



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

Proyecto Final de Carrera
INGENIERÍA INDUSTRIAL

RosPiBot

Memoria

Autor: Joan Guasch Iglesias
Director: Manel Velasco Garcia
Convocatoria: Fecha a presentar

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona



Resumen

Este proyecto consiste en el aprovechamiento de la plataforma robótica comercial WifiBot que corre el riesgo de quedarse obsoleta y rescatarla de su destino. Para ello se hace uso de una Raspberry Pi, un ordenador de placa reducida que ha revolucionado el mundo de la automatización desde el día de su aparición en el 2012, como unidad de procesamiento de la nueva plataforma y que está basada en Linux. En el apartado de software, además de incorporar herramientas que faciliten el trabajo a futuros usuarios se ha configurado para poder trabajar con ROS, una infraestructura digital para el desarrollo de software de robots creada por Willow Garage y extensamente utilizada en este sector.

A lo largo de este documento se exponen el estado inicial del robot, los nuevos requerimientos a cumplir, las modificaciones efectuadas incluyendo las complicaciones encontradas a lo largo del proyecto y el resultado final obtenido. Haciendo especial hincapié en el desarrollo de soluciones para cumplir los objetivos del proyecto, tales como el diseño de circuitos electrónicos, la integración de los nuevos componentes o la creación de una mejor interficie para el usuario.

Índice

	Página
Resumen	1
Glosario	7
1. Introducción	8
1.1. Estado del arte	8
1.2. Alcance	8
1.3. Objetivos	8
2. Descripción	9
2.1. WiFiBot	9
2.1.1. Características	9
2.1.2. Estructura	10
2.1.3. Grupo Motriz	10
2.1.4. Codificador óptico de cuadratura	11
2.1.5. Estado Inicial	12
2.2. Raspberry Pi	13
2.2.1. Características	13
2.3. Protocolos de comunicación	15
3. Especificaciones	16
3.1. Software	16
3.1.1. Web	16
3.1.2. Librerías	16
3.2. Electrónica	17
3.2.1. Funcionamiento	17
3.2.2. Alimentación	17
3.2.3. Lógica	17
3.2.4. Comunicación	17
3.3. Mecánica	18
3.3.1. Estructura	18
3.3.2. Tornilleria	18

4. Modificaciones	19
4.1. Componentes Electrónicos	19
4.1.1. Motorización	19
4.1.2. Sensores de proximidad	20
4.1.3. Batería	21
4.1.4. Punto de acceso WiFi	22
4.1.5. Conmutador de red	23
4.1.6. Descodificador de cuadratura	23
4.1.7. Adaptador de nivel de tensión	24
4.1.8. Lectura de valores analógicos	25
4.1.9. Monitorización de la Batería	25
4.1.10. Alimentación de lógica	26
4.1.11. Control de motores	27
4.2. Integración de los componentes	28
4.2.1. SecurePi	28
4.2.2. SensorPi	29
4.2.3. MotorPi	29
4.3. Conexionado	31
4.3.1. Potencia	31
4.3.2. Alimentación de lógica	32
4.3.3. Cableado SensorPi	32
4.3.4. Comunicación	33
4.4. Distribución interna	34
4.4.1. Diseño preliminar	34
4.4.2. Soportes	35
4.4.3. Diseño Final	36
4.5. Componentes mecánicos	38
4.5.1. Mecanizados	38
4.5.2. Paneles	39
4.5.3. Tornillería	40
4.6. Montaje	41
4.6.1. Grupos individuales	41
4.6.2. Conjunto	42
4.7. Entorno informático	43
4.7.1. Configuración Router WiFi	43
4.7.2. Configuración Raspberry Pi	43

4.7.3. Servicios básicos	43
4.7.4. Módulo Rospibot	43
4.8. Adaptación a ROS	44
4.8.1. Instalación ROS Groovy	44
4.8.2. Nodos básicos	44
4.8.3. Paquete Rospibot	44
5. Presupuesto	45
6. Conclusiones	46
7. Soporte informático	47
8. Agradecimientos	48
Referencias	49

Índice de figuras

1.	Wifi Bot 4G	9
2.	Dimensiones [mm] motor HN-GH7.2-2414T-50:1	10
3.	Gráfica de curvas específicas del motor HN-GH7.2-2414T-50:1	11
4.	Esquema de funcionamiento de un encoder de cuadratura	11
5.	Raspberry Pi	13
6.	Esquema Modelo B	13
7.	Sensor de distancia por ultrasonidos KS103	20
8.	Diagrama de radiación del sensor KS103	20
9.	Batería LiPo con PCM instalado	21
10.	Router TP-Link WR702N	22
11.	Switch antes y después de la modificación	23
12.	Diagrama de pines LS7366	24
13.	Circuito adaptador de tensión	24
14.	Diagrama BSS138	25
15.	Diagrama de pines MCP3428	25
16.	Diagrama de pines LM3914	26
17.	Circuito regulador Buck 5V	26
18.	Guia de selección de inductancia	27
19.	Diagrama de pines L298N	27
20.	Layout y PCB de la placa SecurePi	28
21.	SecurePi colocada con la Raspberry Pi	29
22.	Esquema eléctrico del conexionado de potencia	31
23.	Esquema eléctrico de la alimentación de lógica	32
24.	Esquema eléctrico del cableado de la placa SensorPi	32
25.	Diseño preliminar con la ubicación de todos los componentes	34
26.	Conjunto de soportes orientados para impresión 3D	35
27.	Acabado final delantero del robot	36
28.	Acabado final trasero del robot	37
29.	Modelo por ordenador de una barra longitudinal de aluminio	38
30.	Modelo por ordenador de un acoplador de aluminio	39
31.	Conjunto de paneles obtenidos por corte láser	39
32.	Conjunto de paneles montados individualmente	41
33.	RospiBot	42

Índice de tablas

1.	Ensayo de consumo y señal de codificador del motor sin carga	12
2.	Comparativa entre tipos de baterías	21

Glosario

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

SPI Serial Protocol Interface

I2C Inter-Integrated Circuit

ADC Analog to Digital Converter

SoC System on a Chip

CPU Central Processing Unit

GPU Graphics Processing Unit

RAM Random Access Memory

RCA Random Access Memory

HDMI Random Access Memory

DSI Random Access Memory

CSI Random Access Memory

GPIO Random Access Memory

SD Random Access Memory

1. Introducción

1.1. Estado del arte

1.2. Alcance

1.3. Objetivos

2. Descripción

2.1. WifiBot

WifiBot es una plataforma robótica, desarrollada por la empresa francesa **Nexter Robotics**, diseñada para poder navegar en múltiples escenarios gracias a su diseño. Su sistema de tracción a las cuatro ruedas, diseño reducido y bajo peso, le otorga una gran flexibilidad.

2.1.1. Características

Este proyecto parte del modelo **WifiBot 4G**, producido durante el periodo 2002–2006 y que a grandes rasgos incluye::



Figura 1: Wifi Bot 4G

- WIFI:
 - WiFi con estándar 802.11a/b/g
 - Modos Access Point, Bridge, Client y Router
 - 1x Antena de 5dBi
- Sensores:
 - 1x Cámara IP
 - 2x Sensores IR de distancia (ADC)
 - 2x Codificadores óptico de cuadra-tura
 - 2x DSPIC30F2010
 - 1x Nivel de batería (ADC)
- CPU:
 - Procesador AMD Au1500
 - 400MHz
 - Memória RAM de 64MB
 - Memória Flash de 32MB
- Interfícies:
 - 4x Ethernet 10/100
 - 1x USB
 - 1x I²C
 - 1x RS232

- Motores:
 - 4x Motores de 7.2V
 - Reductora $i = 50 : 1$
 - Par nominal 8.87Kg/cm
 - Velocidad nominal 120Rpm
- Dimensiones:
 - Longitud 28cm
- Anchura 30cm
- Altura 20cm
- Peso 4.5Kg
- Baterías:
 - 9.6V NiMh (8 celdas)
 - Capacidad 9500mAh
 - Autonomía de 2 horas

2.1.2. Estructura

La estructura de la base está formada por dos secciones simétricas que llamaremos hemisferios izquierdo y derecho. Estas dos partes están unidas por una barra roscada que atraviesa transversalmente todo el robot, ofreciendo un eje de rotación entre los dos elementos, cualidad que le otorga una mayor adaptación a superficies irregulares.

2.1.3. Grupo Motriz

Los motores que componen el WifiBot son concretamente el modelo **HN-GH7.2-2414T-50:1** del fabricante **Hsiang Neng**. Este modelo está compuesto por un motor de continua de voltaje nominal de 7.2V y una reductora con relación 50:1. Tal y como se describe en la figura 2, dispone de un eje de 6mm de diámetro, una longitud de 81.1mm y un diámetro exterior de 37mm.

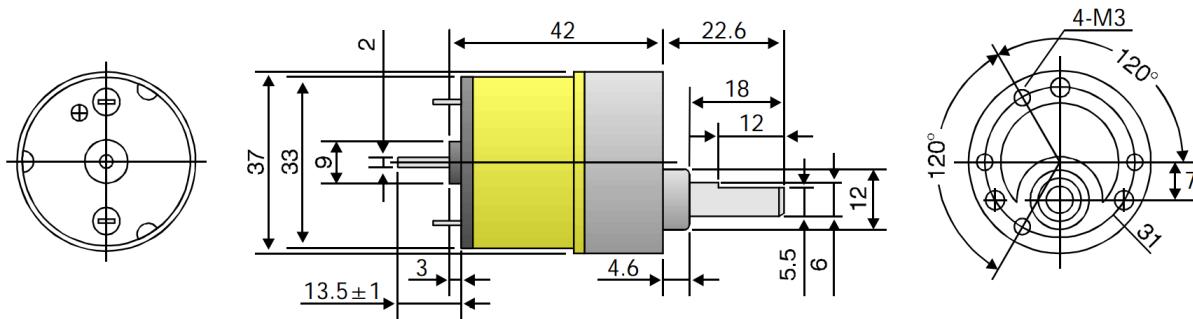


Figura 2: Dimensiones [mm] motor HN-GH7.2-2414T-50:1

En mediciones efectuadas, se determinó que la alimentación de los motores llegaba hasta los 8.2V con un consumo inferior a los 1.8A por motor (con carga), basándonos en la figura 3, podremos asegurar que el motor se encontraba ofreciendo un par de 4.7 Kg·cm.

