

## Descripción del Proyecto

---

# Desarrollo de una plataforma rodante teledirigida

## Sistemas Electrónicos Digitales

(V. 19-09-2025)

**Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial**

**Universidad de Alcalá**

---

**Curso Académico 2025/26**

**Curso 3º – Cuatrimestre 1º**



**Dpto. Electrónica**

## INDICE.

|        |                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Introducción. ....                                       | 2  |
| 2.     | Descripción general del proyecto.....                    | 2  |
| 3.     | Especificaciones del sistema. ....                       | 3  |
| 4.     | Descripción de materiales y dispositivos a emplear. .... | 5  |
| 4.1.   | Plataforma o chasis del robot. ....                      | 5  |
| 4.1.1. | Referencias.....                                         | 5  |
| 4.2.   | Motores con encoder. ....                                | 5  |
| 4.2.1. | Referencias.....                                         | 6  |
| 4.3.   | Driver para motores (L298N). ....                        | 6  |
| 4.3.1. | Referencias.....                                         | 9  |
| 4.4.   | Amplificador de audio y altavoz. ....                    | 9  |
| 4.4.1. | Referencias.....                                         | 10 |
| 4.5.   | Pantalla gráfica (HY28A/B).....                          | 10 |
| 4.5.1. | Referencias.....                                         | 11 |
| 4.6.   | Adaptador Bluetooth serie HC06.....                      | 11 |
| 4.6.1. | Referencias.....                                         | 11 |
| 5.     | Realización del proyecto. ....                           | 12 |
| 5.1.   | Memoria técnica del proyecto.....                        | 13 |
| 5.2.   | Planificación del Proyecto.....                          | 12 |
| 5.3.   | Evaluación final del proyecto.....                       | 13 |

## 1. INTRODUCCIÓN.

En este documento se presentan las especificaciones del proyecto de laboratorio del curso 2025/26 de la asignatura Sistemas Electrónicos Digitales (GIEAI), y algunas consideraciones sobre el material complementario y sobre la documentación técnica a presentar.

## 2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.

Se propone desarrollar una plataforma rodante con tracción diferencial y teledirigida basada en un sistema empotrado con microcontrolador LPC1768 (tarjeta Mini-DK2) capaz de realizar recorridos rectilíneos y giros sin desplazamiento (diseño holonómico) previamente establecidos.

La plataforma rodante ha de reunir las siguientes características:

- Se partirá de una plataforma mecánica sobre la que se montarán los dos motores de continua que proporcionan la tracción a las dos ruedas delanteras, y una tercera rueda (o *Roller Ball*) que proporciona estabilidad a la plataforma.
- Los motores se excitarán mediante sendos amplificadores no lineales en puente en H, los cuales proporcionan las señales PWM correspondientes, cuyo valor medio o nivel de continua se puede fijar desde el microcontrolador.
- Se utilizará un divisor resistivo para monitorizar la tensión de la fuente de alimentación del puente en H, de forma que ésta pueda monitorizarse continuamente.
- Cada motor llevará de un codificador de señales en cuadratura o *encoder*, que se utilizarán para medir la distancia recorrida, permitiendo determinar si el movimiento es el establecido.
- En los movimientos de avance, el móvil emitirá un pitido intermitente.
- Los movimientos a realizar por el móvil (adelante una distancia configurable, y giros de 90 grados) se programarán a través de un enlace serie desde un ordenador.

Nótese que, gracias al diseño holonómico, tanto en los trayectos rectos como en los giros ambas ruedas de tracción recorrerán la misma distancia (en los trayectos rectos las ruedas giran en el mismo sentido mientras que en los giros las ruedas giran en sentido contrario).

Por otro lado, la plataforma también puede incluir las siguientes capacidades opcionales:

- Disponer de un sensor de ambiente para monitorizar diferentes variables del entorno. Este sensor se comunica a través de un puerto serie (I2C/SPI).
- Incluir la posibilidad de que el móvil retroceda, realice giros de un número configurable de grados, y creando o no un arco (giro con desplazamiento).
- Los movimientos también se podrán programar mediante una conexión inalámbrica por Bluetooth desde un *smartphone*.

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques, partiendo de la Mini-DK2 como núcleo del sistema.

