



Granda Carrillo Marlon

grandacarrillo@hotmail.com

I.E.S. VALLECAS I

BRAZO ROBÓTICO

Resumen

Nuestro robot ha sido diseñado para la participación en el concurso de MadridBot, que se celebrará los días 24 y 25 de Marzo de 2009, se inscribirá en la modalidad de Prueba Libre y ha sido diseñado por un alumno de 2º Curso del Ciclo Formativo de Grado Superior de Desarrollo de Productos Electrónicos, que se imparte en el I.E.S. Vallecas I, hay que agregar que en lo referente al brazo ya se encontraba construido, lo que se ha hecho es un nuevo circuito de control y la programación del PIC16F877A para la realización de una serie de funciones.

1. Introducción.

El robot incorpora el microcontrolador PIC16F877A. Es capaz de moverse articuladamente en 6 ejes. Los movimientos se realizan mediante 6 motores paso a paso.

El primer motor A1 se corresponde con el movimiento vertical del hombro.

El movimiento de A2 se corresponde con el codo.

A3 se mueve como la cintura, aunque en una sola dirección, puede girar pero no inclinarse.

La combinación de B1 y B3 produce los mismos movimientos rotación hacia la izquierda o derecha de la mano.

B2 efectúa los de abrir y cerrar la mano.

2. Circuito Electrónico del Robot

El circuito electrónico del robot esta compuesto principalmente por un PIC16F877A, seis drivers L293B, un teclado hexadecimal, una LCD alfanumérica de 16x2 y el CI MAX232.

2.1 PIC16F877A

Principales características:

- Procesador de arquitectura RISC avanzada.
- Juego de solo 35 instrucciones de 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan 2.
- Hasta 8Kbytes de 14 bits para la Memoria de programa, tipo FLASH.
- Hasta 368 Bytes de memoria de Datos RAM.
- Hasta 256 Bytes de memoria de Datos EEPROM.
- Pines de salida compatibles para el PIC 16C73/74/76/77.
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas.
- Pila de 8 niveles.
- Modos de direccionamiento directo e indirecto.
- Power-on Reset.
- Temporizador Power-on y Oscilador Temporizador Stara-Up.
- Perro Guardián.
- Código de protección programable.
- Debugger In-Circuit
- Modo Sleep de bajo consumo.
- Programación serie en circuito con dos pines.
- Solo necesita 5v para programarlo en este modo.

- Voltaje de alimentación comprendido entre 2.5.5 V.
- Bajo consumo: <2mA valor para 5V y 4 Mhz; 20uA para 3V y 32 Mhz; <1uA en standby.

Dispositivos periféricos.

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescalador de 8 bits.
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescalador que puede incrementarse en modo sleep de forma externa por un cristal/clock.
- Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescalador y postescalador.
- Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Anchura de Impulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I²C (Master/Slave).
- USART/SCI (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bits.
- Puerto Paralelo esclavo (PSP).

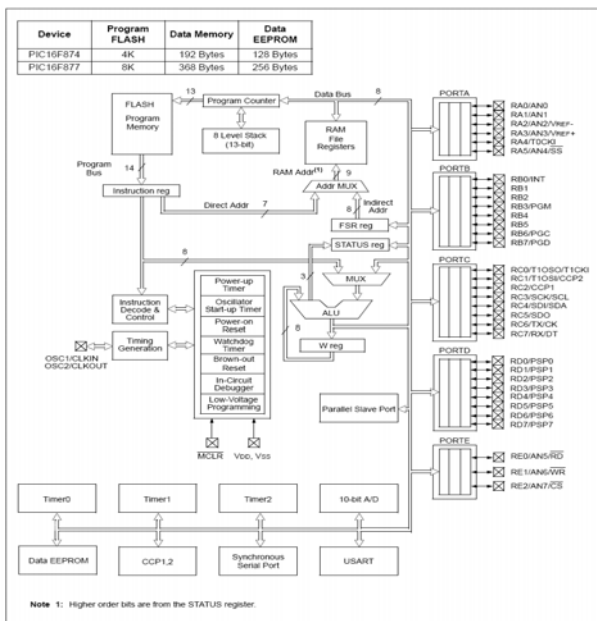


Fig. 1. Diagrama de bloques del PIC16F8XXA

2.2 L293B

El L293B es un driver de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 1A por canal. Cada canal es controlado por señales de entrada compatibles TTL y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación que desconecta las salidas de los mismos.