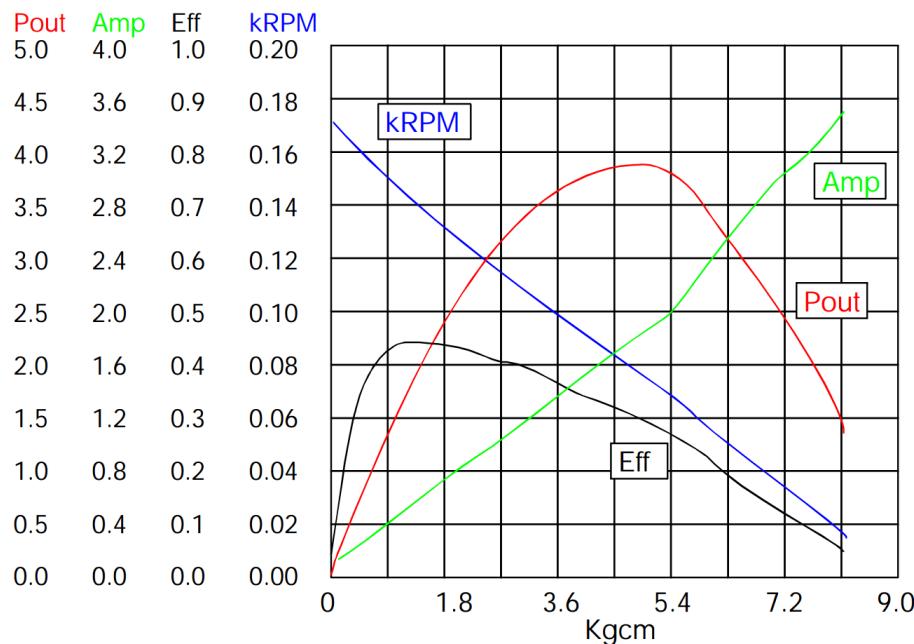


Figura 3: Gráfica de curvas específicas del motor HN-GH7.2-2414T-50:1

2.1.4. Codificador óptico de cuadratura

Este tipo de sensor permite conocer tanto la velocidad como la posición de un eje. Tal y como se describe en la figura 4, su funcionamiento se basa en un disco ranurado que gira solidario al que se dispone un par de fototransistores. Estos transistores emiten una señal compuesta por dos canales, comúnmente llamados A y B, de onda cuadrada. Estos dos canales están desfasados un cuarto de fase, creando una secuencia que depende del sentido de giro.

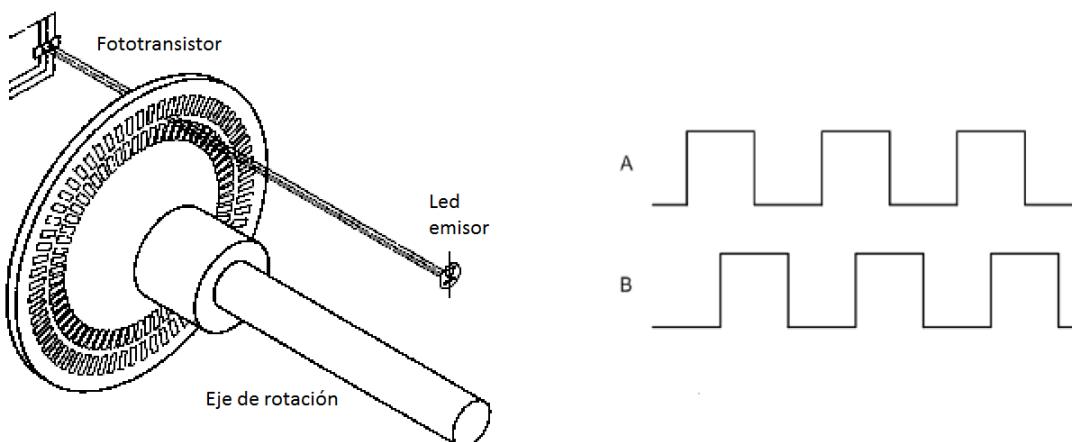


Figura 4: Esquema de funcionamiento de un encoder de cuadratura

De los 4 motores que conforman la plataforma, los dos delanteros disponen de un codificador óptico, concretamente el modelo **E4P-120-079-HT** del fabricante **US DIGITAL**. Este modelo ofrece unos 120 ciclos por revolución (o 480 interrupciones), está pensado para ejes de 2mm de diámetro y no dispone de canal de índice (permite corregir errores). Tras un ensayo del motor sin carga, cuyos datos se encuentran en la tabla 1, se determinó que se llegaba a un máximo de 80.000 pulsos por segundo.

Voltaje [V]	Consumo [A]	Período de Cuadratura [us]
0.5	0.07	2200
1.0	0.08	1000
1.5	0.09	320
2.0	0.10	220
2.5	0.11	170
3.0	0.11	140
3.5	0.12	120
4.0	0.12	100
4.5	0.13	90
5.0	0.13	80
5.5	0.14	70
6.0	0.15	65
6.5	0.15	60
7.0	0.15	55
7.5	0.16	50

Tabla 1: Ensayo de consumo y señal de codificador del motor sin carga

2.1.5. Estado Inicial

La plataforma de la que se disponía en un principio carecía de cierta cualidades. La más destacable era la inestabilidad de la red WiFi, dicha conexión sufría constantes caídas con lo que dificultaba enormemente su teleoperación. Su otro talón de Aquiles era su escasa documentación disponible, al ser un producto que su fabricante da por descontinuado y al no disponer de una comunidad que lo mantenga, dicha base robótica provocaba quebraderos de cabeza para usuarios noveles. Finalmente, las baterías al haber completado su vida útil, disponían de una carga efectiva muy inferior a la inicial. En cambio, tanto la estructura, ruedas, motores y sensores se encontraban en mejores condiciones

2.2. Raspberry Pi

Raspberry Pi es un ordenador del tamaño de una tarjeta de crédito desarrollado en Reino Unido por la **Raspberry Pi Foundation** con el objetivo de fomentar las bases de la computación en escuelas. El desarrollo de este diminuto ordenador empezó en el 2006 hasta alcanzar su madurez y comercialización en Febrero del 2012.



Figura 5: Raspberri Pi

2.2.1. Características

Aunque existen varios modelos de Raspberry Pi, este proyecto se basa en el modelo B (segunda revisión). Este modelo se caracteriza por:

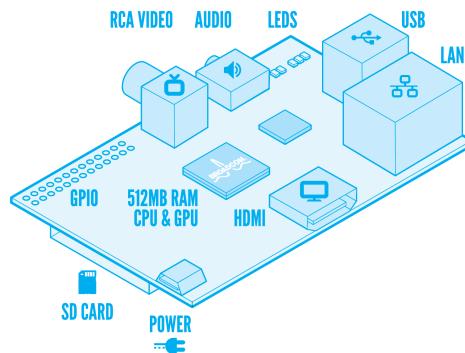


Figura 6: Esquema Modelo B

- Procesador Broadcom BCM2835 (SoC) compuesto por:
 - CPU: ARM1176JZF-S (Arquitectura ARM 11)
 - GPU: VIDEOCORE IV (250 Mhz)
 - Memória RAM de 512MB
- Connexiones multimedia:

- 1x Entrada de vídeo: CSI
 - 3x Salidas de vídeo: RCA, HDMI y DSI
 - 2x Salida de audio: 3.5mm jack y HDMI
 - 1x RS232
- Connexiones de datos:
 - 1x Ranura tarjeta SD (Disco Duro)
 - 2x Puertos USB 2.0
 - 1x Puerto Ethernet RJ45 (10/100 MBit/s)
 - Periféricos de bajo nivel:
 - 8x GPIO
 - 1x UART
 - 1x I²C bus
 - 1x SPI bus (dos pines de selección)
 - Otros datos:
 - Alimentación: 5V via MicroUSB o GPIO
 - Medidas: 85.6mm x 56mm
 - Peso: 45 g

2.3. Protocolos de comunicación

3. Especificaciones

Tal y como se ha definido anteriormente, el objetivo de este proyecto consiste en ofrecer una plataforma funcional para los futuros usuarios. Para definir esta "funcionalidad" se ha basado en el conocimiento aportado por antiguos usuarios, trabajadores en productos similares y en la experiencia propia.

Las especificaciones se han clasificado según su origen. Dependiendo de si son de carácter **software, electrónico o mecánico**. Las especificaciones de carácter informático engloban aspectos como la interficie con el usuario, las herramientas de desarrollo (librerías, documentación) y la disponibilidad a futuras modificaciones. Por contra, la electrónica ha de evitar que el usuario se encuentre obligado a manipular el interior del robot, pero que en el caso de dicha situación permita una solución simple del problema. Además, la electrónica ha de incorporar un sistema que permita conocer estados del robot de manera sencilla. Finalmente, la mecánica se encarga de incorporar las nuevas especificaciones en la plataforma, manteniendo el concepto inicial. Igual que en la electrónica, en el caso de una futura manipulación por parte del usuario, el diseño ha de facilitar el acceso a cualquier ubicación.

