En una segunda prueba, se midió la potencia de recepción colocando los dispositivos coordinador y final a una distancia de aproximadamente 30 metros y con numerosos obstáculos en la línea de visión entre ambos. Puede observarse como la potencia de recepción cae hasta los -75dBm

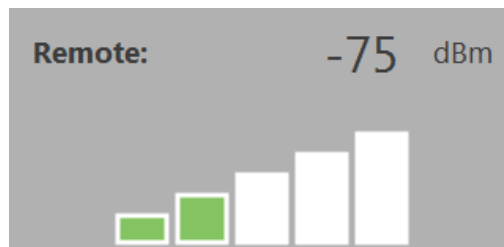


Figura 135: Potencia de recepción a una distancia de 30 metros sin visión directa



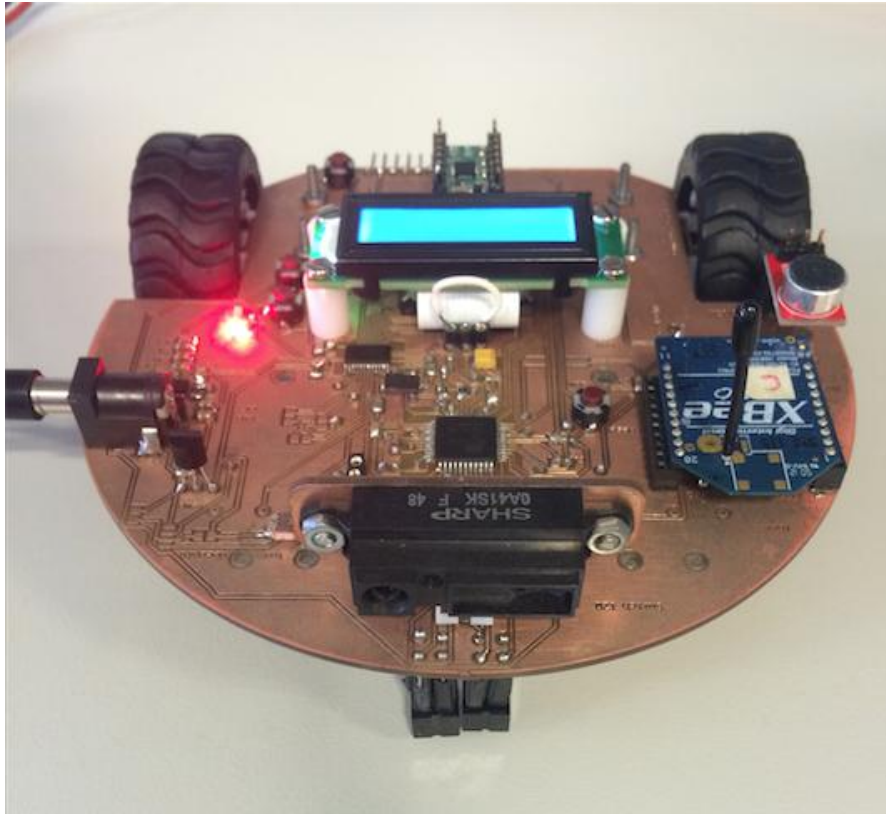


Figura 140: Módulo de comunicación inalámbrica Xbee montado sobre plataforma robótica

### 5.2.15 Prueba zumbador

Se ha comprobado como el zumbador, o *buzzer*, emite un zumbido con el tono esperado cuando se aplica sobre el mismo de una señal PWM y se modifica la frecuencia de la misma.



# Capítulo 6

## Conclusiones y trabajo futuro



## 6 Conclusiones y trabajo futuro

---

### 6.1 Conclusiones

Se ha llevado a cabo un estudio en profundidad de tecnologías y componentes que ha permitido incorporar al diseño del prototipo de plataforma robótica una amplia variedad de sensores y actuadores que lo sitúan en cabeza frente a sus competidores en cuanto a número de funcionalidades, modularidad y versatilidad.

Se ha elaborado un diseño del circuito esquemático de la plataforma robótica que cumple con todos requisitos y objetivos impuestos por el proyecto. Además, se ha sintetizado dicho circuito sobre una placa PCB donde posteriormente se han montado los componentes. Se han habilitado puertos genéricos de forma que la plataforma pueda ser ampliada

Se han elaborado una serie de rutinas que permiten hacer uso de las funcionalidades del robot de una forma modular, y se han probado todos los elementos considerados imprescindibles.