Dispone de una patilla para la alimentación de las cargas que se están controlando, de forma que dicha alimentación es independiente de la lógica de control.

La Figura 2 muestra el encapsulado de 16 pines, la distribución de patillas y la descripción de las mismas.

Pin	Nombre	Descripción	Patillaje
1	Chip Enable 1	Habilitación de los canales 1 y 2	
2	Input 1	Entrada del Canal 1	
3	Output 1	Salida del Canal 1	
4	GND	Tierra de Alimentación	
5	GND	Tierra de Alimentación	
6	Output 2	Salida del Canal 2	
7	Input 2	Entrada del Canal 1	
8	Vs	Alimentación de las cargas	
9	Chip Enable 2	Habilitación de los canales 3 y 4	
10	Input 3	Entrada del Canal 3	
11	Output 3	Salida del Canal 3	
12	GND	Tierra de Alimentación	
13	GND	Tierra de Alimentación	
14	Output 4	Salida del Canal 4	
15	Input 4	Entrada del Canal 4	

Figura 2.- Descripción de los Pines del L293B

Tabla 1. Descripción de pines del L293B

Diagrama de bloques

En la Figura 2, se muestra el diagrama de bloques del L293B. La señal de control EN1 activa la pareja de canales formada por los drivers 1 y 2. La señal EN2 activa la pareja de drivers 3 y 4. Las salidas OUTn se asocian con las correspondientes OUTn. Las señales de salida son amplificadas respecto a las de entrada tanto en tensión (hasta +Vss) como en corriente (máx. 1 A).

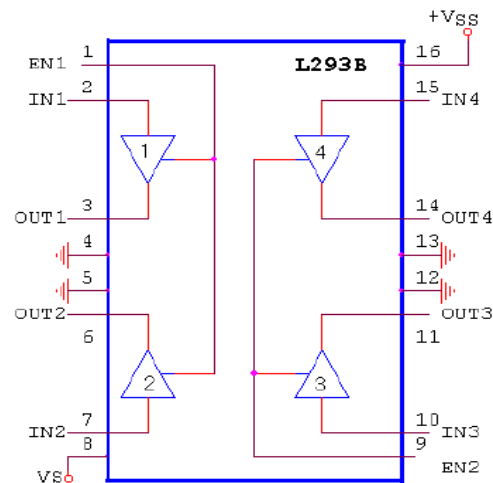


Figura 3.- Diagrama de bloques del L293B

Fig. 2. Diagrama de bloques del L293B

RANGOS ABSOLUTOS MAXIMOS

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidades
V _s	Tensión de alimentación para las cargas	36	V
V _{ss}	Tensión de alimentación de la lógica	36	V
V _i	Tensión de entrada	7	V
V _{inh}	Tensión de habilitación	7	V
I _{out}	Intensidad de pico de salida	2	A
P _{tot}	Potencia total de disipación	5	W
T _{stg} , T _j	Temperatura de almacenamiento y de la unión	-40 a +150	°C

Tabla 2. Rangos Absolutos Máximos

Se utiliza un driver para cada motor paso a paso.

2.3 MAX232

El MAX232 es un circuito integrado que convierte los niveles de las líneas de un puerto serie RS232 a niveles TTL y viceversa. Lo interesante es que sólo necesita una alimentación de 5V, ya que genera internamente algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232. Otros integrados que manejan las líneas RS232 requieren dos voltajes, +12V y -12V.

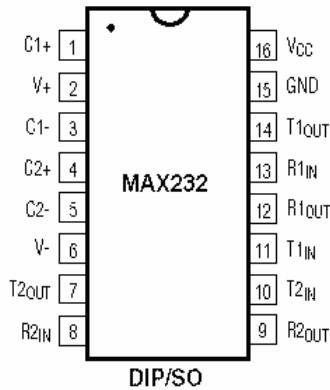


Fig. 3. C.I. MAX232

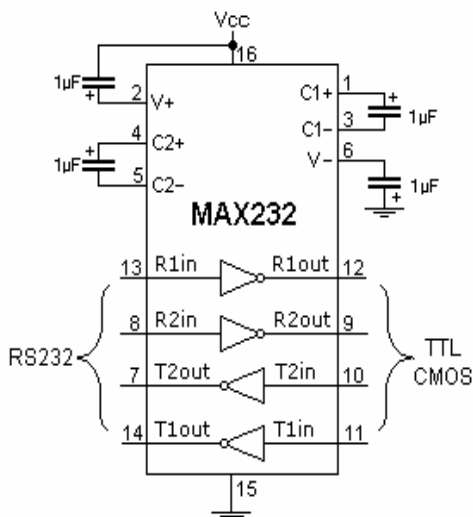


Fig. 4. Diagrama de bloques del MAX232

El MAX232 soluciona la conexión necesaria para lograr comunicación entre el puerto serie de una PC y cualquier otro circuito con funcionamiento en base a señales de nivel TTL/CMOS.