3.1. Software

El principal requisito del software es ofrecer un acceso simple al usuario. Teniendo presente el hecho que pueda ser utilizado tanto para usuario noveles como para usuarios experimentados. Por ello se ha planteado las siguientes especificaciones.

3.1.1. Web

Se ofrecerá un servidor web que permita de visualizar fácilmente el estado del robot como por ejemplo: el nivel de carga de baterías, sensores de proximidad, velocidad de desplazamiento, consumo de motores, etc. Además se incluirá una pantalla donde se monitorizará una cámara que incorpora el robot y un par de terminales de comandos. En otro apartado de la web se ofrecerá la descarga de todos aquellos documentos necesarios para el usuario, evitando así que el usuario pierda tiempo en la búsqueda de la documentación.

3.1.2. Librerías

Para aquel desarrollador que decida utilizar esta plataforma se le ofrecerá un conjunto de librerías que permitan trabajar con el robot de manera comoda. Estas librerías se compondrán de una sintaxis limpia y un código legible que proporcionará una fácil interpretación.

3.2. Electrónica

El objetivo de la electrónica es ser la parte más vital de la plataforma, pero pasando desapercibida por el usuario. Ofreciendo una mínima interacción pero suficiente para comprender el estado del robot. Esta interacción se hará mediante señales luminosas o acústicas, e indicarán los siguientes estados.

3.2.1. Funcionamiento

En la plataforma de partida no se dispone de ningún medio que indique si se encuentra operativo, por ello la primera especificación de la parte electrónica será la incorporación de un señal luminosa que muestre si el robot está encendido o apagado. También existe la posibilidad de ofrecer información de otros estados.

3.2.2. Alimentación

Las baterías ofrecerán una autonomía suficiente para moverse en un entorno exterior, se estipula un mínimo de 2 horas en movimiento como mínimo aceptable. Además de la duración, su recarga deberá de ser lo máximo de comodo para el usuario, evitando que tenga que manipular las celdas de energía. Se recomienda elementos de seguridad ante problemas como sobrecargas o cortocircuitos y de gestión de energía para aumentar la vida útil.

Otro punto a tener en cuenta es la disponibilidad en encontrar repuestos de la batería, por ello se usarán productos comerciales fáciles de adquirir. Finalmente, se monitorizará el nivel de carga a partir de unos elementos luminosos.

3.2.3. Lógica

Para el control de la plataforma el proyecto se ha basa en uso de la Raspberry Pi. Dicho ordenador será el responsable de efectuar todo los cálculos y órdenes, Aún así, a causa de sus limitaciones se precisa de una lógica complementaria capaz de gestionar y contabilizar las lecturas analógicas de los sensores, el control de motores, la comunicación externa y la distribución de energía.

3.2.4. Comunicación

Para poder interaccionar con el plataforma robótica se proponen 3 medios alternativos. Cada uno de estos canales permitirán el acceso al usuario. Un primer medio será por vía

cableada, a partir de un cable de red, los otros dos serán por vía inalámbrica, por un lado se buscará una red Wi-Fi predefinida y por otro se creará una red Wi-Fi propia.

3.3. Mecánica

Se intentará en la medida de lo posible mantener la silueta característica del robot, asignando mayor prioridad a aquellas modificaciones motivadas por software o electrónica.

3.3.1. Estructura

Se desea mantener la estructura básica de la plataforma, dejando su peculiar forma de dos bloques unidos por una barra roscada longitudinal. Se mantendrá el concepto de perfiles cuadrados como elemento estructural pero modificando la separación entre ellos. La ubicación de los distintos elementos se dispondrán según su relación con el resto de dispositivos, uniéndose según se traten de control de potencia, lógica o comunicación.

3.3.2. Tornilleria

A causa del deterioro de los elementos de tornillería se procederá a cambiar el roscado de todos los tornillos por uno más estandarizado como el métrico. Este cambio también incluye las barras estructurales, los adaptadores de los ejes y los prisioneros

4. Modificaciones

Para la realización de este proyecto se deberá trabajar en varios sectores. Debido que el software es el sector que permite mejor adaptarse a los nuevos cambios y que la mecánica de la plataforma proporciona cierta flexibilidad, el componente electrónico será el que ofrezca las mayores limitaciones. Por ello se considera que los primeros esfuerzos deberán centrarse en este sector, aprovechando al máximo los recursos ya existentes.

Aunque la plataforma inicial seguía funcionando, los problemas derivados de su desgaste propiciaron la necesidad de modificar en gran medida su interior. En un principio se demostró que simplemente insertando una Raspberry Pi, conectada mediante puerto ethernet, se podía comandar el robot. También fué posible acceder a datos básicos del robot como el estado de las baterías o la lectura de los sensores de proximidad. Pero el hecho de la inestabilidad de su unidad de procesamiento hizo necesaria su substitución completa. A causa de esta decisión, se tuvo que buscar el modo de comunicarse con los demás componentes ya existentes: etapa de alimentación, gestor de baterías, control de motores y lectura de sensores.

4.1. Componentes Electrónicos

Para poder actuar con cada dispositivo, el robot hacía uso de las interfaces de comunicación UART e I²C; Pero aún sabiendo el protocolo empleado, la comprensión de la información que circulaba fué prácticamente imposible. Por ello se determinó que para poder proseguir con el proyecto hacía falta el desarrollo de nuevos componentes que substituyesen a los actuales y que permitiesen a futuros usuarios comprender rápidamente qué protocolos se utilizan y cómo interaccionar con ellos. A continuación se detallan los componentes utilizados.

4.1.1. Motorización

Debido al buen estado de los motores y del hecho que un par incorpora codificadores de cuadratura, se ha optado por mantener estos motores. Con este gesto evitamos la búsqueda de su substituto y nos aseguramos que se mantenga la misma funcionalidad que al inicio. Al conservar este dispositivo se considera que el consumo (por lo que afecta a la parte de motorización) permanecerá semejante, por tanto la nueva etapa de control de motores dispondrá de características similares. Siendo el voltaje nominal del grupo motriz de unos 7.2 se requiere de una alimentación acorde a este voltaje; En el caso de utilizar baterías de voltaje superior, será necesario una etapa DC-DC para adecuar los niveles.

4.1.2. Sensores de proximidad

Cualquier plataforma robótica dedicada a la exploración ha de disponer de sensores que les proporcionen información sobre el mundo que le rodea. Por ello se aprovecharán los sensores analógicos infrarrojos actuales del robot, Sharp GP2Y0A2YK, y se anadirán cuatro nuevos sensores por ultrasonidos KS103.



Figura 7: Sensor de distancia por ultrasonidos KS103

Las características de este sensor han sido el motivo de su elección: Su gran rango de medida (de 1cm a 550cm), una resolución de 1mm, comunicación via I²C (con 20 direcciones posibles), capaz de operar de 3.0 a 5.5V y permite hasta unas 500 lecturas por segundo. Otro factor que se ha tenido en cuenta es el hecho que la luz de sol en determinadas circunstancias puede afectar a la lectura real de los sensores infrarrojos, en cambio los sensores de ultrasonidos no quedan afectados.

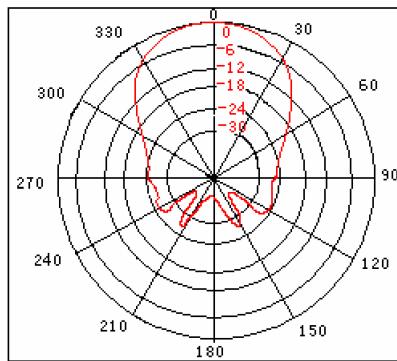


Figura 8: Diagrama de radiación del sensor KS103

El funcionamiento de este tipo de sensor de basa en el envío de un pulso y la recepción de su eco, luego el propio sensor determina el tiempo entre estos dos sucesos y calcula la distancia a la que se encuentra el obstáculo. Debido a que los ultrasonidos producidos pueden afectarse entre ellos si se realiza una lectura simultánea, se deberá esperar la finalización de la lectura de un sensor para activar el siguiente.

4.1.3. Batería

Para la selección del sistema de acumulación de energía se ha barajado diferentes posibilidades que podemos encontrar en el mercado: Baterías de plomo, NiCd, NiMH, Ion Litio y Polímero de Litio (LiPo). Las de plomo han sido las primeras descartadas a causa de su baja densidad de carga y su elevado peso. Las constituidas por elementos de NiCd se encuentran en fase de desaparición por experimentar el efecto memoria (reducción de su capacidad al cabo del tiempo) y ser superadas por sus competidoras. Las baterías de Ion de Litio, aún disponiendo de una alta densidad de carga y bajo peso (motivo de su extendido uso en dispositivos móviles), no son capaces de ofrecer una gran capacidad de descarga.

Tipo	Densidad de carga [Wh/Kg]	Densidad de potencia [W/Kg]
NiCd	50	600
NiMh	70	700
Li-Ion	220	300
Li-Poly	150	2690

Tabla 2: Comparativa entre tipos de baterías

Llegados a este punto queda decidir entre las baterías constituidas por NiMH o LiPo. Ambas baterías están ampliamente comercializadas y ofrecen una alta capacidad de descarga si se comparan con las descartadas. Aunque las LiPo disponen de mejores características, según la tabla 2, se corre el riesgo de que lleguen a incendiarse si se sobrecargan o que queden inutilizadas si se alcanza un voltaje inferior de 2.5V por celda.



Figura 9: Batería LiPo con PCM instalado

Por ello se ha optado por el uso de unas baterías con un módulo PCM instalado, este pequeño dispositivo ofrece un control sobre la batería, protegiéndola de sobredescargas y

gestionando su carga. Además ya no hace necesario cargadores específicos, simplemente una fuente de tensión acorde. Debido a que los motores tienen un voltaje nominal de 7.2V, se ha decidido el uso de baterías de 7.4V, estas baterías tienen un rango de funcionamiento de 2.75 hasta los 4.2V.