El amplio número de funcionalidades de la plataforma robótica, su gran versatilidad, modularidad, independencia, sus habilidades, su automatismo y su coste moderado la convierten en una muy buena alternativa frente a otros proyectos de la competencia que permitirá tanto la docencia como el aprendizaje de todas las tecnologías y disciplinas implicadas

### 6.2 Trabajo futuro

Como trabajo futuro que continúe con el desarrollo de este proyecto se propone la incorporación de las rutinas elaboradas y de todas las posibles ampliaciones y combinaciones de estas en la interfaz gráfica desarrollada en el Trabajo de Fin de Grado “Entorno de programación para aplicaciones en robótica” por William Luguana. De esta forma, un usuario con conocimientos limitados en programación podrá hacer uso de todas las funcionalidades de la plataforma robótica en un entorno sencillo que no requiera hacer uso del código fuente.

Se propone, además, como posible evolución y ampliación de la plataforma la elaboración de rutinas que desarrollen el control remoto del robot utilizando un mando universal y haciendo uso del receptor de infrarrojos ya incorporado.

Por otro lado, la incorporación de nuevos componentes a la plataforma queda abierta a las necesidades del usuario y será posible gracias al puerto I<sup>2</sup>C de uso general que habilita esta diseño y a la documentación expuesta en el mismo.



## Referencias

- [1] REAL DECRETO 3473/2000, de 29 de diciembre
- [2] Página web oficial Arduino: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [3] Página web oficial robot Arduino: <https://www.arduino.cc/en/Main/Robot>
- [4] Página web oficial Ro-Bótica: <http://www.ro-botica.com/tienda/ROBOTIS-KidsLab>
- [5] Página web oficial Robot SR1: [http://www.superrobotica.com/sr1\\_robot.htm](http://www.superrobotica.com/sr1_robot.htm)
- [6] Manual usuario Robot Stellaris:  
<http://www.ti.com/lit/ug/spmul66/spmul66.pdf>
- [7] Página oficial proyecto Buitá: <https://www.fing.edu.uy/inco/proyectos/butia/>
- [8] G. A. Prieto y J. P. Mendoza. Plataforma Robótica Didáctica de Bajo Coste Basada en la Arquitectura Software Player/Stage y en el Hardware de La Fonerá. IEEE-RITA Vol. 7, Núm. 4, Nov. 2012 páginas 239-245.
- [9] N.D.G Hurtado y L. C. García. Plataforma Robótica Educativa ‘Robi’. ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 - Número 19 - Año 2012
- [10] Carlos E. Canto Q. *Sensores de Proximidad Capacitivos*. Facultad de Ciencias UALP. [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES\\_PL\\_C\\_PDF\\_S/25\\_SENORES\\_CAPACITIVOS.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PL_C_PDF_S/25_SENORES_CAPACITIVOS.PDF)
- [11] E.M. Pérez A.M. Roldán. *Sensores de Ultrasonidos*. E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación de Vigo Departamento de Tecnología Electrónica.  
<http://www.marcombo.com/Descargas/9788426715753/SENSORES/TEMAS/SA%20TEMA%2010-ULTRASONIDOS.pdf>
- [12] K. N Contreras, J. M. García, M. T. Rivera, D. V. Fernández. *Sensor Infrarrojo*. Universidad Politécnica de Valencia. <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/PAEEES/2008-09/Sensor%20Infrarrojo%20-%20Grupo%20Naranja.pdf>
- [13] Página web del fabricante Pololu: <https://www.pololu.com/product/136>
- [14] M. H. Díaz. Curso *Control y Robótica en Tecnología*. Centro de Profesores Albacete. Noviembre 2009. Páginas 3 a 6.  
[http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/docEducaBot/06\\_EducaBot\\_Sensores02.pdf](http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/docEducaBot/06_EducaBot_Sensores02.pdf)
- [15] E.M. Pérez A.M. Roldán. *Sensores Optoelectrónicos, principios físicos de funcionamiento*. E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación de Vigo Departamento de Tecnología Electrónica.  
[http://www.marcombo.com/Descargas/9788426715753/SENSORES/TEMAS/SA%20Tema%2005%20Sensores%20optoelectronicos%20\(1\).pdf](http://www.marcombo.com/Descargas/9788426715753/SENSORES/TEMAS/SA%20Tema%2005%20Sensores%20optoelectronicos%20(1).pdf)
- [16] Página web del fabricante Pololu: <https://www.pololu.com/product/2130>
- [17] J. T. Salinas. *MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO (PWM)*.  
[http://www.tervenet.com/itmaz/micros2/PIC32\\_10\\_PWM.pdf](http://www.tervenet.com/itmaz/micros2/PIC32_10_PWM.pdf)
- [18] D. W. Laso. *Tecnología LCD*.  
[http://www.werwerf.net/docs/Tecnologia\\_LCD.pdf](http://www.werwerf.net/docs/Tecnologia_LCD.pdf)
- [19] J.B. Aragonés, C.G. Gómez, B.Z. Zaragoza, A.G. Martínez, D. M. Campos, A.G. Llinares. *Sensores de Temperatura*. Universidad Politécnica de Valencia.

