

CONTROL DE GIRO Y VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Juan Diego Scarini

e-mail: jd.scarini@gmail.com

Ricardo Alberto Alonso

e-mail: ricardoalonso2@gmail.com

Rodrigo Cadorna Di Luca Ferch

e-mail: patacon.rdf@gmail.com

RESUMEN: Este sistema de control de giro y velocidad de motor de C.C. por PWM se realiza bajo consignas del trabajo práctico integrador para la Evaluación Globalizadora "A" de la cátedra de Técnicas Digitales III, donde se consolidarán los conocimientos alcanzados en la programación de sistemas embebidos bajo un sistema operativo en tiempo real (FreeRTOS), basándose para su implementación en el μC LPC1769.

PALABRAS CLAVES: Motor de CC, Control de velocidad y giro, encoder óptico, Driver L298, RPM, PWM, LPC1769, FreeRTOS.

1 INDICE

1 INDICE.....	1
2 INTRODUCCIÓN.....	1
3 FUNDAMENTACION TEÓRICA DEL HARDWARE Y DEL SOFTWARE.....	2
4 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO.....	2
4.1 PLACA DE DESARROLLO (NXP Semiconductors LPC 1769).....	3
4.2 PANTALLA (DISPLAY).....	3
4.3 PULSADORES.....	3
4.4 LED INDICADORES.....	4
4.5 MODULO CONTROL DE MOTOR.....	4
4.6 DRIVER PUENTE H L298.....	4
4.6 SELECTOR DE VELOCIDAD.....	4
4.7 MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.....	5
4.8 SENSOR DE VELOCIDAD.....	5
4.9 SOPORTE DE MOTOR.....	5
5 DIAGRAMA EN BLOQUES CON INTERCONEXION DE PINES.....	5
6 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	5
7 ALCANCE DE LOS SENSORES Y ACTUADORES:...	6
8 DISPOSITIVOS DE CONTRASTE.....	7
9 ANALISIS DE TEST POINT.....	7

2 INTRODUCCIÓN

Los motores de corriente continua tienen la ventaja de poder regular la velocidad de su eje de forma relativamente sencilla, la velocidad es directamente proporcional a la tensión de excitación de los bobinados. Son utilizados ampliamente en trenes, automóviles eléctricos y en aquellos dispositivos que utilizan baterías o pilas y en aplicaciones en las que es de importancia el poder regular continuamente la velocidad del eje y tener un torque de arranque elevado.

Para su funcionamiento necesita de dos circuitos eléctricos distintos, uno de campo magnético y otro de armadura. El campo magnético permite la transformación de la energía eléctrica recibida por la armadura en energía mecánica entregada al eje, este puede generarse por medio de un imán permanente o por un electroimán. La armadura consiste en un grupo de bobinados alojados en el rotor, el cual contienen un ingenioso dispositivo denominado colector mediante el cual se recibe la corriente continua desde una fuente exterior y se convierte la energía eléctrica en energía mecánica que se entrega a través del eje del motor. Como en toda máquina que se transforma energía hay un pequeño porcentaje de pérdidas, en los carbones del colector (chisporroteo), en la resistencia del cobre de los bobinados, en el hierro de la armadura (corrientes parásitas e histéresis), y en rozamientos (fricción de los rodamientos del eje y del aire).

Para la realización de este proyecto, nos piden controlar la velocidad de giro del motor de corriente continua por medio de la técnica de PWM (Pulse Width Modulation). La modulación por ancho de pulso consiste en una señal de onda cuadrada que no siempre tiene la misma relación entre el tiempo que esta en nivel alto y el tiempo que esta en nivel bajo, como la frecuencia de la señal es fija, a la relación entre tiempo en alto y el periodo de la señal se la conoce como ciclo de trabajo o Duty Cycle y este es el parámetro que se modifica en la técnica de PWM. Se la llama modulación por ancho de pulso, porque literalmente se varia el ancho del pulso del nivel alto.