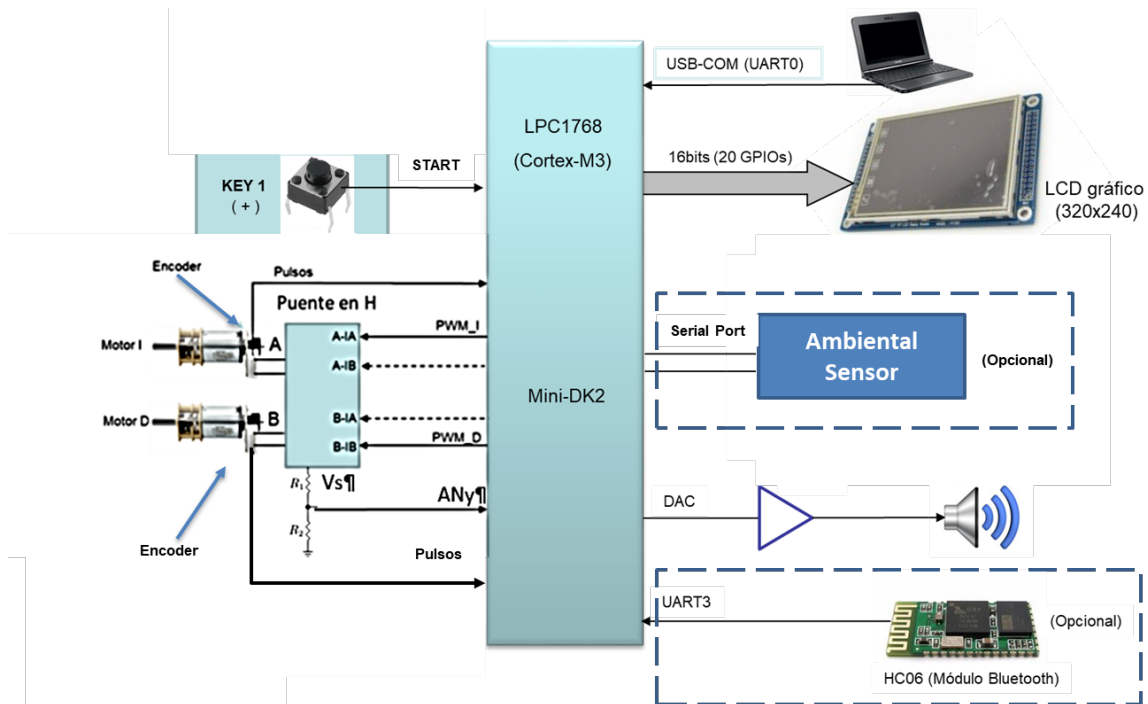


Figura 1. Diagrama de bloques de la plataforma rodante con tracción diferencial.

### 3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.

El funcionamiento del móvil se debe ajustar a las especificaciones a continuación:

1. La plataforma realizará recorridos predefinidos de trayectorias rectilíneas y giros de 90°.
2. La secuencia de movimientos se cargará desde un ordenador a través del cable serie-USB (utilizando un programa terminal) que conectará con el puerto UART0 según sigue:
  - a. La definición de dicha secuencia se proporcionará mediante una cadena de caracteres en ASCII terminada con el carácter "return" (código ASCII 0x0D).
  - b. La cadena de caracteres se ajustará al siguiente formato:

$V_{xx}[C]dd[C]dd[C]dd[C]dd[C]dd \dots [0x0D]$

donde:

$xx$  es una cifra de dos dígitos que indicará el porcentaje de velocidad máxima deseada para el movimiento.

$[C]$  es el comando a realizar y  $dd$  es una cifra de dos dígitos que indica la distancia en cm a recorrer, pudiendo ser:

- **A** $dd$  avanza  $dd$  centímetros.
- **D** $dd$  gira 90° a la derecha y avanza  $dd$  centímetros.
- **I** $dd$  gira 90° a la izquierda y avanza  $dd$  centímetros.

La Figura 2 muestra el recorrido a realizar por el móvil para la secuencia:

V50A90I45D60I75D40A80[0x0D]

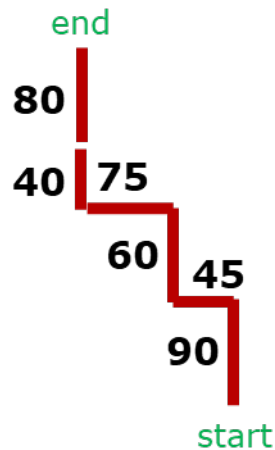


Figura 2. Ejemplo de secuencia que se realizará a velocidad media (V50).

Opcionalmente se podrá especificar una secuencia con movimiento hacia atrás, de ángulo no-recto o giros no-holonómicos, de modo que se realice un arco que desplace al girar.

Opcionalmente se podrá cargar la secuencia de movimientos de forma inalámbrica mediante Bluetooth a través de un módulo externo.

Opcionalmente se puede incluir un sensor para medir variables del ambiente y mostrarlas en la pantalla de la Mini-DK2.

3. Se debe monitorizar continuamente la alimentación del puente H.
4. Sobre la pantalla de la tarjeta Mini-DK2 se mostrarán de forma continua: la distancia recorrida medida (en cm para el avance y ° para los giros) y la tensión de alimentación (V).
5. Una vez programada la secuencia es necesario presionar un pulsador en la Mini-DK2 para que comience el movimiento. Dicha secuencia debe poder ser modificada en cualquier momento a través del puerto serie correspondiente.
6. Además, se ha de avisar con una señal acústica cuando el móvil avance, con una señal acústica ("Beep") intermitente.

Opcionalmente se podrá programar la intermitencia del aviso acústico de modo que su frecuencia (en pulsos por minuto) sea igual al porcentaje de velocidad de movimiento.

La Figura 3 muestra el diagrama temporal de la señal acústica a generar para la secuencia:

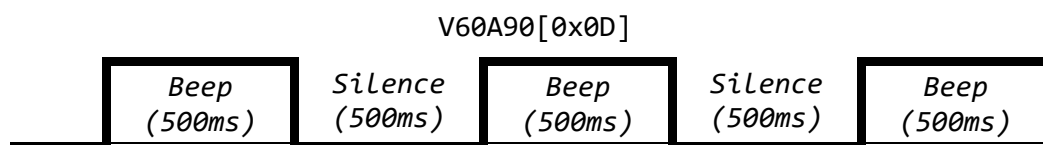


Figura 3. Ejemplo de movimiento hacia adelante de 90cm a velocidad 60% del máximo (V60).

## 4. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y DISPOSITIVOS A EMPLEAR.

### 4.1. Plataforma o chasis del robot.

La plataforma mecánica del robot debe tener un tamaño adecuado para permitir el montaje de los diferentes dispositivos del robot: dos motores de corriente continua con reductora, tres ruedas (2 ruedas motrices y una rueda loca), la propia tarjeta Mini-DK2, la batería y otros circuitos electrónicos auxiliares.

Debe estar fabricado en cualquier tipo de material rígido con una superficie ligeramente superior a la de la tarjeta Mini-DK2. Una buena opción sería metacrilato, espuma o contrachapado (madera laminada) de entre 2 y 3 mm de espesor. En la Figura 5 se muestran varios ejemplos del aspecto final del robot.