Finalmente la batería elegida ha sido un conjunto formado por dos celdas de 3.7V de 6000mAh cada una conectadas en serie y con un módulo PCM instalado. Su consumo de carga llega a los 2A y a unos 6A en descarga.

4.1.4. Punto de acceso WiFi

Tal y como se ha descrito en las especificaciones, se requiere de un sistema que ofrezca un acceso WiFi. Debido a que se ha descartado el uso del módulo que ya disponía el robot, se hace necesario un nuevo dispositivo que se encargue. En este caso se ha optado por el uso de un elemento comercial de tamaño reducido que se pueda alimentar fácilmente, ofrezca un alcance aceptable y de rápida configuración.



Figura 10: Router TP-Link WR702N

El dispositivo elegido se trata del mini router TL-WR702N de la empresa TP-LINK. Este modelo ofrece una velocidad máxima de transmisión de 150Mbps, se alimenta mediante un puerto MicroUSB (5V) y dispone de un puerto ethernet RJ45, que dependiendo del modo de trabajo se comporta como un puerto WAN o LAN.

Entre todas sus configuraciones (AP Mode, Router Mode ,Client Mode, Repeater Modey Bridge Mode) se ha optado por la de punto de acceso con el nombre de RosPiBot y servidor

DHCP activado. De esta manera el usuario sólo deberá conectarse a su red para poder acceder al robot.

4.1.5. Comutador de red

Según las especificaciones se desea que la nueva plataforma disponga de tres medios de acceso a red. Dos de estos medios (Wifi y clavija ethernet) han de estar conectados directamente con el puerto ethernet de la Raspberry, por este motivo se necesita un commutador o switch. Puesto que el robot ya dispone de un switch de 5 puertos (4 habilitados), se aprovechará el mismo dispositivo.

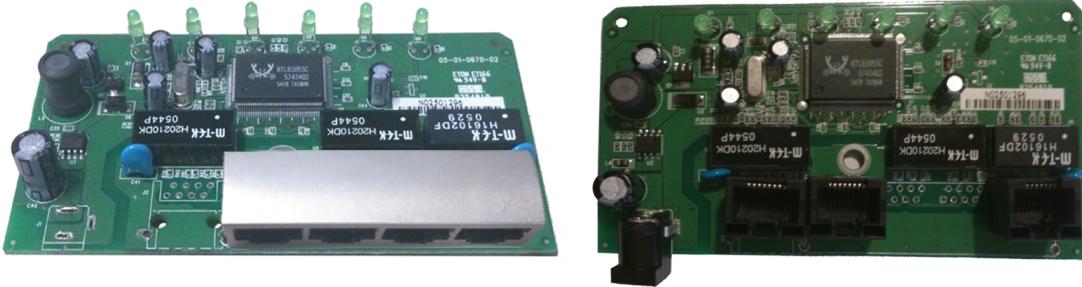


Figura 11: Switch antes y después de la modificación

Debido a que el conector que dispone el switch implica una que el conector se encuentre en posición horizontal, se ha optado por la substitución de la clavija de cuatro puertos por tres verticales, de esta manera se reduce la superficie que requiere el switch con los conectores.

4.1.6. Descodificador de cuadratura

Uno de los elementos más útiles que podemos encontrar en la plataforma es la existencia de dos codificadores de cuadratura dispuestos en el grupo motriz delantero (uno a cada lado). Estos dispositivos permiten medir los cambios del eje del motor (antes de la etapa reductora) con gran precisión. Para su funcionamiento requieren de una alimentación de 5 voltios, siendo este mismo voltaje el usado en la salida del señal. Debido a su voltaje, superior a los 3.3 voltios que soportan los pines de la Raspberry Pi, se hace necesario un adaptador de nivel. Además, según los resultados experimentados, la frecuencia máxima de interrupciones generadas por el codificador llega hasta las 80.000 por segundo, Haciendo imposible que el microprocesador sea capaz de gestionarlo.

Para solventar el problema, se hace uso del circuito integrado LS7366, un contador de cuadratura de hasta 32 bits con interficie SPI. Este componente incrementa o decremente

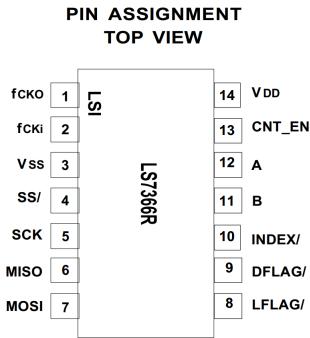


Figura 12: Diagrama de pines LS7366

un contador interno dependiendo de la secuencia que proviene del codificador de cuadratura. Además en el momento que se quiera acceder al registro de dicho contador, el circuito procede a copiar el estado de contador en un segundo registro, permitiendo que la lectura no interfiera con el cálculo.

Gracias a este integrado, se evita que el microprocesador tenga que hacerse cargo del gran nombre de interrupciones, permitiéndole dedicarse a otros procesos. Para la comunicación se aprovecha el módulo propio SPI del BCM2835 y dos de los pines de selección de escalvo.

4.1.7. Adaptador de nivel de tensión

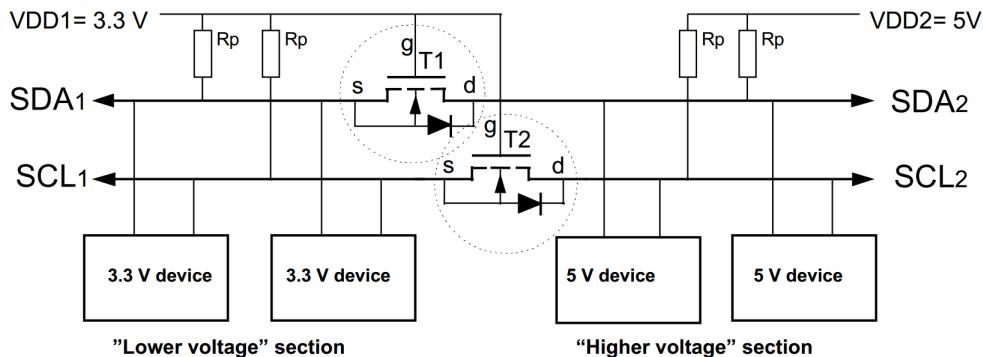


Figura 13: Circuito adaptador de tensión

Para una correcta comunicación entre los diferentes dispositivos es preciso adaptar los diferentes voltajes. Para ello hay que tener en cuenta en qué rangos cada dispositivo se comunica; mientras que la Raspberry Pi usa voltajes en su GPIO de 0 a 3.3V, el controlador de motores opera con tensiones superior a los 4.5V.

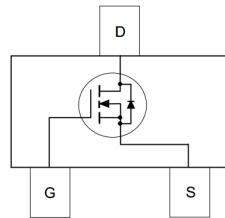


Figura 14: Diagrama BSS138

Debido a que algunos pines requieren bidirecionalidad (por ejemplo I²C) se ha decantado por el uso del circuito recomendado por la empresa **Philips Semiconductors** explicado en su documento **AN97055** y que corresponde a la figura 13. Finalmente para el circuito se utilizarán resistencias de 10KΩ para la función de "pull-up" y el mosfet de canal N **BSS138** como el de la figura 14.

4.1.8. Lectura de valores analógicos

Debido al uso de sensores de salida analógica (sensores de distancia por infrarrojos), el uso de resistencias Shunt y la monitorización de baterías, se requiere una lectura analógica. Por ello se utilizará un conversor analógico a digital o ADC ya que la Raspberry no dispone de uno propio. De los posibles componentes que cumplen esta función se ha elegido aquel que de comunique por I²C, ofrezca una resolución aceptable, haya sido utilizado satisfactoriamente por otros usuarios y de menor coste. El componente elegido ha sido el MCP3428, un conversor ADC Sigma-Delta de 4 canales diferenciales, resolución de hasta 16 bits y voltaje de referencia interno de 2.048 voltios.

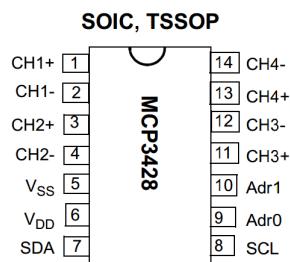


Figura 15: Diagrama de pines MCP3428

4.1.9. Monitorización de la Batería

Conocer el estado de la batería en cualquier momento es crucial en plataformas móviles, por ello su monitorizaje es imprescindible. Dicho monitorizaje se efectúa de dos maneras

distintas: La primera mediante un módulo ADC que digitaliza el estado de la batería, y la segunda utiliza el circuito integrado LM3914, un dispositivo encargado de medir el voltaje y mostrar dicha información mediante LEDs.

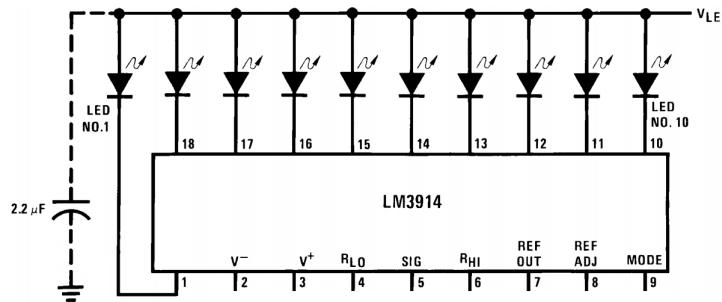


Figura 16: Diagrama de pines LM3914

4.1.10. Alimentación de lógica

A causa de los diferentes niveles de tensión entre la batería que cada componente requiere, se hace necesario un sistema que lo adecue; Por ello se ha decidido usar un regulador que ofrezca una salida estable de 5 voltios. En el caso de la Raspberry Pi se utilizará el propio regulador interno de 5 a 3.3V. A partir de experimentaciones previas se estima un consumo medio de 1500mA. Para satisfacer dicho consumo es necesario un regulador de alta eficiencia, y debido a que siempre nos encontramos la situación de reducir el voltaje, deberemos usar un convertidor Buck.