[http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens\\_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf](http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf)

- [20] Página web del fabricante Pololu: <https://www.pololu.com/product/1265>
- [21] Grupo de Tecnología Electrónica Universidad de Sevilla. *CONVERTIDORES CONMUTADOS CC-CC*. [http://www.gte.us.es/~leopoldo/Store/tsp\\_14.pdf](http://www.gte.us.es/~leopoldo/Store/tsp_14.pdf)
- [22] B. Song, G. Tian, G. Li, F. Zhou and D. Liu. *ZigBee based Wireless Sensor Networks for Service Robot Intelligent Space*. International Conference on Information Science and Technology March 26-28, 2011 Nanjing, Jiangsu, China.
- [23] A.H. Ismail, M. Nasir Ayob, Thum Kaihao, Hassrizal H.B., M.S.M Hashim, N. Abdul Rahim, M.S. Muhamad Azmi, M. Azri Aziz, Shahriman A.B., Khairulnizam WAN. *Investigation of Homogeneous Multi Robots Communication via Bluetooth*. 2012 International Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics (ISCAIE 2012), December 3-4, 2012, Kota Kinabalu Malaysia.
- [24] Manual de usuario módulo Xbee <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0b05/0900766b80b05338.pdf>
- [25] Philips, *The I<sup>2</sup>C-Bus Specification*. <http://i2c2p.twibright.com/spec/i2c.pdf>
- [26] Universidad tecnológica de Pereira. *Introducción a los microcontroladores*. <http://www.utp.edu.co/~eduque/arquitec/intro-pic.pdf>
- [27] Hoja de características ATmega32U4, [http://www.atmel.com/Images/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4_Datasheet.pdf)
- [28] Hoja de características diodo LED LG R971: <http://docs-asia.electrocomponents.com/webdocs/08bd/0900766b808bd654.pdf>
- [29] Hoja de características diodo LED tricolor ROHM SMLP34RGB2W3: <http://www.farnell.com/datasheets/1996303.pdf>
- [30] Hoja de características Vishay CNY70: <http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>
- [31] Hoja de características Kingstate KMTG1003-F: <http://www.farnell.com/datasheets/1653420.pdf>
- [32] Página web fabricante Pololu: <https://www.pololu.com/product/3081>
- [33] Página web fabricante Pololu: <https://www.pololu.com/product/994>
- [34] Hoja de características DRV8833: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8833.pdf>
- [35] Página web fabricante Pololu <https://www.pololu.com/product/1620>
- [36] Hoja de características Micrófono MD9745APZ-F <https://www.pololu.com/file/0J296/MD9745APZ-F.pdf>
- [37] Hoja de características LCD Midas MC21603A6W-BNML <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1402/0900766b81402fab.pdf>
- [38] Hoja de características Conector FPC: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/06c6/0900766b806c61ee.pdf>
- [39] Hoja de características TCA9535: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tca9535.pdf>



- [40] Hoja de características TPS63061: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/12f4/0900766b812f49cf.pdf>
- [41] Página web fabricante Pololu <https://www.pololu.com/product/2739>
- [42] Hoja de características TSOP77438WTT: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1180/0900766b811803b7.pdf>
- [43] Página web fabricante pololu: <https://www.pololu.com/product/1403>
- [44] Manual de usuario módulo Xbee <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0b05/0900766b80b05338.pdf>
- [45] Hoja de características MCP1700: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0dd1/0900766b80dd189b.pdf>
- [46] Página web fabricante Pololu: <https://www.pololu.com/product/2464>
- [47] Hoja de características NSL-19M51: <http://www.farnell.com/datasheets/77395.pdf>
- [48] Hoja de características LM35DZ: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/14c0/0900766b814c049e.pdf>
- [49] Hoja de características EVQ11U05R: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/10ad/0900766b810ad16b.pdf>



# Anexos

## A. Manual de usuario

La plataforma robótica se encuentra montada en su totalidad. Para programar la misma, es necesario seguir los siguientes pasos:

- En primer lugar, alimentarla utilizando o bien el conector tipo Jack (tensión de entrada debe estar comprendida entre 3V y 7V) o bien el puerto USB y puentear el conector de alimentación como corresponda.
- En segundo lugar conectar el programador *hardware* AVRISP mkII a través del puerto ISP.
- Abrir la herramienta Atmel Studio y la librería ‘Robótica’ para combinar las rutinas y sintetizar el programa que se quiere aplicar a la plataforma robótica.