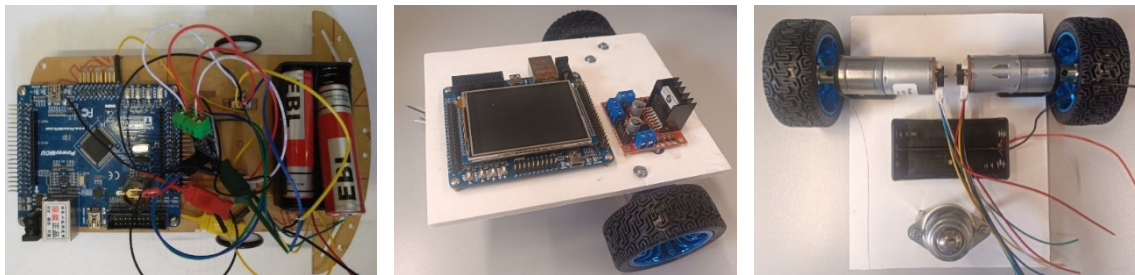


Figura 5. Ejemplos del aspecto final del robot.

Se precisan dos soportes para sujetar los motores a la plataforma, las ruedas y la rueda loca que da estabilidad al sistema. En la Figura 4 se muestra el aspecto físico y las dimensiones de estos elementos. Nótese que el diámetro de las ruedas es de 67mm. Este dato deberá tomarse en consideración para el cálculo de la distancia recorrida por el robot.



Figura 4. Aspecto físico y dimensiones del conjunto motor-rueda motriz y de la rueda loca.

#### 4.1.1. Referencias.

<https://es.aliexpress.com/item/1005001279982165.html>

<https://es.aliexpress.com/item/32890317145.html>

### 4.2. Motores con encoder.

El motor a utilizar es el modelo JGA25-370 DC 6V/170 rpm. Se alimenta con tensiones de hasta 6V e incorpora un encoder incremental en el eje del motor que permite determinar la posición de dicho eje. Para ello dispone de dos sensores de efecto Hall que, junto con el correspondiente circuito acondicionador, proporcionan dos señales digitales en cuadratura (desfasadas 90°). Dichas señales corresponden a los dos canales (A y B) del encoder. El desfase entre ambas señales permite determinar el sentido de giro, mientras que la velocidad de giro es proporcional

a la frecuencia de cualquiera de ellas. La Figura 6 muestra el aspecto del motor acoplado a la rueda (cuyo diámetro es de 67mm) así como el código de color empleado por cada uno de los cables del conector. Además, en ella se indica que el encoder empleado proporciona 11 pulsos por vuelta ( $N = 11 \text{ ppr}$ ).

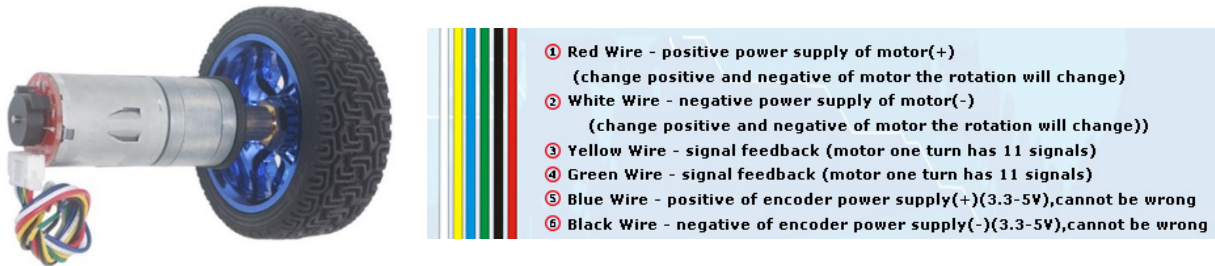


Figura 6. Apariencia física y descripción de señales del motor JGA25-370.

Nótese que el encoder incremental está montado sobre el eje del motor, no sobre el eje de la reductora unida a la rueda. Este hecho ha de tomarse en consideración a la hora de calcular el desplazamiento de la rueda en función de los pulsos detectados en las señales en cuadratura.

La Tabla 1 muestra las características de los motores para la versión de 6V y con diversas reductoras que ofrece el fabricante para obtener distintos valores de par motor. El utilizado para el proyecto es el modelo 6V/170 rpm.

Tabla 1. Características electromecánicas del motor DC JGA25-370 para distintas reductoras.

| Reduction ratio | Rated Volt<br>V | No Load      |               | AT Load         |              |              | STALL            |              | Gearbox Length<br>mm |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------|-----------------|--------------|--------------|------------------|--------------|----------------------|
|                 |                 | SPEED<br>RPM | CURRENT<br>mA | Torque<br>KG.cm | SPEED<br>RPM | Current<br>A | TOGQCE<br>KG..CM | CURRENT<br>A |                      |
| 4.4             | 6               | 1360         | 100           | 0.1             | 1000         | 0.45         | 0.35             | 1.8          | 17                   |
| 9.6             | 6               | 620          | 100           | 0.22            | 450          | 0.45         | 0.75             | 1.8          | 17                   |
| 21.3            | 6               | 280          | 100           | 0.5             | 220          | 0.45         | 1.7              | 1.8          | 19                   |
| 35              | 6               | 170          | 100           | 0.8             | 130          | 0.45         | 2.8              | 1.8          | 21                   |
| 46              | 6               | 130          | 100           | 1               | 100          | 0.45         | 3.6              | 1.8          | 21                   |
| 78              | 6               | 77           | 100           | 1.8             | 60           | 0.45         | 6.2              | 1.8          | 23                   |
| 103             | 6               | 60           | 100           | 2.4             | 46           | 0.45         | 8.2              | 1.8          | 23                   |
| 171             | 6               | 35           | 100           | 4               | 27           | 0.45         | 9                | 1.8          | 25                   |
| 226             | 6               | 26           | 100           | 5.2             | 20           | 0.45         | 9                | 1.8          | 25                   |
| 377             | 6               | 16           | 100           | 8.4             | 12           | 0.45         | 9                | 1.8          | 27                   |
| 500             | 6               | 12           | 100           | 9               | 9            | 0.45         | 9                | 1.8          | 27                   |

La Figura 8 muestra la señal de salida del encoder en cuadratura, sus características eléctricas y el diagrama interno.