$$DC = \frac{T_{on}}{T} \cdot 100$$

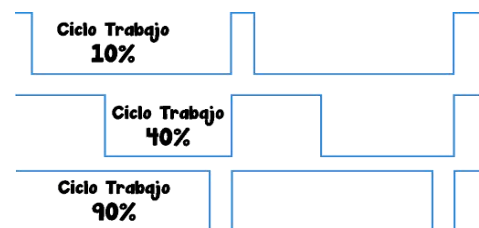


Figura 1 - Señales PWM 10-40-90

Esta técnica permite modificar el valor de tensión media de una señal, modificando el ciclo de trabajo de dicha señal, por medio de la modulación con PWM podemos cambiar la velocidad del motor, a mayor ciclo de trabajo, mayor velocidad. Si se reduce el ciclo de trabajo se reduce la velocidad.

3 FUNDAMENTACION TEÓRICA DEL HARDWARE Y DEL SOFTWARE.

Para cumplir con lo requerido se opta por utilizar un micro motor de corriente continua con reductor, el cual sera controlado con un modulo driver puente H. Este modulo nos permite controlar el sentido y velocidad de giro de motores mediante señales TTL.

Para la medición de la velocidad de giro y detección de movimiento del eje del motor, se implemento un encoder óptico conformado por una barrera infrarroja y un disco ranurado acoplado al eje, que se diseño e imprimió en 3D con 12 ranuras por vuelta. Este dispositivo de medición de velocidad angular nos brinda una precisión adecuada para realizar el control de velocidad y poder informar por medio de un display la velocidad actual de rotación del eje y también poder determinar con exactitud el momento en que el motor se detenga para poder realizar el cambio de dirección. Dicha medición de frecuencia de rotación se realiza por medio de la técnica "Timer input capture" para la de medición del periodo de la señal del encoder.

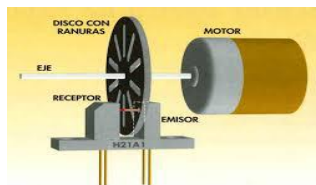


Figura 2 - Encoder óptico

En cuanto a la forma de variar la velocidad de 0% a 100%, se implemento un selector por medio de un potenciómetro, cuya patilla del cursor se la conecta a una entrada de ADC del micro para poder medir la posición de velocidad seleccionada.

Para realizar el cambio de dirección de giro del motor se utilizaron dos tact switch, uno para giro izquierdo y otro para derecho. También se utilizaron tres leds, rojo para indicar el giro hacia la izquierda, verde para indicar el giro hacia la derecha y ambar para observar visualmente por medio de su variación de intensidad la salida la salida de PWM. Los pulsadores serán conectados al microcontrolador en sus respectivos puertos configurados para que se genere una misma interrupción cada vez que sean apretados.

Para la implementación del software embebido, se diseñará bajo en un sistema operativo en tiempo real basado en FreeRTOS, el cual administrará el tiempo y recursos del CPU para el cumplimiento de las tareas involucradas. En la implementación del código se ha resuelto con la implementación de cuatro colas, las cuales interactúan con las tres tareas propuestas.

4 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

Para realización del hardware se empleo una placa experimental perforada donde se realiza la interconexión de todos los módulos y los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto.

