



**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 interfície para el usuario.

Índice

	Página
Resumen	1
Glosario	1
1. Introducción	6
1.1. Estado del arte	6
1.2. Alcance	6
1.3. Objetivos	6
2. Descripción	7
2.1. WifiBot	7
2.1.1. Características	7
2.1.2. Estructura	8
2.1.3. Grupo Motriz	8
2.1.4. Codificador óptico de cuadratura	9
2.1.5. Estado Inicial	10
2.2. Raspberry Pi	11
2.2.1. Características	11
2.3. Protocolos de comunicación	13
3. Especificaciones	14
3.1. Software	14
3.1.1. Web	14
3.1.2. Librerías	14
3.2. Electrónica	15
3.2.1. Funcionamiento	15
3.2.2. Alimentación	15
3.2.3. Lógica	15
3.2.4. Comunicación	15
3.3. Mecánica	16
3.3.1. Estructura	16
3.3.2. Tornillería	16

4. Modificaciones	17
4.1. Componentes Electrónicos	17
4.1.1. Motorización	17
4.1.2. Batería	18
4.1.3. Descodificador de cuadratura	18
4.1.4. Control de motores	19
4.1.5. Monitorización de la Batería	19
4.1.6. Lectura de valores analógicos	20
4.1.7. Adaptador de nivel de tensión	21
4.1.8. Regulador de voltaje para alimentación	21
4.2. Dispositivos Electrónicos	22
5. Presupuesto	23
6. Conclusiones	24
7. Agradecimientos	25
8. Biografia	26
9. Soporte informático	27

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

- CPU:
 - Procesador AMD Au1500
 - 400MHz
 - Memória RAM de 64MB
 - Memória Flash de 32MB
- Interfícies:
 - 4x Ethernet 10/100
 - 1x USB
 - 1x I²C
 - 1x RS232
- 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 cuadratura
 - 2x DSPIC30F2010
 - 1x Nivel de batería (ADC)

- 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.

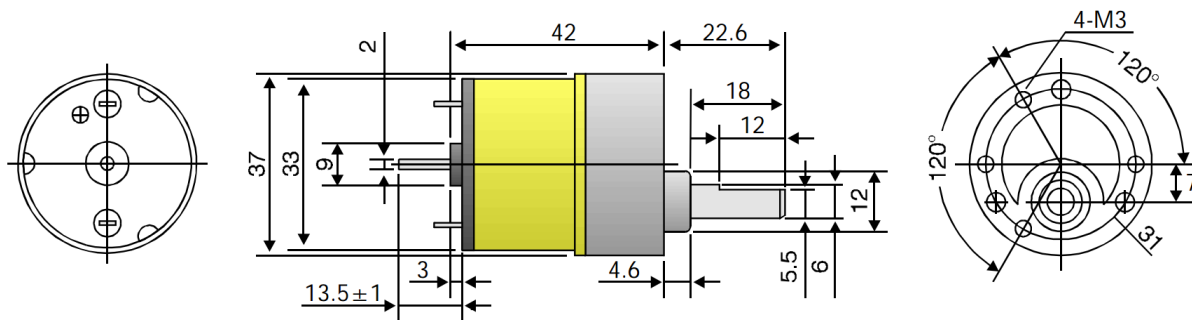


Figura 2: Dimensiones [mm] motor HN-GH7.2-2414T-50:1

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.

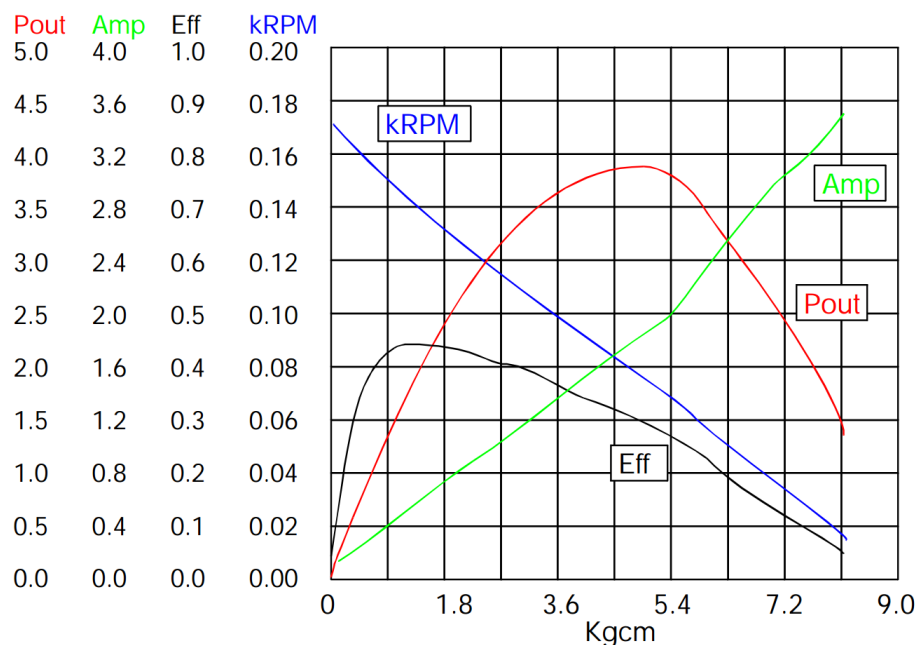


Figura 3: Gráfica de curvas específicas del motor HN-GH7.2-2414T-50:1

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.