Una vez completado el código, pulsar Build, Build Solution para compilar.

Posteriormente, entrar en la ventana Device Programming y seleccionar la herramienta de programación AVRIPS mkII, el dispositivo ATmega32U4, la interfaz ISP y pulsar en ‘Apply’

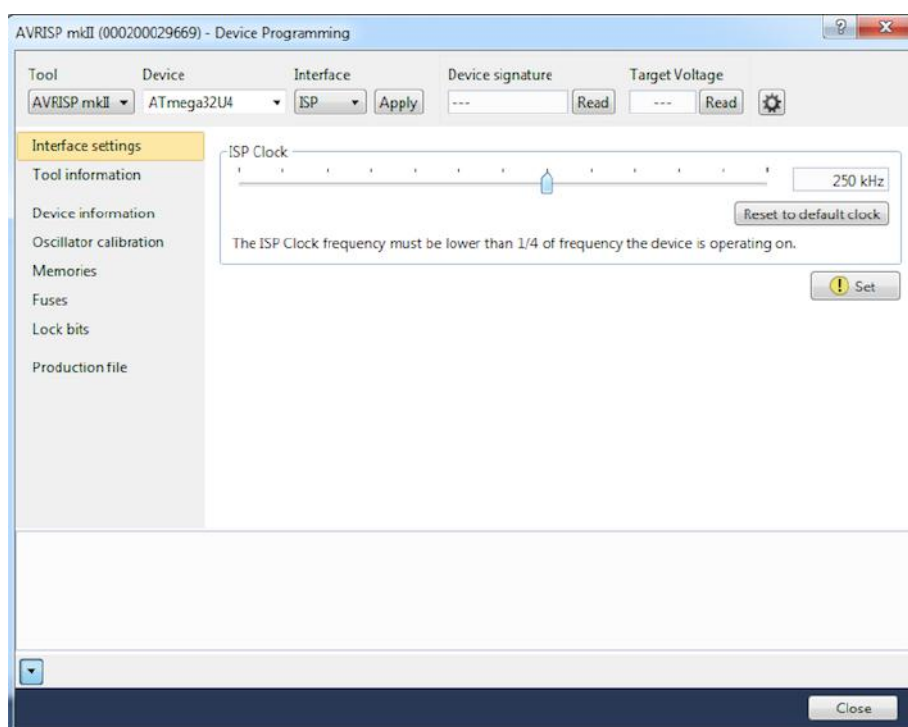


Figura 142: Configuración en Atmel Studio de la herramienta de programación

Una vez completada esta fase, se deberá leer la firma del dispositivo (0x1E9587) y la tensión del programador *hardware*.

Posteriormente, debe ser configurada la frecuencia de reloj a un valor menor de una cuarta parte de la frecuencia con la que opera el microcontrolador, aunque se recomienda mantener ésta en 250kHz.

Además, se deben configurar los fusibles en la pestaña 'Fuses' de la siguiente manera:

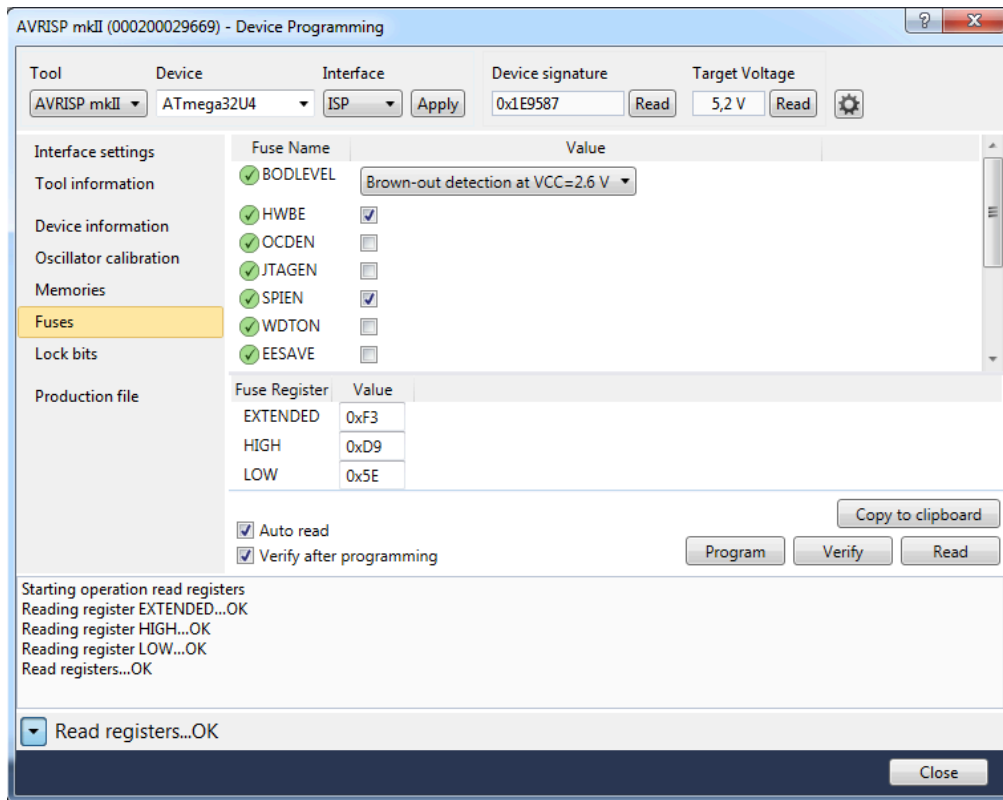


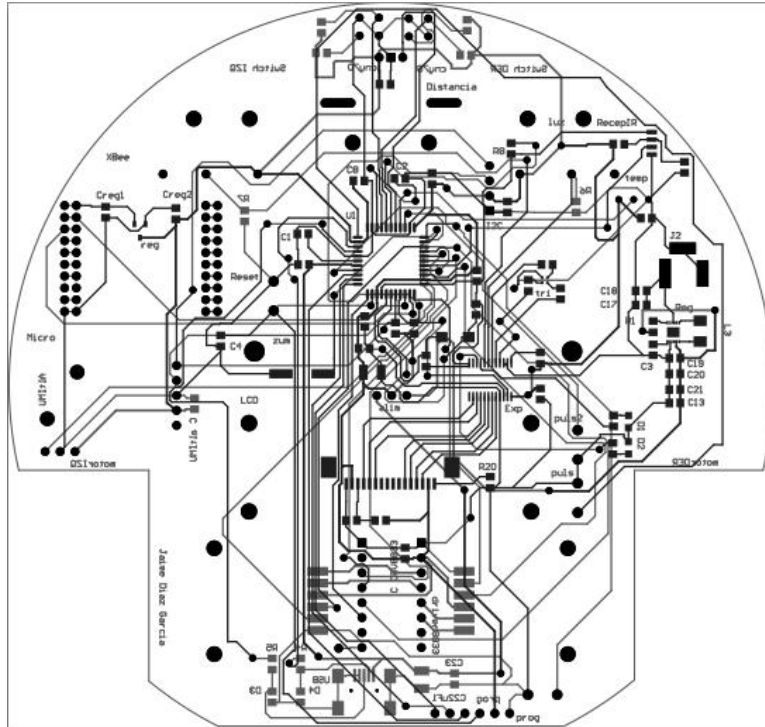
Figura 143: Configuración en Atmel Studio de los fusibles del microcontrolador

Es especialmente importante deshabilitar la opción interfaz JTAG (*JTAGEN* debe desmarcarse), pues de lo contrario los pines del puerto F que se utilizan como entradas de tensión analógica quedarían deshabilitados para su uso normal.

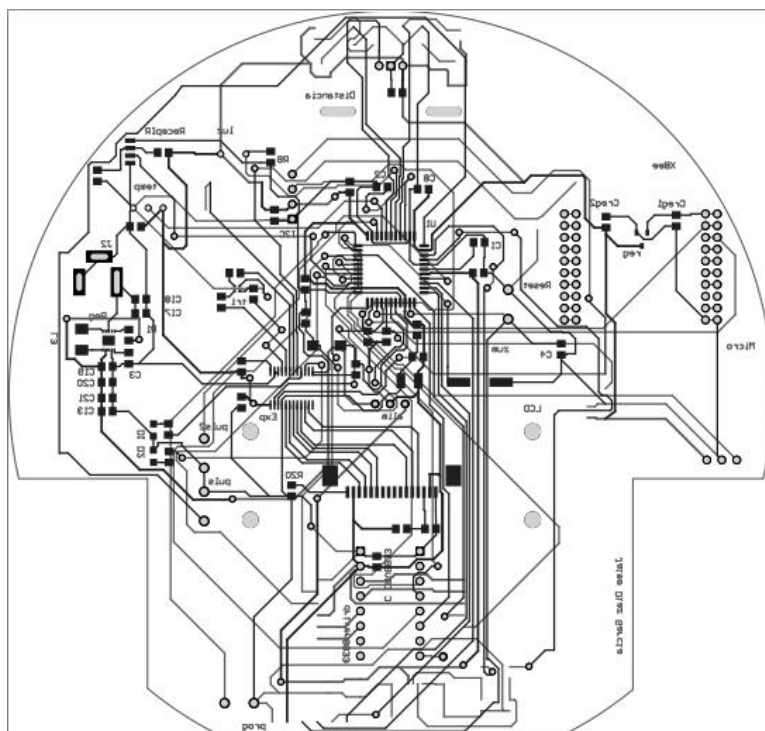
Por último, deberemos entrar en la pestaña 'Memories', memoria Flash (32KB), seleccionar el archivo en formato hexadecimal generado al compilar en la carpeta del proyecto y pulsar 'Program'.