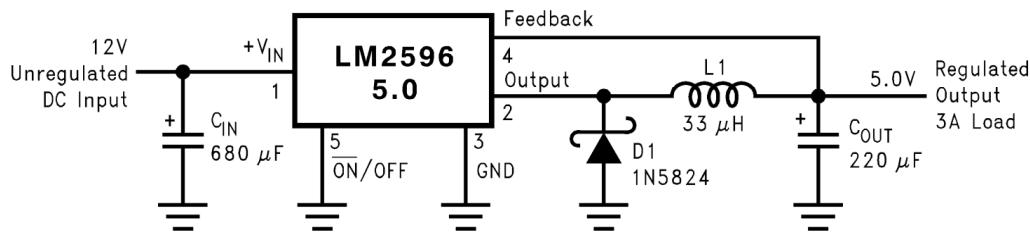


Figura 17: Circuito regulador Buck 5V

El componente elegido ha sido el LM2596, un regulador capaz de ofrecer hasta 3A. Su elección se ha basado en el tipo de componentes que requiere, su facilidad de uso, su coste total reducido y la experiencia previa con este regulador. Para la selección de componentes, la mayoría vienen definidos por el propio fabricante, excepto la bobina, la cual para obtener el máximo rendimiento del regulador su inductancia se ha de elegir según la figura 18. Puesto que las baterías oscilan de 6 a 8.4V y que el consumo varía de 1 a 2A, se ha coloreado de

verde claro aquellas zonas en la que el regulador puede llegar a trabajar y de color más oscuro la zona más típica dónde se puede encontrar. Por esto motivo se ha elegido el valor de $22 \mu\text{H}$.

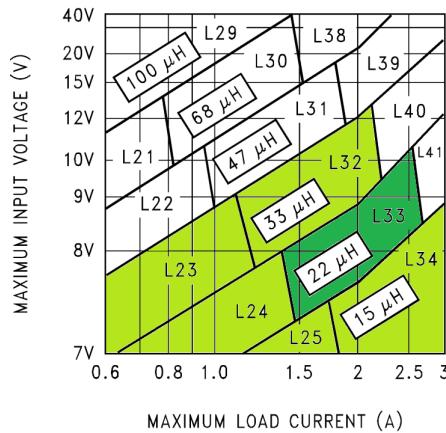


Figura 18: Guia de selección de inductancia

4.1.11. Control de motores

Para el control de motores se utilizará el mismo componente L298 usado en el robot original, un doble puente en H . Este dispositivo permite un control independiente de dos motores de continua hasta un consumo de 2 amperios por motor.

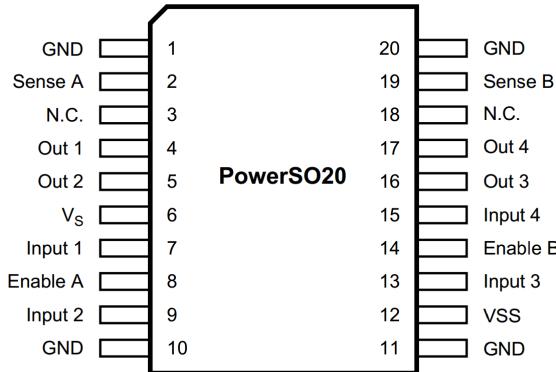


Figura 19: Diagrama de pines L298N

El sentido de rotación se dirige a partir de dos pines indicados como "Inputs" y la velocidad mediante una señal PWM en el pin de "Enable". Aunque dispone de una salida para conocer la intensidad que circula por cada canal (se conecta en serie una resistencia Shunt y se mide la diferencia de potencial), no dispone de ningún sensor para saber la velocidad del motor.

4.2. Integración de los componentes

Los componentes descritos anteriormente desde los puntos 4.1.6 hasta 4.1.11 requieren de ser montados en una PCB. Para ello se han diseñado un conjunto de placas, se han enviado a producir y finalmente se han ensamblado los componentes manualmente.

Para la producción de las PCB se ha utilizado un servicio de prototipado de bajo coste pero con la limitación que los diseños han de estar contenidos en rectángulos de 5x5, 5x10 o 10x10cm. Aunque posiblemente se pudiera incluir todos los componentes en un solo circuito impreso de 10x5cm, se ha preferido crear 3 diseños de 5x5cm. Así se reduce el riesgo de deshacerse de toda una placa por culpa de un imperfección en un componente y se da modularidad al sistema. Las placas creadas son: SecurePi, SensorPi y MotorPi.

4.2.1. SecurePi

Esta placa tiene dos objetivos: Ofrecer una etapa de regulación para la alimentación de todos aquellos elementos que requieran una alimentación de 5V y proteger todos los pines GPIO de la Raspberry Pi (ofreciendo bidireccionalidad y convirtiendo el voltaje de 3.3 a 5V).

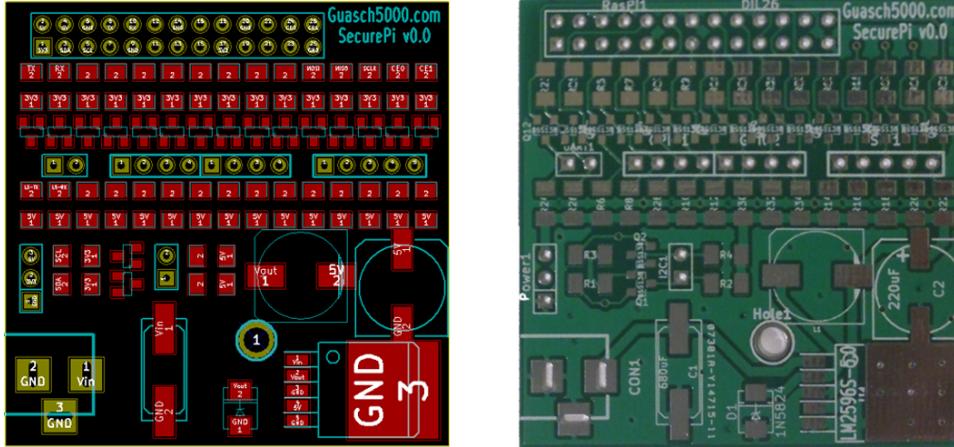


Figura 20: Layout y PCB de la placa SecurePi

Otra característica de esta placa es la redistribución de los pines, separados según la funcionalidad de cada uno. Podemos observar como el conector de 26 pines se ha distribuido en varios: UART(x2), GPIO(x8), SPI(x5), I2C(x2) y alimentación (GND, 3.3V y 5V).

Tal y como se aprecia en la figura 21, una vez montada la SecurePi encima de la Raspberry, el usuario puede seguir accediendo a los pines directos del GPIO, usar las nuevas salidas

elevadas a 5V y decidir si alimentar el dispositivo mediante el puerto MicroUSB o con una fuente de mayor tensión mediante el conector Jack de 5.1mm.

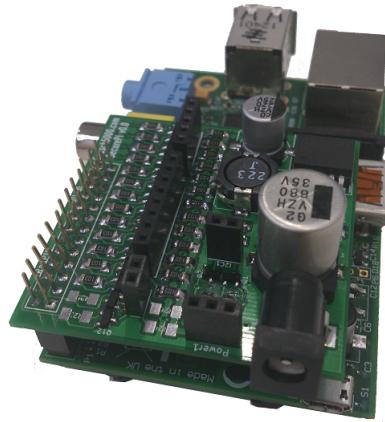


Figura 21: SecurePi colocada con la Raspberry Pi

4.2.2. SensorPi

Sobre la placa SecurePi se coloca la SensorPi, esta placa dispone de los descodificadores de cuadratura, los conversores analógicos y un conjunto de leds (uno verde para indicar la correcta alimentación y ocho ámbar para los pines GPIO destinador a al control de motores).

Para cada uno de los descodificadores se han dispuesto de dos tiras de tres pines que disponen de alimentación (GND y 5V), dos canales de cuadratura y un pin opcional para el índice. En el caso de las entradas analógicas, se han adaptado mediante divisores de tensiones para ajustar al límite de 2.048V. Para medir las baterías se han dispuesto de dos lectura para cada una de las celdas en serie, la primera lectura tiene el fondo de escala a 5V y la segunda a 10V. Para los sensores infrarrojos se han configurado a 3.5V como máximo y a 2.2V las diseñadas para la lectura de la intensidad (midiendo la caída de potencial entre los extremos de una resistencia Shunt).

Finalmente las ocho salidas del GPIO se han colocado en un extremo para facilitar su acceso y se ha dispuesto una tira de 4 pines extra para la alimentación y comunicación de los dispositivos que utilizan I²C.

4.2.3. MotorPi

Esta placa controla la gestión de motores e incluye el circuito de monitorización de la batería. Al contrario que las dos placas anteriormente descritas, la MotorPi no está diseñada

para ser encajada encima de otra placa.

Se han utilizado bloques de terminales para el cableado de potencia (batería y motores) y tiras de pines para el resto de conexiones separadas en 3 bloques: El primero consiste en una tira de 11 pines pensado para el visualizador led de 10 barras. Un segundo bloque de 10 terminales incorpora los cuatro pines de indicación del sentido de giro de los motores, dos para la habilitación de los motores delanteros y cuatro más de lectura de corriente. Finalmente el tercer bloque proporciona la alimentación de lógica para los L298, dos pines de habilitación para los motores traseros y sus 4 correspondientes para la lectura de consumo.