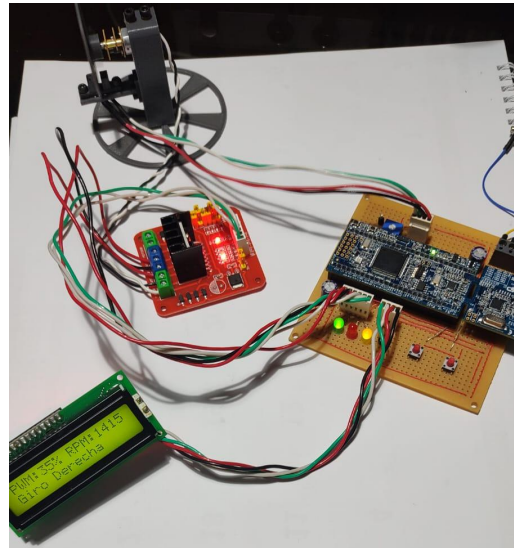


Figura 3 - Proyecto completo terminado

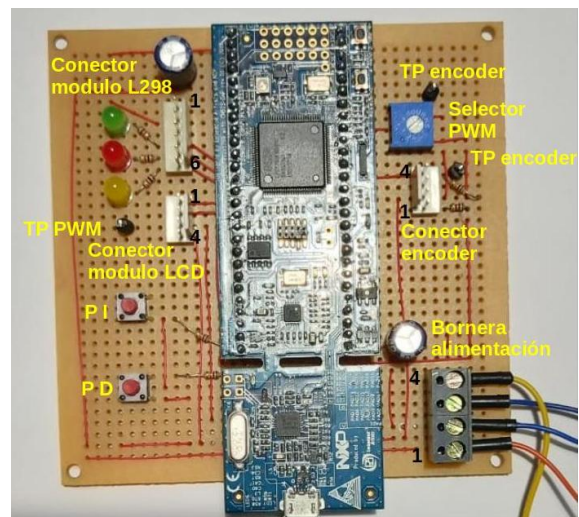


Figura 4 - Descripción de conectores y borneras

- Conector LCD:

1. LCD_SCL
2. LCD_SDA
3. 5 VDC
4. MASA

- Conector modulo L298:

1. +VMS
2. MASA
3. 5 VDC
4. GIRO_D_MOTORA_IN2
5. GIRO_I_MOTORA_IN1
6. PWM_MOTORA_ENA

• Conector encoder:

1. Diodo_E+
2. E_MASA
3. D_MASA
4. FOTO TRANSISTOR_D+

• Bornera alimentación:

5. +VCC_5VDC
6. -VCC_MASA
7. -VMS_MASA
8. +VMS_6VDC

4.1 PLACA DE DESARROLLO (NXP Semiconductors LPC 1769)

El MCU con arquitectura Arm® 32-bit Cortex®-M3 , con 512 kB de memoria Flash, y hasta 64 Kb de memoria SDRAM, Ethernet, USB 2.0, 2 x CAN 2.0, 12-bit ADC y 10-bit DAC, 3 x SSP/SPI, 3 x I2C, 1 x I2S, 4 x USARTs, 1 x PWM, RTC, DMA, 4 x 32 bit TIMERS/COUNTERS.

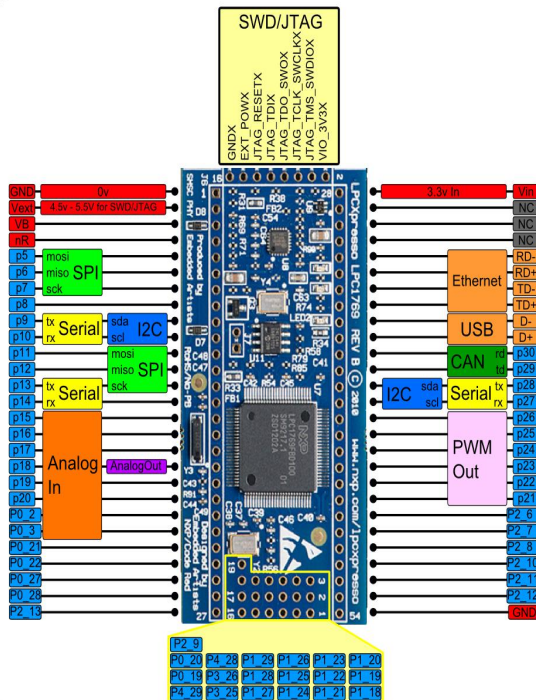


Figura 5 - NXP Semiconductors LPC 1769

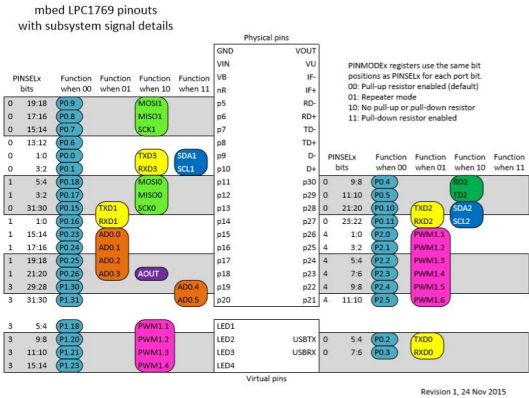


Figura 6 - NXP Semiconductors LPC 1769 pinouts

4.2 PANTALLA (DISPLAY)

- Fabricante: Winstar
- Modelo: LCD 1602, con módulo I²C
- 16 caracteres x 2 líneas
- Caracteres de 5 x 8 puntos
- Tamaño carácter: 5,23 x 3 mm
- Caracteres color blanco
- Backlight: led color azul
- Controlador: HD44780
- Alimentación: 5 VDC
- Dimensiones del módulo: (80 x 35 x 11) mm.
- Área visible: (64,5 x 16) mm