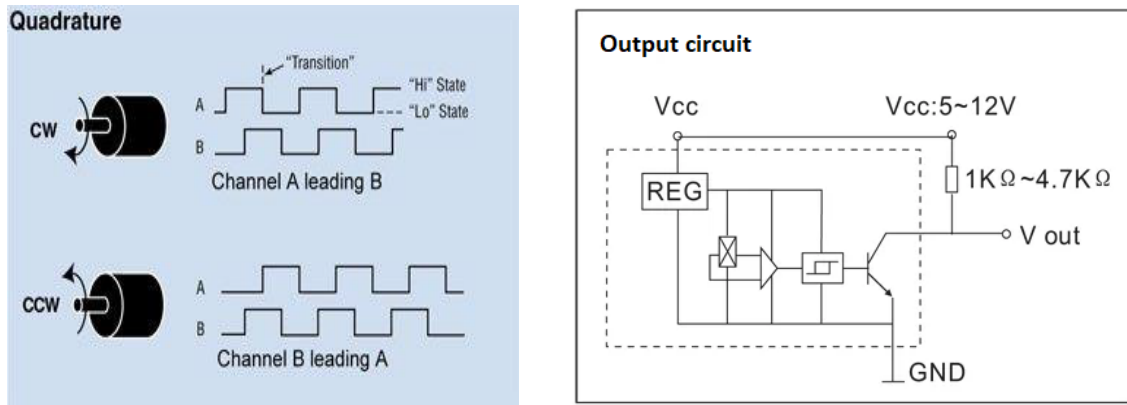
#### 4.2.1. Referencias.

<https://es.aliexpress.com/item/1005001279982165.html>

### 4.3. Driver para motores (L298N).

Se trata de un dispositivo que incorpora un doble puente en H (con transistores bipolares) que conectado a cada motor permite controlar la velocidad y sentido.

Tal y como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 7 cada uno de los puentes A y B utiliza 3 entradas de control. Para el primero de esos puentes (puente A) sus entradas se denominan **EnA**, **In1** e **In2**. La entrada de habilitación (**EnA**) habilita los transistores del puente, de manera que si dicha entrada se fija a nivel bajo todos los transistores permanecerán cortados y por tanto el motor sin alimentar (independientemente del valor de **In1** e **In2**).



| Specifications         | Code             | Test conditions                                  | Min | Typ. | Max | UNITS |
|------------------------|------------------|--------------------------------------------------|-----|------|-----|-------|
| Input voltage          | Vcc              | ---                                              | 4.5 | --   | 24  | V     |
| Input current          | I <sub>ce</sub>  | ---                                              | --  | 14   | 20  | mA    |
| Output current         | I <sub>c</sub>   | V <sub>ce</sub> =12V; Gauss<-170                 | --  | <0.1 | 20  | mA    |
| Output leakage current | I <sub>cex</sub> | Output open; 25°C[77°F]                          | --  | --   | 10  | μA    |
| Output rise time       | T <sub>r</sub>   | R <sub>L</sub> =820Ω; C <sub>L</sub> =20pF; 25°C | --  | 0.5  | 1.5 | μs    |
| Output fall time       | T <sub>f</sub>   | R <sub>L</sub> =820Ω; C <sub>L</sub> =20pF; 25°C | --  | 0.2  | 1.5 | μs    |

Figura 8. Señal de salida del encoder, circuito asociado y características eléctricas.

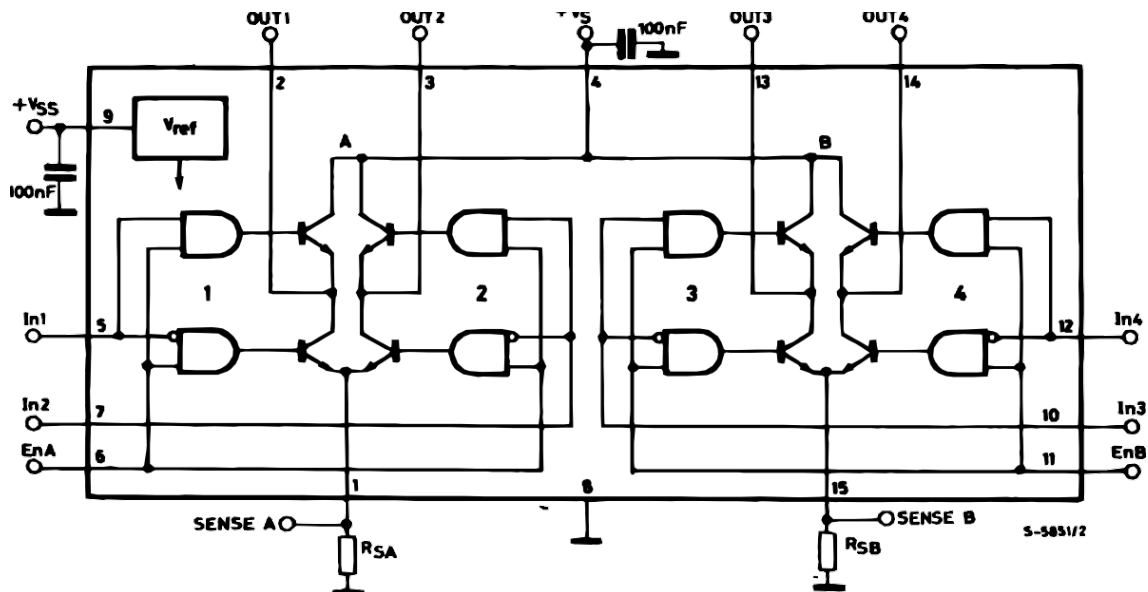


Figura 7. Diagrama de bloques interno del amplificador no lineal L298N.