4.3. Conexiónado

Una vez definidos todos los elementos que participan en la modificación de la plataforma robótica, es necesario de indicar cómo se conectan entre ellos. Debido a que cada componente debe ser alimentado a un voltaje específico, se han proyectado diferentes conexionados según la función de sus elementos:

4.3.1. Potencia

Este cableado se encarga de la distribución de energía a todos aquellos componentes que estén diseñados para aceptar voltajes dentro del rango de la batería. Si nos fijamos en la figura 22 estos componentes forman dos grupos que se han enmarcado: El grupo encargado de la recarga, formado por el conector "Power Jack" y un fusible para proteger la fuente de alimentación exterior, y el grupo encargado del consumo, donde encontramos un interruptor, el switch y los dos circuitos impresos MotorPi y SecurePi.

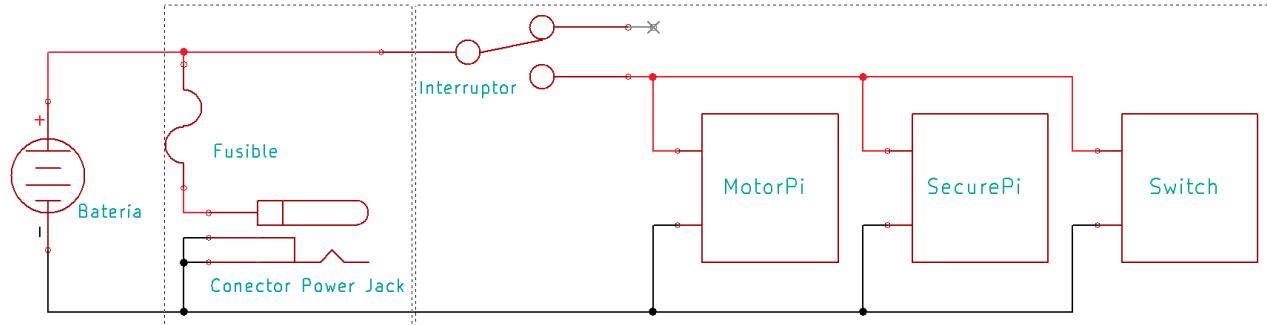


Figura 22: Esquema eléctrico del conexionado de potencia

Aunque el circuito de recarga dispone de fusible, se puede observar que el segundo no. Este hecho se debe a que en la situación de funcionamiento normal, el robot se encuentra en movimiento, el circuito de recarga está abierto, por lo que toda la energía la subministra la batería. Y en el caso que una sobrecarga o cortocircuito el propio módulo PCM actuaría, con lo que no hace necesaria la instalación de un fusible para el circuito de consumo. En cambio, si por casualidad nos encontramos en la situación que tenemos el robot recargándose con poca batería y decidimos activar los motores, debido al pico de consumo que aparece se puede dar el caso que sea la fuente quién alimente el grupo motor y la acabemos dañando.

4.3.2. Alimentación de lógica

Una vez la placa SecurePi ha sido alimentada, ofrece una tensión de 5V estable. Los consumidores de esta salida son la propia Raspberry Pi, la placa SensorPi y el Router WiFi.

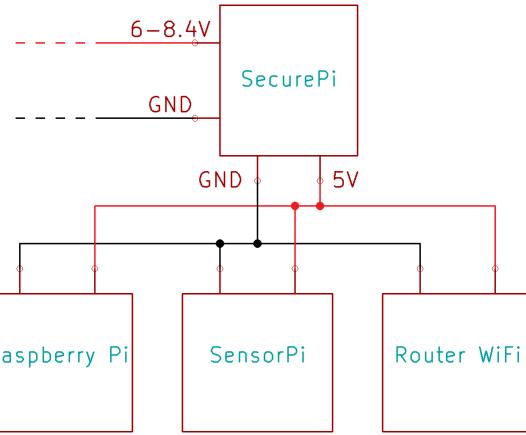


Figura 23: Esquema eléctrico de la alimentación de lógica

Tanto la Raspberry Pi como la SensorPi no requieren de cableado puesto que su contacto se efectúa mediante los pines previamente soldados. Por el otro lado, se ha modificado un cable USB tipo A a MicroUSB para ser conectado al GPIO y subministrar energía al Router.

4.3.3. Cableado SensorPi

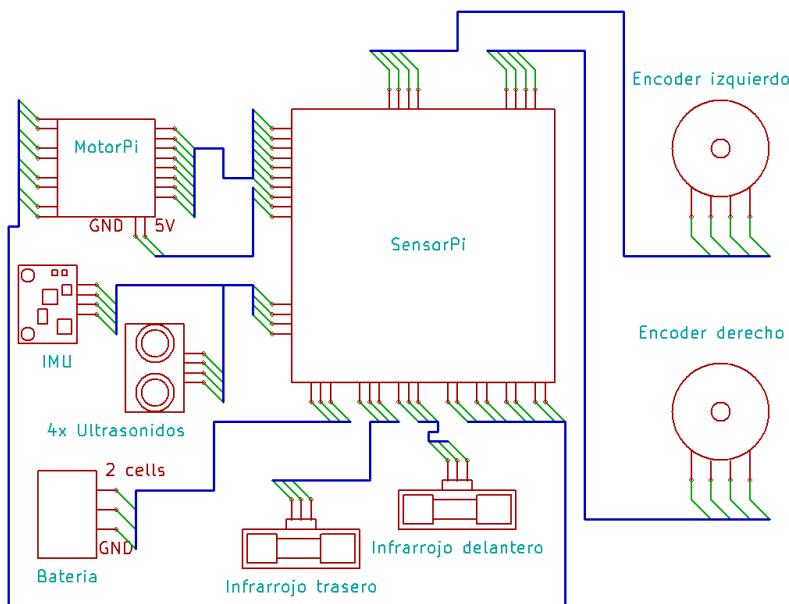


Figura 24: Esquema eléctrico del cableado de la placa SensorPi

Del mismo modo que la placa SecurePi alimenta a un conjunto de elementos, la placa SensorPi hace lo mismo. Podemos observar la distribución del cableado en la figura 24 y los elementos que dependen de esta placa para funcionar.

El conexionado con la placa MotorPi se separa en 3 grupos: Alimentación, comunicación con los controladores y lectura de consumo. El resto de componentes también son alimentados excepto los destinados a la lectura del estado de las celdas de la batería.

4.3.4. Comunicación

Llegados a este punto tenemos todo lo necesario para que el robot sea capaz de moverse y obtener información de su entorno, solamente nos queda poder comunicarnos con él. Para ello se ha conectado la Raspberry Pi, Router, Switch y la clavija de red externa mediante cables Ethernet. Por otra parte se han extendido las salidas USB de la Raspberry Pi hacia el exterior del robot para facilitar su acceso.

4.4. Distribución interna

Una vez que los elementos internos del robot han sido definidos, es hora de organizar su distribución. Para ello se han considerados las especificaciones previas, donde se define a grandes rasgos su ubicación preferida. Durante esta fase se ha ido corrigiendo la disposición de los elementos hasta encontrar uno que satisface todas las restricciones. Para poder llevar a cabo esta tarea se han modelado todos los componentes en SolidWorks®, de tal manera que se puede obtener una representación gráfica de su colocación y además poder usar herramientas propias del programa para detectar colisiones o interferencias entre sólidos.

4.4.1. Diseño preliminar

Puesto que se desea que la parte de procesamiento y comunicación se encuentran en el mismo hemisferio, la colocación de la clavija de Ethernet externa y los dos conectores USB también deberán estar en el mismo bloque. Siguiendo con el proceso de descarte, el único sensor que se puede colocar en el panel trasero derecho es el infrarrojo, ya que el ultrasonidos ocuparía demasiado y haciendo imposible una distribución acorde de los conectores externos. A causa de esta elección quedan fijados en que lugares se distribuyen el resto de sensores.

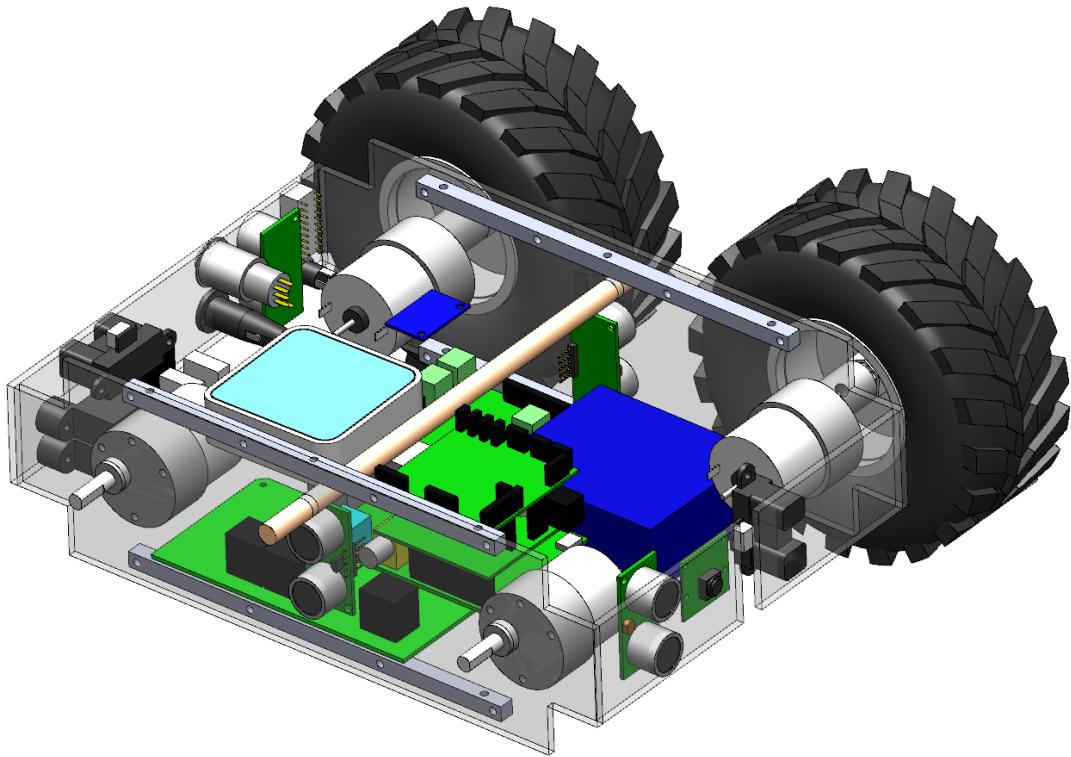


Figura 25: Diseño preliminar con la ubicación de todos los componentes

Con los conectores y sensores colocados, es el turno de el Switch y la Raspberry Pi. En este caso habían muy pocas combinaciones posibles, haciendo que la preferida fuese aquella que permitiese una fácil manipulación del cableado más frágil (los procedentes de la placa SensorPi) y que en caso de problema procedente del sistema operativo, la extracción de la SD fuese cómoda. Finalmente se introdujo el Router, la cámara se ubicó en el punto más centrado y se definió la rotación de los motores (los ejes no son colineales al eje central).