Figura 7 - Módulo LCD 1602 con módulo I²C

4.3 PULSADORES

Se utilizan dos tact switch para seleccionar el cambio de giro.



Figura 8 - Tact Switch DIP

4.4 LED INDICADORES

Se utilizan 3 diodos led de 5 mm para la indicación de estados. Colores rojo, verde y ambar.

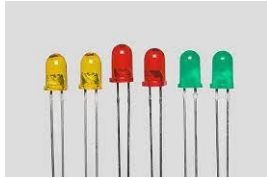


Figura 9 - Diodos led

4.5 MODULO CONTROL DE MOTOR

DRIVER PUENTE H L298

Especificaciones:

- Controlador: L298N Dual H Bridge DC Motor Driver IC
- Fuente de alimentación del motor Vms: +5 V a +35 V
- Corriente media máxima 2A
- pico de corriente Io: 3A
- Nivel de potencia lógico Vss: +5 V ~ +7 V (el regulador de 5V incorporado se puede usar si la potencia del motor es > 7.0V)
- Nivel lógico de potencia: 0 ~ 36mA
- Rango de entrada de la señal lógica: [Bajo: $-0.3\text{ V} \leq V_{in} \leq 1.5\text{ V}$] [Alto: $2.3\text{ V} \leq V_{in} \leq V_{ss}$]
- Disipación máxima de potencia: 20W (cuando la temperatura $T = 75$)
- Tamaño de la placa del conductor: 43 mm * 43 mm * 27 mm
- Indicadores de dirección LED
- Selector de fuente de alimentación lógica.

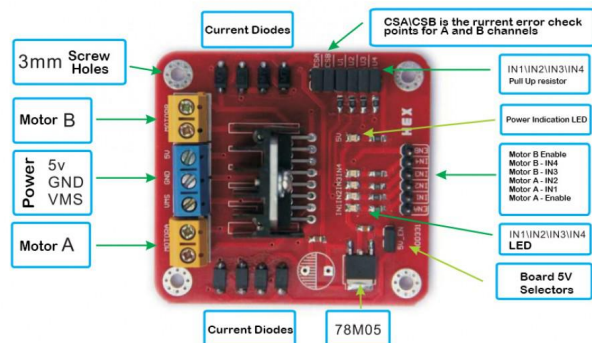


Figura 10 - Modulo doble puente H L298

Alimentación: Hay dos formas.

1. Utilizando una sola fuente, conectada a la entrada de 12V y con el Jumper para habilitar el regulador, aclarando que el voltaje de la fuente es el que soporta el motor. De esta forma la entrada de 5V no debe estar conectada a ninguna fuente, ya que en este pin están presentes 5V a través del regulador interno; pero se utilizar este pin como una salida de 5V, sin exceder los 500mA de consumo. Se recomienda hacer esta conexión para voltajes menores de 12V para no sobrecalentar el regulador.

2. Utilizando dos fuentes, una de 5V conectada a la entrada de 5V (para la lógica de control) y otra fuente con el valor del voltaje que trabaja el motor, conectada al pin de 12V. Para esto se tiene que desconectar el Jumper que deshabilitará al regulador. **(esta opción es la que se utiliza en nuestro proyecto)**

Control del modulo:

Los pines ENA, IN1, IN2 corresponden a las entradas para controlar el MOTOR A (OUT1 y OUT2).

De igual manera ENB, IN3, IN4 permiten controlar el MOTOR B (OUT3 y OUT4).