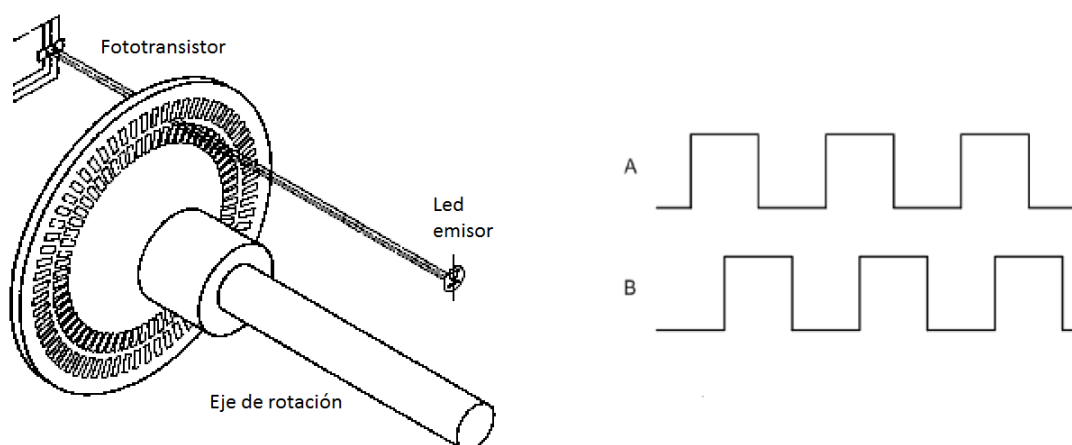


Figura 4: Esquema de funcionamiento de un encoder de cuadratura

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 discontinuado 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.

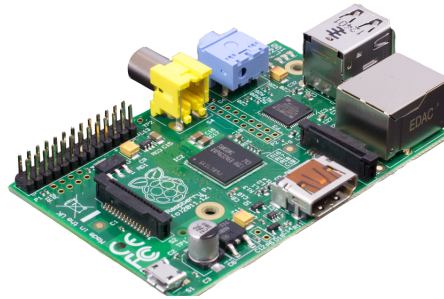


Figura 5: Raspberri Pi

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:

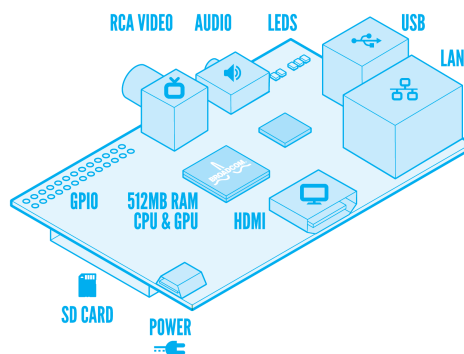


Figura 6: Esquema Modelo B

- 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 interfície 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 dónde 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 cómoda. 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 via

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, uniéndolos según se traten de control de potencia, lógica o comunicación.

3.3.2. Tornillería

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 fue 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 sustitución 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 fue prácticamente imposible. Por ello se determinó que para poder proseguir con el proyecto hacía falta el desarrollo de nuevos componentes que sustituyesen a los actuales y que permitiesen a futuros usuarios comprender rápidamente que protocolos se utilizan y cómo interaccionar con ellos. A continuación se detallan los componentes utilizados siguiendo un orden de mayor a menor restrictivo.

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 sustituto y nos aseguramos que se mantenga la misma funcionalidad que al inicio. Al conservar estos dispositivos 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 motoriz 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. 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.

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.

4.1.3. 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 decrementa 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 cómputo.

Gracias a este integrado, se evita que el microprocesador tenga que hacerse cargo del gran número 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.