A continuación se siguió con el hemisferio izquierdo. En el panel trasero se ubicaron el interruptor vandálico, el portafusibles, el encapsulado de 10 leds, el conector para la carga y el sensor de ultrasonidos. Puesto que el uno de los motores se encuentra cerca, la distribución se ha basado en la profundidad a la que llegan estos componentes, de tal manera que se ha evitado cualquier tipo de colisión y se ha dejado espacio para el cableado correspondiente. Para terminar se colocaron el placa MotorPi y la batería en la parte inferior de robot y se dejó la IMU en la parte superior para acceder fácilmente durante el ensamblado, el resultado final se puede apreciar en la figura 25

4.4.2. Soportes

Con todos los elementos ubicados, llegamos al punto de ofrecer un soporte a cada uno. El objetivo de estos soportes es que sus elementos se unan a los paneles más cercanos y posteriormente unir estos grupos al ensamblaje principal.

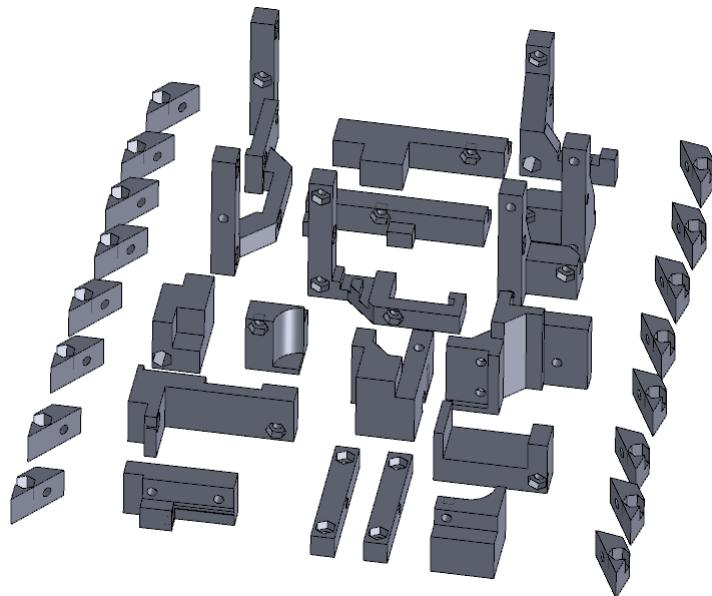


Figura 26: Conjunto de soportes orientados para impresión 3D

Debido a las intrincadas formas que cada uno de los soportes tenía que disponer, se optó por la impresión 3D basada en la superposición de material para la fabricación de estos. Este hecho afectó al diseño final de los soportes, haciendo que estos se pudiesen fabricar. Un aspecto que se tuvo en cuenta fue la disposición de ranuras para las tuercas, haciendo que estas se colocarán fácilmente y que no requieran del uso de alicates o llaves para su posterior sujeción a la hora de insertar el tornillo.

Para darle un acabado menos rectangular se diseñaron unos chaflanes, para la colocación de estos se crearon piezas auxiliares con el único objetivo de ser unidas al cuerpo principal. Estas piezas auxiliares corresponden a las que se encuentran en los extremos de la figura 26 formando dos filas.

4.4.3. Diseño Final

En esta última fase se crearon todos los paneles y sus correspondientes orificios para tornillería, ejes de motores y paso de cableado. Para mantener la estética original, todos los paneles que forman el robot se ha decidido que sean negros excepto los dos superiores.

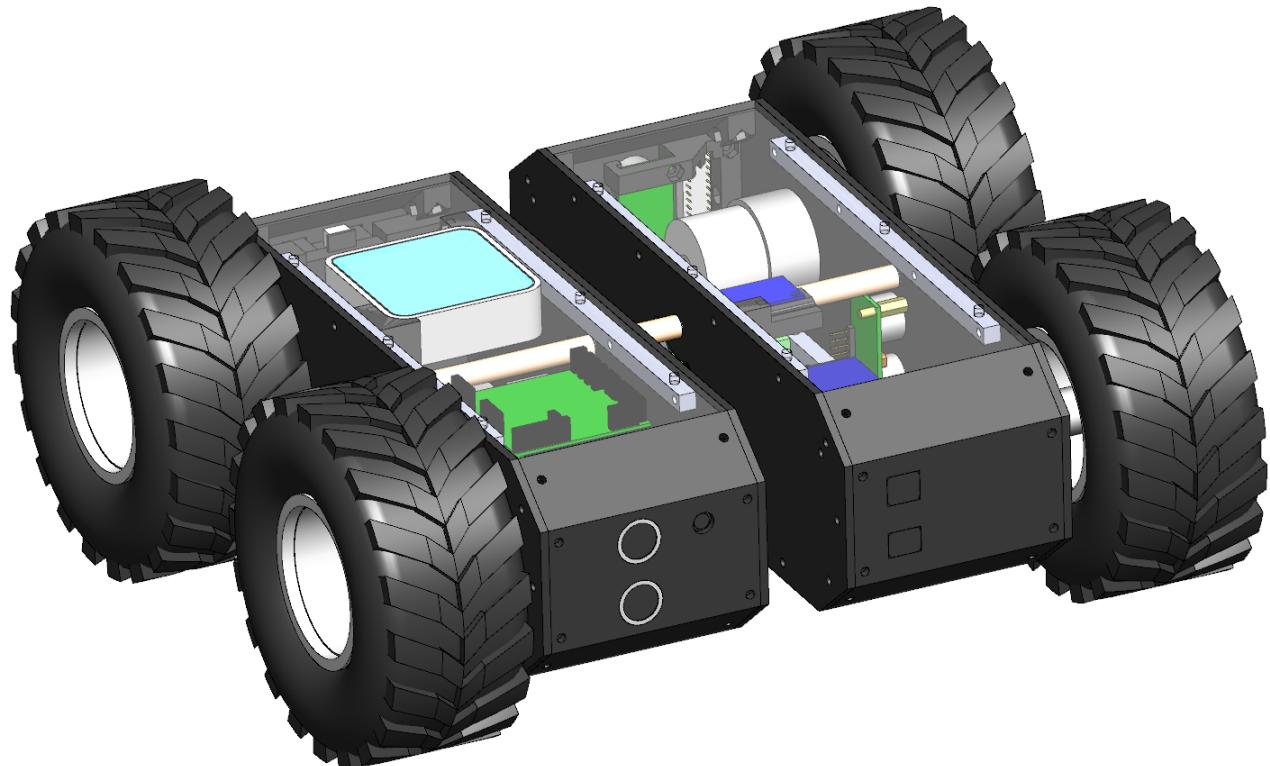


Figura 27: Acabado final delantero del robot

Para los paneles superiores se ha optado por que sean transparentes, con este cambio se pretende que el usuario tenga una idea de que contiene el robot a primera vista, además de permitir encontrar rápidamente incidencias por de la falta de indicadores encendidos.



Figura 28: Acabado final trasero del robot

4.5. Componentes mecánicos

El trabajo de ofrecer una estructura donde poder incorporar toda la electrónica y que permita al robot desplazarse por su entorno recae en la mecánica. De entre los varios diseños posibles se ha elegido aquel que conserve el espíritu del robot original, es decir que siga siendo una plataforma constituida por dos partes, que mantenga el concepto de estructura una externa y que su tamaño se respete. A continuación se detallan los diferentes trabajos realizados en este proyecto.

4.5.1. Mecanizados

Como se ha comentado anteriormente, todos los roscados habían sido elaborados con una métrica no estándar. En un primer lugar tenemos los roscados correspondiente a las ocho barras longitudinales de aluminio, unos siete orificios por barra (cuatro en una dirección y el resto en su perpendicular). Por suerte el diámetro exterior del roscado era casi idéntico al diámetro interior de una roscado típico de M3. Gracias a este hecho no se requería la necesidad de repasar los orificios con una broca y volver a roscar. Simplemente se volvieron a mecanizar utilizando un macho de roscar.

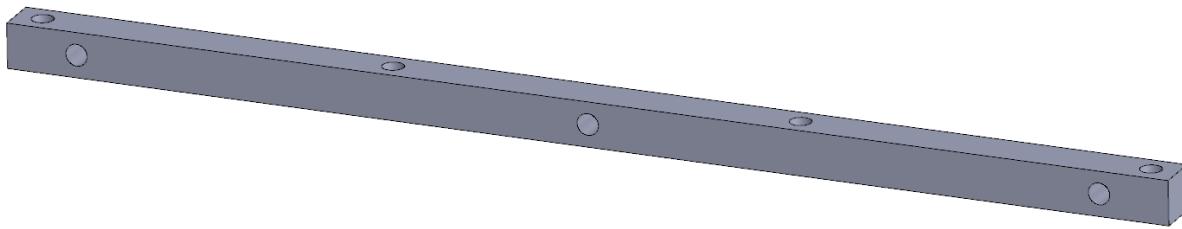


Figura 29: Modelo por ordenador de una barra longitudinal de aluminio.