ENA y ENB, sirven para habilitar o deshabilitar sus respectivos motores, generalmente se utilizan para controlar la velocidad, ingresando una señal de PWM por estos pines. Si no se usan se deben de conectar los Jumper para que siempre estén habilitados.

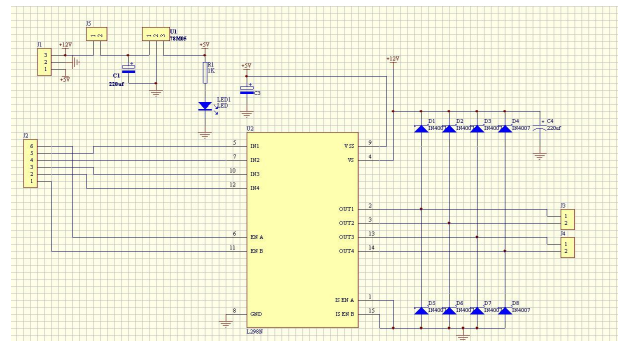


Figura 11 - Esquemático modulo puente H L298

4.6 SELECTOR DE VELOCIDAD

Se utiliza un potenciómetro rotativo lineal de 200 kohm



Figura 12 - Potenciómetro rotativo

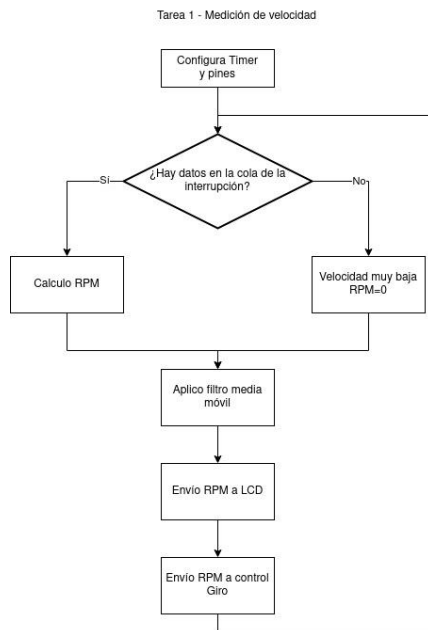


Figura 19 - Diagrama Tarea 1

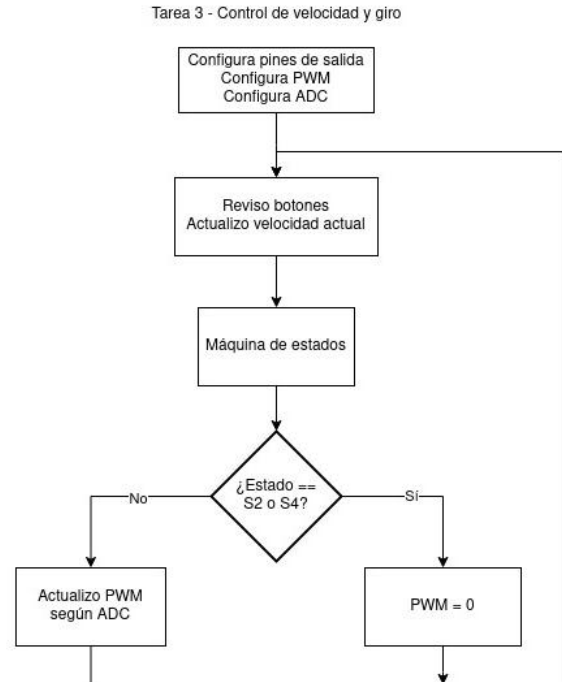


Figura 21 - Diagrama Tarea 3

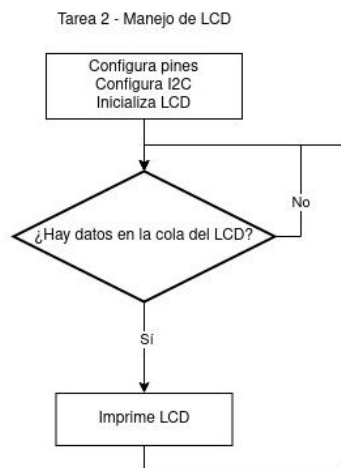


Figura 20 - Diagrama Tarea 2

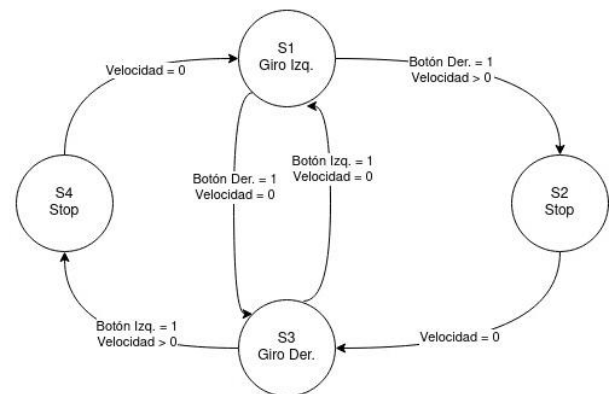


Figura 22 - Máquina de estado Tarea 3

7 ALCANCE DE LOS SENSORES Y ACTUADORES:

En la siguiente tabla se detalla el rango de medición, resolución y precisión de cada uno de los sensores y selectores:

Tabla 1. Especificaciones de dispositivos

Dispositivo	Rango	Resolución	Precisión	Unidad
Selector de velocidad	0 a 100	1	± 0,2	% PWM
Sensor velocidad rotacional	0 a 2000	1	± 1	RPM

8 DISPOSITIVOS DE CONTRASTE

Para la verificación de los dispositivos de medición, se utilizaron los siguientes instrumentos con su correspondiente certificado de calibración demostrando trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.

Sensor de velocidad rotacional (RPM):

Se comparo la indicación del LCD(RPM) contra un tacómetro Marca Lutron, modelo DT-1236L, SN AB20711, informe de calibración N° LCI 622/19 de fecha Marzo/2019, vencimiento Marzo/2025, emitido por LABCI.

Tabla 2. Resultados de la calibración

Selectores PWM	Indicación media	Valor de referencia medio	Error medio de indicación	Incertidumbre (k=2)
(%)	(RPM)			
0	0	0	0	-----
10	776,9	781,9	- 5,0	± 3,0
30	1398,3	1403,5	- 5,2	
50	1540,4	1545,2	- 4,8	
70	1602,7	1607,4	- 4,7	
99	1652,3	1657,2	- 4,9	