Atendiendo a la notación de la Figura 7, la entrada **In<sub>x</sub>** controla la rama **x**, es decir, **In1** controla la rama 1 e **In2** la rama 2. Si el puente A está habilitado (**EnA** a nivel alto), al fijar a nivel alto la entrada **In<sub>x</sub>** conducirá el transistor superior de la rama asociada y si se fija a nivel bajo el inferior. Esto mismo es extensible al puente B.

Para excitar el motor **In1** e **In2** han de tomar valores complementarios. Si **In1** está a nivel alto e **In2** a nivel bajo el motor girará en un sentido (p.e. sentido horario o de avance). De forma similar, si **In1** se fija a nivel bajo e **In2** a nivel alto el motor girará en el otro sentido (p.e. sentido antihorario o de retroceso). Finalmente, si **In1** = **In2**, se cortocircuitan los devanados del motor, lo que provoca su parada rápida. Cuando **In1** e **In2** tienen valores diferentes, el motor gira en



un sentido o en el otro dependiendo de los valores que tomen. En la Figura 9 puede verse la tabla de verdad que indica el funcionamiento para el caso del puente B.

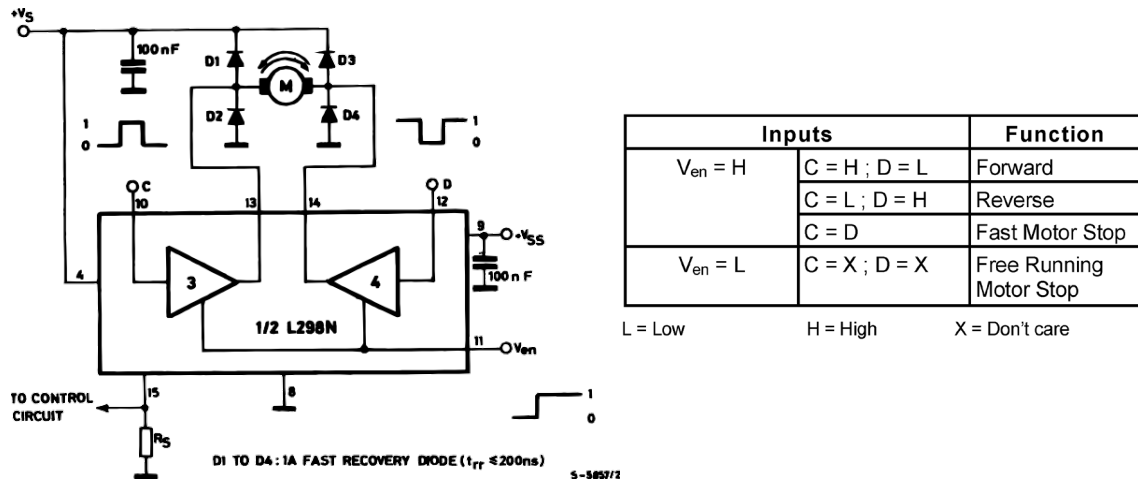


Figura 9. Diagrama de conexión de un motor al L298 y tabla de verdad.

En un motor de corriente continua la velocidad de giro en vacío (sin carga) es proporcional a la tensión en sus terminales (factor  $rpm/V$ ). Dado que se propone usar un amplificador no lineal se le ha de aplicar a su entrada una señal PWM (*Pulse Width Modulation*). Durante su operación el periodo de una señal PWM permanece constante por lo que su valor medio o componente continua será proporcional a su tiempo en alto  $t_H$ , o lo que es lo mismo, a su ciclo de trabajo  $d$ . En estas condiciones, según la notación de la Figura 8,  $V_{motor} = d \cdot V_s$

Atendiendo al comportamiento descrito, la generación de esta señal PWM en bornes del motor se puede realizar de dos maneras:

- Introduciendo una señal PWM por la entrada **Enable** para controlar la velocidad y fijar el sentido con **IN1** e **IN2** conectados al microcontrolador.
- Fijando la entrada **Enable** a  $V_{cc}$ , introduciendo una señal PWM por **IN2** (por ejemplo) para controlar la velocidad y utilizando **IN1** para controlar el sentido. En este caso hay que tener en cuenta que al cambiar de sentido hay que complementar el valor de la señal PWM si se quiere que vaya a la misma velocidad (Figura 10).

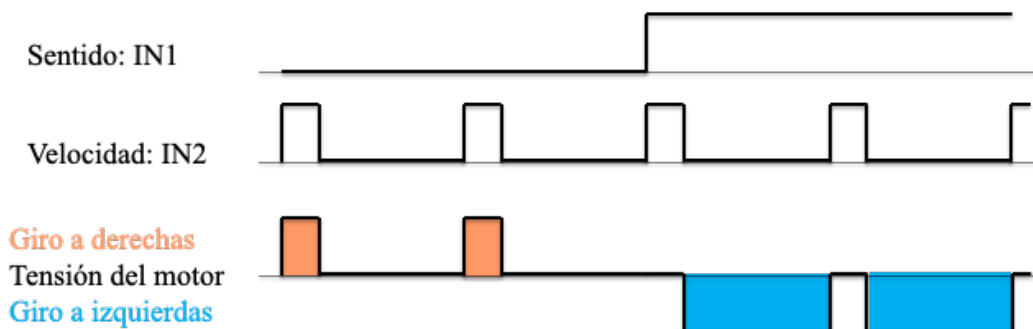


Figura 10. Señales de control de la velocidad y sentido mediante IN1 e IN2.

El L298 utiliza dos entradas de alimentación:  $V_{ss}$  para la electrónica digital interna (5V) y otra denominada  $V_s$  para el doble puente (5-36V) para la que la tensión aplicar dependerá de la tensión de alimentación del motor utilizado. Los puentes en H también se suministran como módulos o circuitos PCB que incluyen tanto el L298 como los componentes externos y conectores que precisa para su funcionamiento. La Figura 12 muestra el módulo de potencia usado.