Otro elemento que también requería de una modificación era los acopladores (couplings) entre la salida del eje del motor y de las ruedas. Estos acopladores, que aparecen en la figura 30, disponen en un extremo un orificio de 6mm de diámetro pensado para insertar el eje del motor, en el otro extremo se ha mecanizado el cilindro hasta obtener un prisma de base hexagonal (para ofrecer un giro soldiario con la rueda) y en su interior se ha mecanizado una rosca cercana al M4. Perpendicular al eje principal el acoplador dispone de un tercer orificio diseñado para utilizar un espárrago prisionero. Debido al degradado estado de los tornillos y prisioneros, se tuvo que utilizar métodos poco convencionales para poder extraerlos. En los tornillos que unían la rueda se les practicó una ranura para poder insertar un destornillador plano, ya que el óxido y su cabeza con hueco hexagonal no estandarizado imposibilitaba el

uso de llaves Allen. En el caso de los prisioneros, no hubo más remedio que realizar un corte con sierra de disco para obtener una ranura, pero para ello se tube que eliminar parte del aluminio del acoplador.

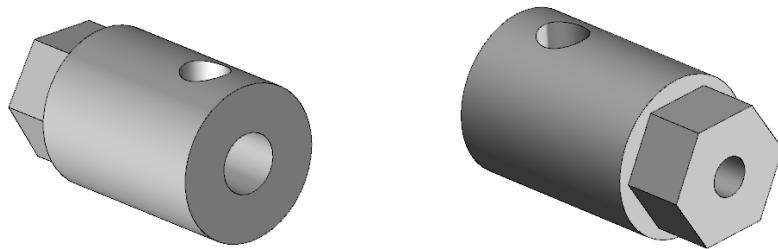


Figura 30: Modelo por ordenador de un acoplador de aluminio.

4.5.2. Paneles

Una vez diseñados los paneles que conformarían la estructura del robot, se procedió a su fabricación. Debido a que en un principio se desconocía qué material se utilizaría (PVC, Metracrilado, Policarbonato, Acrílico, etc.) se decidió usar un grosor típico, fácil de adquirir y que aportase una resistencia aceptable.

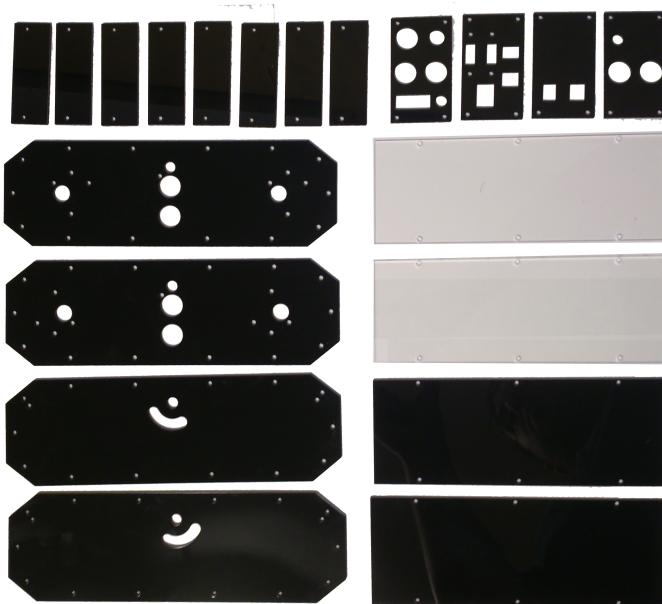


Figura 31: Conjunto de paneles obtenidos por corte láser.

Finalmente el material elegido fue el metacrilato, el motivo que hizo decantar la balanza fue saber que era el único que se podía cortar a un precio razonable. Mientras que el resto requerían del uso de una fresadora CNC, el metacrilado podía ser trabajado mediante corte láser.

4.5.3. Tornillería

Además de soportar la estructura el objetivo de la nueva tornillería que se ha utilizado es que resista mejor las inclemencias de su entorno, por este motivo se ha querido que todos los tornillos sean inoxidables. Además para evitar posibles enredos a la hora de realizar algún mantenimiento se han restringido los tipos de tornillos utilizados. De tal manera que para la sujeción de los paneles, elementos internos y motores se ha utilizado un tornillo de calidad A2, de cabeza alomanada o DIN 7985 y de M3x10 o M3x20 según requiera la ocasión. Para sujetar la cámara se han usado el mismo DIN7985 pero de M2x10. Para la unión entre el acoplador y la llanta unos DIN912 A2 de M4x10 y para sujetar el acoplador al eje unos espárragos DIN 916 de M5x5, estos últimos han tenido que ser de Acero Negro ya que no se han localizado de inoxidables.

4.6. Montaje

En esta parte se realiza el ensamblado final del robot. El objetivo es crear un sándwich donde los paneles laterales son el continente y los paneles traseros, delanteros, superiores, inferiores y chaflanes el contenido.

4.6.1. Grupos individuales

Para ello se unen los paneles interiores verticales con sus tapas inferiores, de esta manera se crea una escuadra de referencia. En una de ellas se colocan el Switch y la Raspberry con las placas SecurePi y SensorPi ya insertadas, el la otra la batería y la placa MotorPi. Por el contrario, en los paneles exteriores verticales se instalan los motores y el sensor de ultrasonidos.

En el caso de los paneles delanteros y traseros se unen sus respectivos componentes aprovechando los soportes creados. Excepto la clavija de red, ya que esta forma parte del primer grupo definido. Una vez montados todos los grupos individualmente se realiza un primer cableado de aquellos componentes que su posterior acceso resulte reducido o nulo, concretamente estamos hablando del encapsulado de 10 leds, el conjunto de carga (conector y portafusibles), el interruptor antivandálico, los sensores de infrarrojos y ultrasonidos y el módulo de la cámara. Llegados a este punto se obtiene el resultado de la figura 32

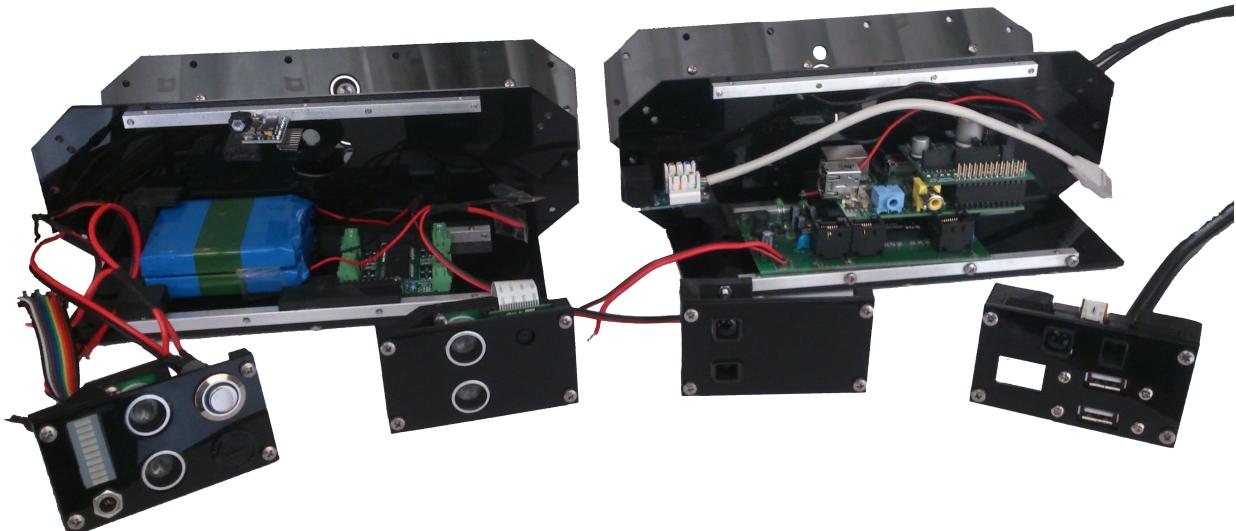


Figura 32: Conjunto de paneles montados individualmente.

4.6.2. Conjunto

Finalmente se van acoplando los paneles traseros a cada uno de las escuadras creadas y se hace un primer cableado. A continuación se hace pasar la barra roscada que será la que permita la rotación de cada unos de los hemisferios y se coloca un separador de unos 30mm en el medio. Seguidamente se coloca el panel con los motores con cuidado de respetar las tolerancias y evitando enredos con el cableado. Llegados a este punto colocamos los chaflanes, las tuercas de cabeza redondeada en cada extremo de la barra roscada y las tapas superiores. Para acabar colocamos los acopladores en cada uno de los cuatro ejes e insertamos las llantas en su ranura respetando el sentido del perfil del neumático.



Figura 33: Acabado final de la plataforma RospiBot.

4.7. Entorno informático

- 4.7.1. Configuración Router WiFi
- 4.7.2. Configuración Raspberry Pi
- 4.7.3. Servicios básicos
- 4.7.4. Módulo Rospibot

4.8. Adaptación a ROS

4.8.1. Instalación ROS Groovy

4.8.2. Nodos básicos

4.8.3. Paquete Rospibot

5. Presupuesto

6. Conclusiones

7. Soporte informático

8. Agradecimientos

Referencias

- [1] MONTERO, J., *Metodos matemáticos aplicados a la ganadería*. Sevilla: Ediciones de la pradera, 2007
- [2] OLD, L., *Confesiones de una oveja bizca* Madrid: Naturalistic, 2010