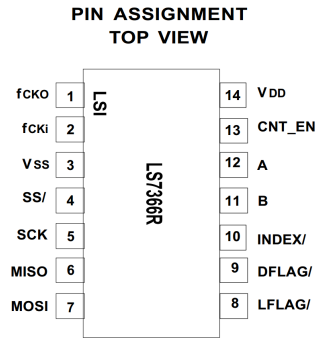


Figura 7: Diagrama de pines LS7366

4.1.4. Control de motores

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

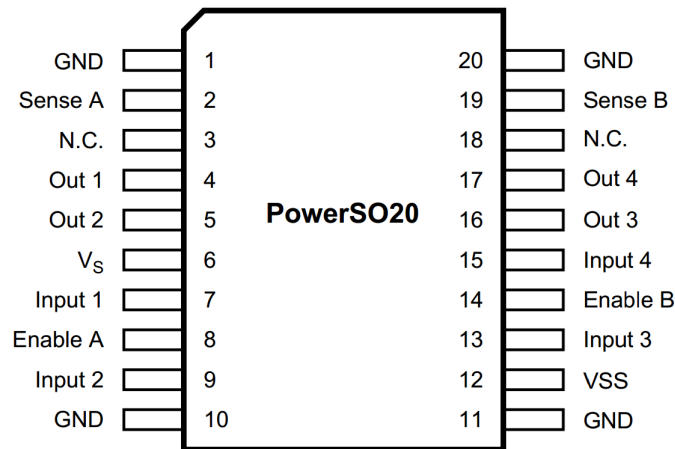


Figura 8: Diagrama de pines L298N

4.1.5. 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.

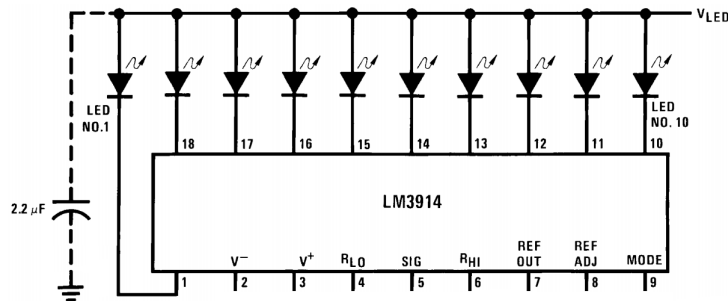


Figura 9: Diagrama de pines LM3914

4.1.6. 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 cumplan 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.

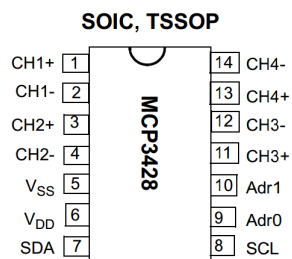


Figura 10: Diagrama de pines MCP3428

4.1.7. Adaptador de nivel de tensión

Para una correcta comunicación entre los diferentes dispositivos es preciso adaptar los diferentes voltajes. Para ello hay que tener en cuenta en que 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.

Debido a que algunos pines requieren bidireccionalidad (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 11. Finalmente para el circuito se utilizarán resistencias de 10 KiloOhms para la función de "pull-up" y el mosfet de canal N **BSS138** como el de la figura 12.

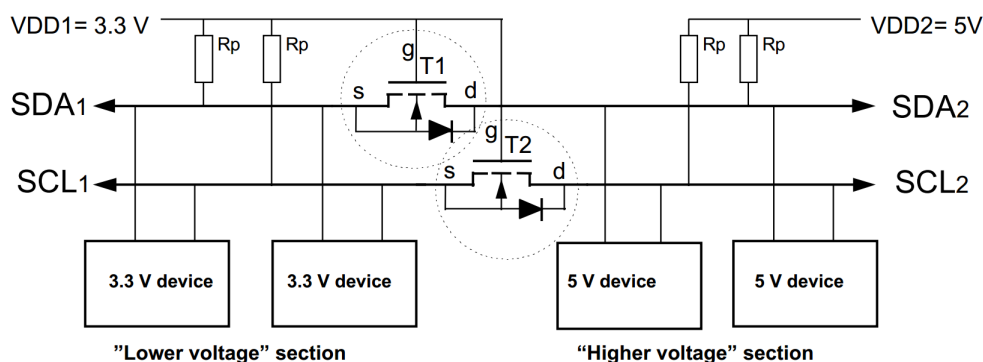


Figura 11: Circuito adaptador de tensión

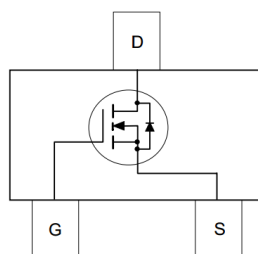


Figura 12: Diagrama BSS138

4.1.8. Regulador de voltaje de alimentación

A causa de la diferencia tensión entre la batería y el resto de dispositivos, es necesario un sistema que regule el voltaje. Para satisfacer los consumos del robot se

4.2. Dispositivos Electrónicos

5. Presupuesto

6. Conclusiones

7. Agradecimientos

8. Biografia

9. Soporte informático