**Features & Specifications**

- Driver Model: L298N 2A
- Driver Chip: Double H Bridge L298N
- Motor Supply Voltage (Maximum): 46V
- Motor Supply Current (Maximum): 2A
- Logic Voltage: 5V
- Driver Voltage: 5-35V
- Driver Current: 2A
- Logical Current: 0-36mA
- Maximum Power (W): 25W
- Current Sense for each motor
- Heatsink for better performance
- Power-On LED indicator

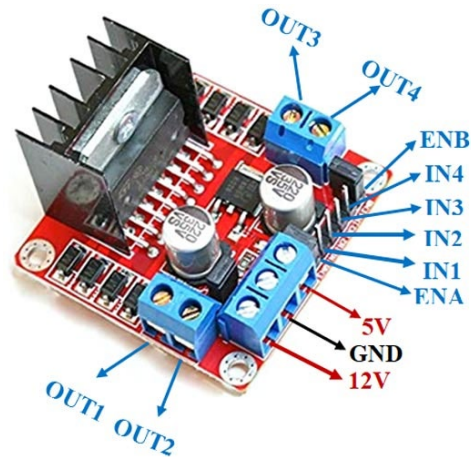


Figura 12. Aspecto físico y diagrama de conexionado de la tarjeta de control de motores basada en el L298N.

Por último, la Figura 11 muestra el esquema eléctrico del citado módulo.

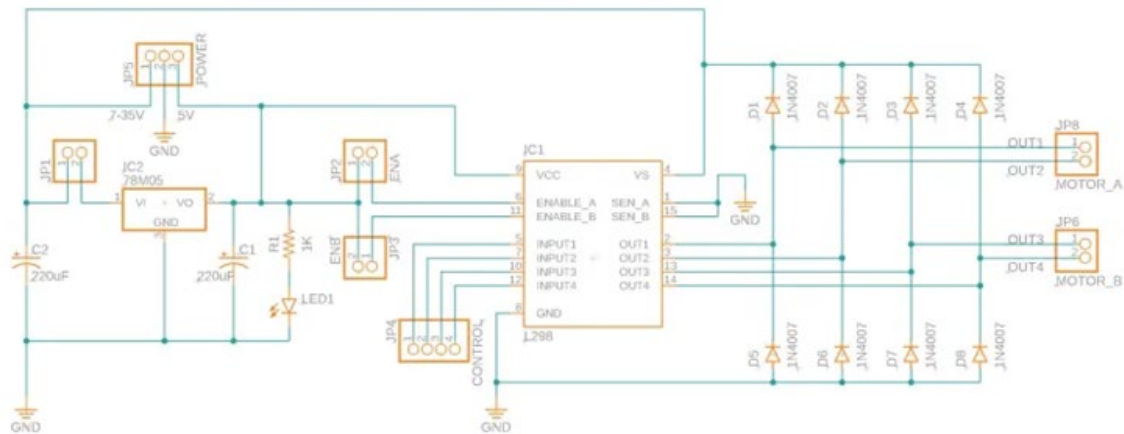


Figura 11. Esquema eléctrico de la tarjeta de control de motores basada en el L298N.

#### 4.3.1. Referencias.

<https://es.aliexpress.com/item/1005004177699678.html>

#### 4.4. Amplificador de audio y altavoz.

Para reproducir una señal acústica de alarma cuando la temperatura supera un determinado umbral, es necesario generar una señal senoidal (un tono) que excite un altavoz. Esta forma de onda se puede generar fácilmente mediante un DAC (p.ej. el incluido en el microcontrolador) pero esta salida no tendrá la potencia suficiente para excitar el altavoz, por lo que será necesario amplificar en corriente la señal procedente del DAC.

Para ello se puede utilizar un amplificador operacional que disponga de un ancho de banda suficiente y sea capaz de proporcionar la suficiente corriente de salida para atacar a un altavoz con una baja impedancia (4 u 8  $\Omega$  típicamente). Una alternativa interesante es el uso de amplificadores de audio como el LM386. Además, existen módulos PCB que incorporan este chip, como el mostrado en la Figura 13, que facilitan el montaje.

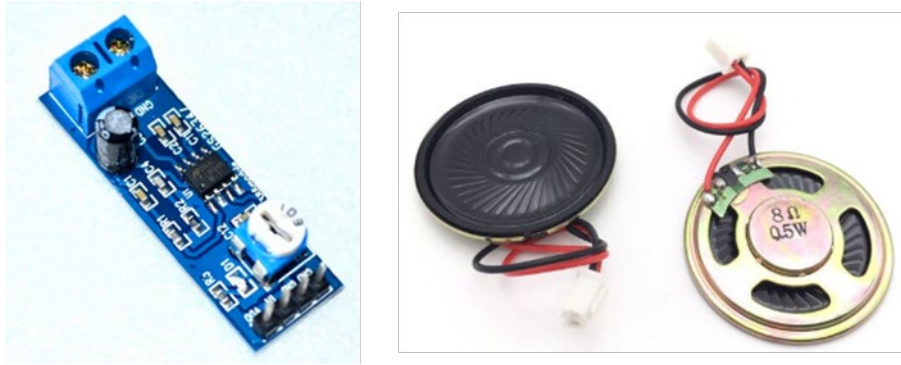


Figura 14. Módulo PCB de amplificación de audio basado en el LM386 y altavoz.

Otro tipo de amplificador, en este caso estéreo, y que por su bajo coste y rendimiento puede servir para atacar a un pequeño altavoz es el PAM8403. Existen pequeños PCBs en los que viene ya montado para facilitar el cableado, pues se trata de un chip de montaje superficial o SMD. En la Figura 14 se muestra un ejemplo de tarjeta con este amplificador (estéreo) y su versión mono (PAM8302).