De los valores de la calibración del sensor de velocidad implementado, podemos concluir que el mismo tiene una muy buena precisión, ya que la repebilidad de los datos obtenidos esta dentro de ± 1 RPM, siendo que el tacómetro patrón tiene la misma resolución que la incógnita. Pero tiene un error sistemático de aproximadamente -5 RPM, que pueden deberse al método de adquisición de datos, ya que para este proyecto se implemento tomar el tiempo entre dos pulsos generados por el encoder, este tiempo es muy pequeño y podría haber una demora en la rutina en el arranque o parada del timer. Una forma distinta de medir la velocidad, sería el conteo de pulsos dentro de una ventana de tiempo mayor, y así lograr una mayor exactitud. Pero al ser un error sistemático y consistente lo podemos corregir, ya sea dentro del código antes de ser presentado por pantalla o tenido en cuenta por el usuario por medio de los datos de la calibración.

9 ANALISIS DE TEST POINT

Se han incluido tres puntos de prueba para la correcta verificación y detección de fallas en el circuito.

- **Salida PWM:** se utiliza para medir con osciloscopio la señal del PWM.
- **Entrada encoder:** Se puede medir la señal que envía el encoder con un osciloscopio, para ver la

forma de onda de la señal o directamente si el circuito de la barrera infrarroja esta fallando. También se lo puede utilizar para verificar el correcto funcionamiento del medidor de RPM, con el selector posicionado en PWM=0% (motor parado) se le inyecta una señal cuadrada de 3,3 v amplitud y frecuencia conocida para simular la salida del encoder y verificar la indicación en el LCD(RPM), este método de calibración es conocido como calibración por simulación.

$$RPM_{sim} = F_{sim} \times 60/12$$

- **Entrada selector de velocidad (ADC):** Se utiliza para medir la tensión de entrada al ADC, para verificar el correcto funcionamiento del potenciómetro selector.