## B. Imágenes del diseño

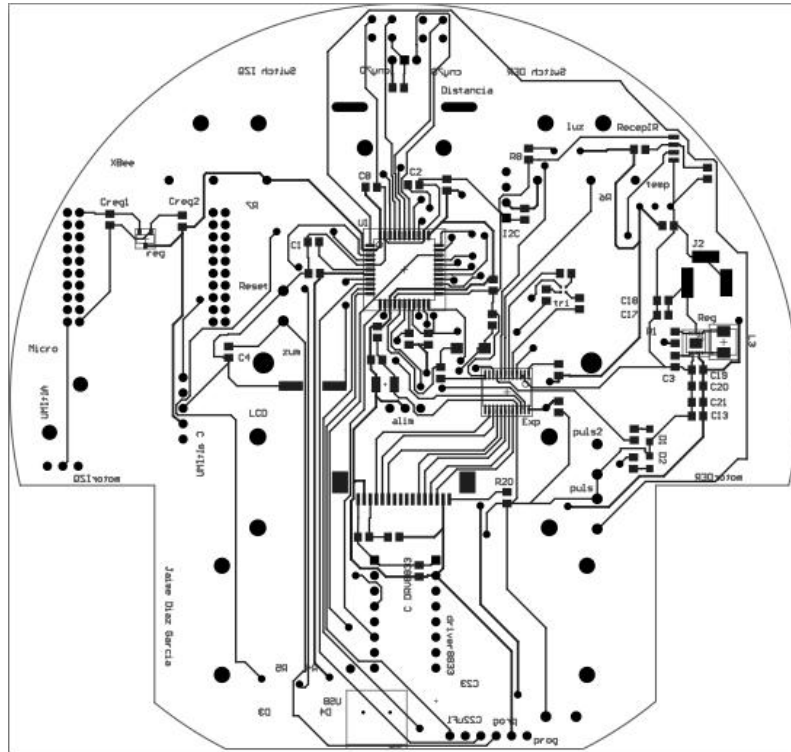
- Diseño PCB vista superior



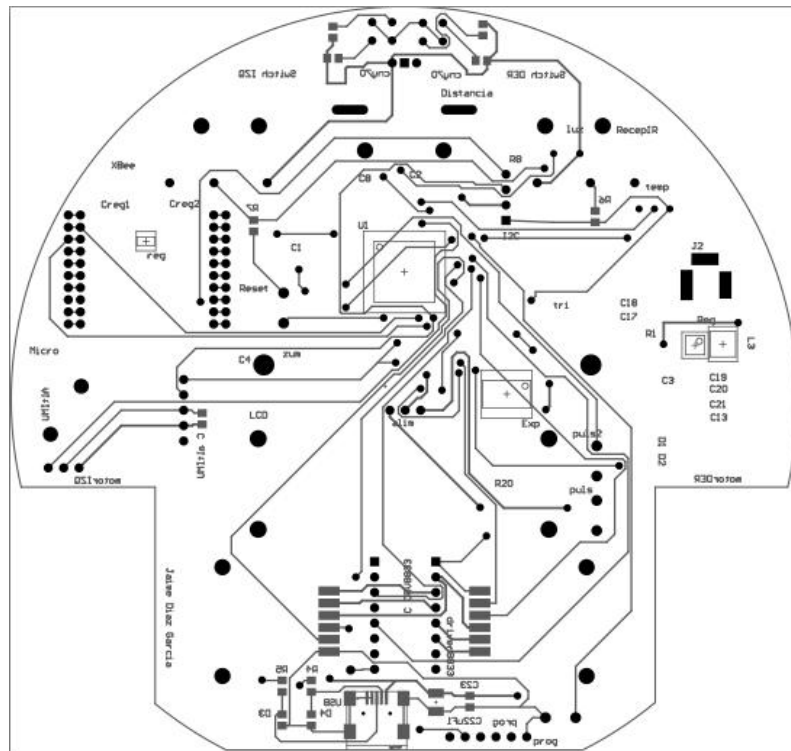
- Diseño PCB vista inferior



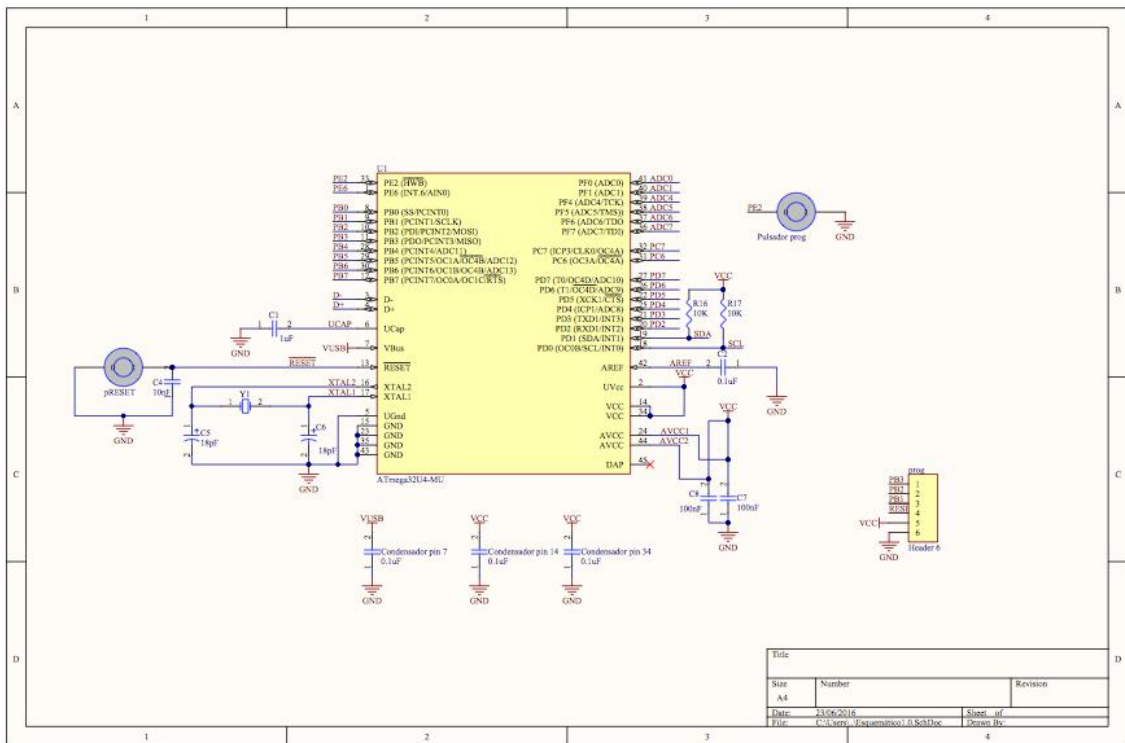
- Diseño PCB *top layer*



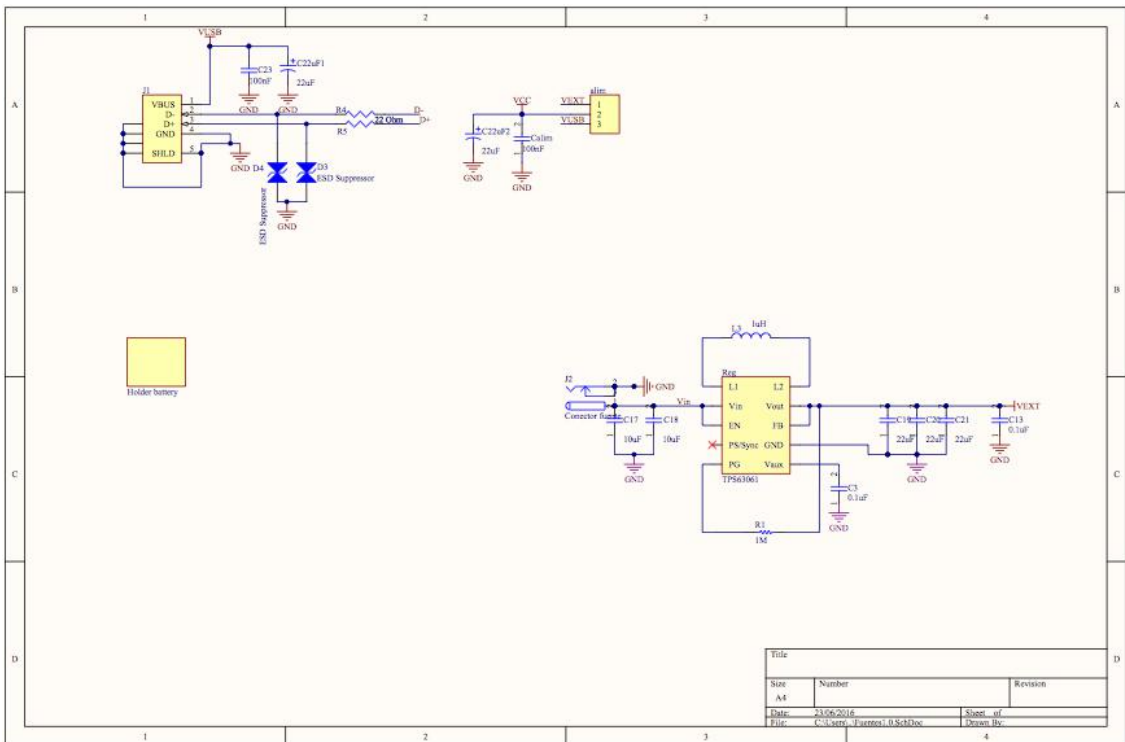
- Diseño PCB *bottom layer*



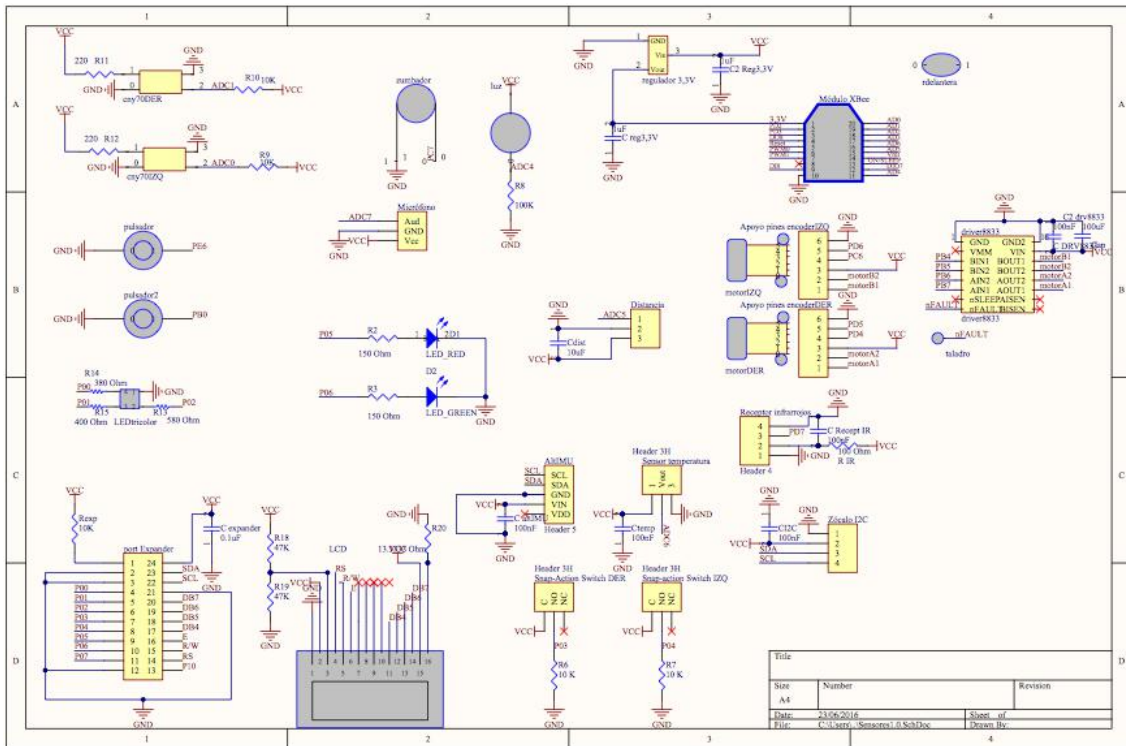
- Diseño Esquemático microcontrolador



- Diseño esquemático fuentes



- Diseño esquemático sensores y actuadores





## Presupuesto

### 1) Ejecución Material

- Compra de ordenador personal (Software incluido).....2000 €
- Alquiler de impresora láser durante 18 meses..... 150 €
- Alquiler fresadora ..... 500 €
- Alquiler herramientas y máquinas ..... 200 €
- Material de oficina .....150 €
- Componentes y material electrónico.....300 €
- Total de ejecución material..... 3300 €

### 2) Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material .....528 €

### 3) Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material .....198 €

### 4) Honorarios Proyecto

- 1120 horas a 15 € / hora .....16800 €

### 5) Material fungible

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

### 6) Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto .....20916 €

### 7) I.V.A. aplicable

- 21% Subtotal Presupuesto.....4392,36 €

### 8) Total presupuesto

- Total Presupuesto .....25308,36 €

Madrid, Julio 2016  
El Ingeniero Jefe del Proyecto

Fdo. : Jaime Díaz García  
Ingeniero de Telecomunicación

# PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de “Plataforma modular de aprendizaje para robótica móvil”. 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.