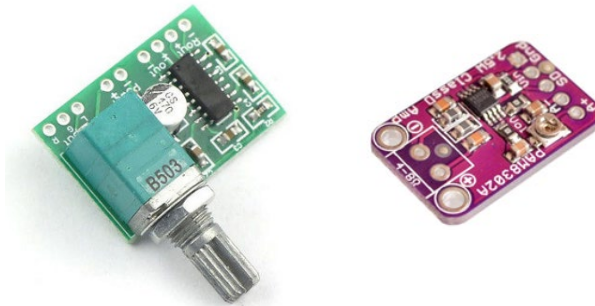


Figura 13. Módulo PCB de amplificación de audio basado en el PAM8403 (stereo) y PAM8302 (mono).

#### 4.4.1. Referencias.

<https://es.aliexpress.com/item/32686434452.html>

<https://es.aliexpress.com/item/1084746279.html> (recomendado)

<https://es.aliexpress.com/item/32923423569.html>

#### 4.5. Pantalla gráfica (HY28A/B).

El módulo HY28A/B es una pantalla gráfica de 2.8" basada en un TFT táctil y de color que se monta sobre la tarjeta Mini-DK2. Tiene una resolución de 320x240 pixeles y está basado en el controlador ILI9320/5.

El módulo se suministra como un PCB que incluye, además del TFT y el controlador ILI9320/5, un circuito de interface con el módulo táctil así como una serie de LEDs para controlar la retroiluminación. El módulo dispone de dos conectores de 20 terminales con los que se monta sobre la tarjeta Mini-DK2.

Hay dos formas de comunicarse con el controlador del display: mediante un bus paralelo de 16 bits o mediante una interface SPI. La interface paralela permite alcanzar una elevada tasa de transferencia pero requiere el uso de un elevado número de terminales del microcontrolador. Por el contrario, la interface serie reduce el número de terminales necesarios a costa de reducir

la velocidad de comunicación. La selección de uno u otro modo se realiza mediante un conjunto de resistencias SMD montadas en la parte posterior del PCB.

La Figura 15 muestra el aspecto físico del módulo HY28A/B así como su diagrama de conexión a la tarjeta Mini-DK2.

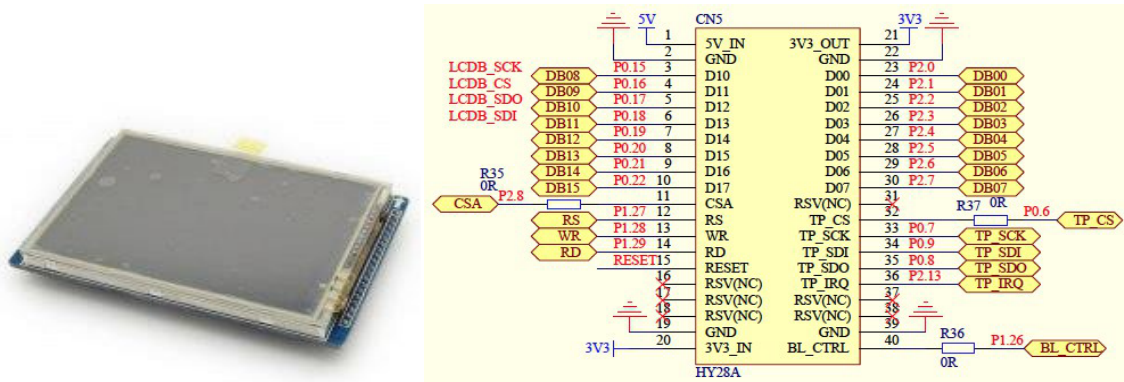


Figura 15. Pantalla gráfica HY28A/B y diagrama de conexión a la Mini-DK2.

#### 4.5.1. Referencias.

[https://www.hotmcu.com/28-touch-screen-tft-lcd-with-all-interface-p-63.html?cPath=6\\_16](https://www.hotmcu.com/28-touch-screen-tft-lcd-with-all-interface-p-63.html?cPath=6_16)

#### 4.6. Adaptador Bluetooth serie HC06.

El módulo HC06 (o HC05) es muy utilizado para proporcionar conectividad Bluetooth a un microcontrolador a través de uno de sus puertos serie asíncronos (Figura 16). El módulo tiene dos modos de funcionamiento, uno de configuración y otro de transmisión de datos transparente que se seleccionan con el nivel de entrada en un pin al conectar la alimentación. La versión compatible con iOS es el HM-10.

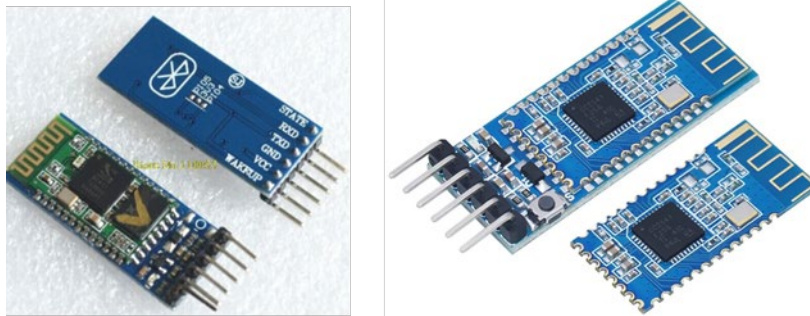


Figura 16. Aspecto del módulo HC06 soldado a un PCB (Izq.) y HM-10 (der.)

#### 4.6.1. Referencias.

[https://es.aliexpress.com/store/product/HC-06-paso-a-trav-s-de-serie-Bluetooth-inal-mbrica-del-m-dulo-de-comunicaci/1326062\\_32857133517.html](https://es.aliexpress.com/store/product/HC-06-paso-a-trav-s-de-serie-Bluetooth-inal-mbrica-del-m-dulo-de-comunicaci/1326062_32857133517.html)

<https://es.aliexpress.com/item/32826166129.html>

## 5. REALIZACIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto debe ser realizado por parejas de alumnos o de forma individual, y su evolución en el diseño del sistema, a través de hitos semanales o quincenales, será evaluada en el laboratorio (evaluación continua) y en una prueba final.

### 5.1. Planificación.

Con objeto de seguir un plan de trabajo en donde se aborde la implementación de todo el sistema en base al avance en los contenidos teóricos de la asignatura (PBL) y de manera modular se proponen una serie de pautas o hitos. La Tabla 2 muestra la planificación establecida.

Tabla 2. Planificación del desarrollo del proyecto.

| Desarrollo HW/SW                                                                                                                                                                                                                                                                          | Semanas  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Diagrama de bloques del sistema</b> , indicando los recursos utilizados del LPC1768 en base a la disponibilidad de ellos en la tarjeta Mini-DK2. Depuración.                                                                                                                           | <b>2</b> |
| <b>Hito 1: Generación de movimiento.</b> Generación de señales PWM para mover cada motor en diferentes direcciones.<br><b>Opcional:</b> Movimientos no-holonómicos, giros no-rectos, marcha atrás.                                                                                        | <b>3</b> |
| <b>Hito 2: Medida de movimiento:</b> Monitorización de la ruta seguida con TIMERS y señales GPIO.                                                                                                                                                                                         | <b>2</b> |
| <b>Hito 2: Entradas/Salidas analógicas.</b> Monitorización de tensión de batería con ADC. Generación de señal acústica mediante el DAC.<br><b>Opcional:</b> Señal acústica de intermitencia variable.                                                                                     | <b>2</b> |
| <b>Hito 4: Comunicación serie asíncrona.</b> Programación y monitorización de la secuencia de movimientos a través de la UART0.<br><b>Opcional:</b> Secuencia de movimientos enviada a través de Bluetooth.<br><b>Opcional:</b> Medida de variables ambientales a través de puerto serie. | <b>2</b> |
| <b>Integración de hitos y verificación funcional.</b> Integración y verificación de las funcionalidades opcionales. Testeo y validación del sistema global.                                                                                                                               | <b>2</b> |

### 5.2. Evaluación.

Por lo tanto, al finalizar el proyecto, se realizará una evaluación presencial final para evaluar el funcionamiento y el diseño de la solución propuesta. Además, los estudiantes deberán redactar una documentación técnica que describa el funcionamiento y las limitaciones del sistema, lo que permitirá que una persona cualificada lo construya por completo y realice cualquier modificación de hardware o software.

De esta forma, se considerarán tres herramientas para evaluar el proyecto: **evaluación continua, prueba final presencial e informe del proyecto.**

Como resultado de estas tres herramientas, **completar los hitos obligatorios proporcionarán el 70% de la calificación del laboratorio.** Las secciones opcionales, listadas a continuación, pueden contribuir con el **30% restante (cada una con un 10%).**

- *Movimientos no-holonómicos, giros no-rectos, marcha atrás.*
- *Señal acústica de intermitencia variable.*
- *Secuencia de movimientos enviada a través de Bluetooth.*
- *Medida de variables ambiental a través de puerto serie.*

- *Otras mejoras a valorar por el profesorado.*

La obtención de la puntuación máxima en los distintos apartados dependerá de: **el grado de consecución, funcionamiento correcto, calidad de la memoria, claridad de la exposición, etc.**

### 5.3. Memoria técnica.

La memoria debe constar (al menos) de los siguientes apartados:

1. Portada: Indicando los nombres de los componentes del grupo.
2. Índice paginado.
3. Introducción: breve descripción de los objetivos y explicación del sistema completo.
4. Descripción hardware.
  - a. Diagramas de bloques, esquemas y conexiones debidamente justificados.
  - b. Esquema completo de todo el circuito.
5. Descripción software
  - a. Modelado del comportamiento: Flujograma, máquina de estados que permita describir el diseño software completo.
  - b. Descripción de cada uno de los módulos (archivos .c) en que se divide el proyecto,
  - c. Descripción de las funciones que incluye cada módulo, explicando al menos:
    - i. La misión de la función, y la descripción de parámetros de entrada y salida.
    - ii. Su funcionamiento interno cuando no sea evidente, para lo que se usará de nuevo herramientas estándar de descripción software como máquinas de estados, diagramas de flujo, pseudocódigo, etc.
    - iii. Las variables globales utilizadas y la justificación de su uso.
6. Conclusiones. En este apartado se deben describir las ideas de índole técnico deducidas tras la realización del proyecto. Deben incluirse aquellos aspectos no previstos al comienzo, como, por ejemplo: desviaciones de alguno de los componentes respecto al comportamiento teórico o de la descripción proporcionada por el fabricante, etc. No puede limitarse en ningún caso a un mero resumen del proyecto o una simple descripción subjetiva del grado de satisfacción obtenido. Recuerde que la memoria es un documento técnico.
7. Anexos
  - a. Anexos con código fuente comentado (**CourierNew/Consolas** tamaño máx. de **8p**).

Es importante dar formato al código una vez exportado al documento Word. *Se recomienda usar editores de código fuente como Notepad++, capaces de exportar con formato de texto enriquecido (RTF) el código fuente copiado. Esto permite que al pegarlo en Word se mantenga el resaltado sintáctico (syntax highlighting) del código fuente.*

### 5.4. Prueba final.

La prueba final del proyecto se realizará en una fecha propuesta por los profesores.

Con anterioridad a la fecha de evaluación, se deberá entregar a los profesores la memoria técnica acompañada del proyecto software. Esta documentación deberá coincidir con la presentada el día de la evaluación, o, en caso necesario se deberá indicar a los profesores de forma justificada las modificaciones añadidas antes de la evaluación.

El día de la evaluación, todos los miembros del grupo deberán presentar su proyecto para ser evaluados por los profesores de la asignatura de forma conjunta o individual, de modo que éstos puedan explicar y responder a las preguntas que se les realicen sobre el mismo.