El circuito integrado posee dos convertidores de nivel TTL a RS232 y otros dos que, a la inversa, convierten de RS232 a TTL.

Estos convertidores son suficientes para manejar las cuatro señales más utilizadas del puerto serie del PC, que son TX, RX, RTS y CTS.

TX es la señal de transmisión de datos, RX es la de recepción, y RTS y CTS se utilizan para establecer el protocolo para el envío y recepción de los datos.

2.4 MOTORES PASO A PASO



Fig. 5. Motor PAP

Los motores paso a paso o PAP (Stepper Motor) son muy utilizados en los dispositivos controlados por sistemas digitales.

Los motores PAP proporcionan una considerable ventaja sobre los motores de corriente continua o DC. El eje de un motor PAP gira a intervalos regulares en lugar de hacerlo continuamente, como ocurre con los motores de continua. Bajo el control de un microcontrolador, los motores PAP pueden ser usados para posicionamientos precisos dentro de una amplia gama de aplicaciones, incluyendo robótica, automatización y control de posicionamiento.

La velocidad de un motor DC viene expresada en revoluciones por minuto (rpm) y es función de la tensión aplicada, corriente por el motor y carga mecánica por el mismo. Un posicionamiento preciso de un motor DC no es posible por métodos sencillos.

Un motor PAP gira en función de una secuencia de pulsos aplicados a sus devanados. El eje del motor gira un determinado ángulo por cada impulso de entrada. Cada pulso provoca la rotación del rotor del motor en un incremento de ángulo preciso, denominado paso, de ahí el nombre de motor "paso a paso". El resultado de este movimiento, fijo y repetible, es un posicionamiento preciso y fiable. Los incrementos de pasos de la rotación del rotor se traducen en un alto grado de control de posicionamiento.

Los incrementos de rotación o pasos se miden en grado y es el parámetro fundamental de un motor PAP. También se puede expresar en números de pasos por

revolución de 360 grados. Un motor paso a paso puede girar un número exacto de grados en ambos sentidos.

Los motores paso a paso se comercializan dentro de una gran variedad de grados de rotación, desde 0.72° a 22.5°, correspondientes a 500 y 16 pasos por revolución respectivamente. El motor PAP más comercializado es el de 7.5°, por paso o 48 pasos por revolución.

Los grados de rotación por paso de los motores unipolares que utilizamos en el robot es de 15° o 24 por revolución.

El principal problema que presentan los motores PAP es su limitada potencia. Sin embargo, este problema esta siendo resuelto por los nuevos diseños, con los que se ha logrado potencias superiores a 1CV.

-Principio de funcionamiento.

Aún basados en el mismo fenómeno que el principio de funcionamiento de los motores de corriente continua, los motores paso a paso son más sencillos, si cabe, que cualquier otro tipo de motor eléctrico.

La figura. 6 ilustra el modo de funcionamiento de un motor PAP. Suponemos que las bobinas L1 como L2 poseen un núcleo de hierro dulce capaz de imantarse cuando dichas bobinas sean recorridas por una corriente eléctrica, esto es el denominado estator. Por otra parte, el imán M puede girar libremente sobre el eje de sujeción central, éste es el rotor.

Inicialmente, sin aplicar ninguna corriente a las bobinas y con el imán M en una posición cualquiera, el imán permanecerá en reposo si no se somete a una fuerza externa.

Si se hace circular corriente por ambas fases, como se muestra en la figura 6 (a) se crearán dos polos magnéticos NORTE en la parte interna, bajo cuya influencia el imán M se desplazará hasta la posición indicada en dicha figura.

Si invertimos la polaridad de la corriente que circula por la bobina L1 se obtendrá la situación magnética indicada en la figura 6 (b) y el imán M se verá desplazado hasta la nueva posición de equilibrio. Es decir, ha girado 90 grados en sentido contrario a las agujas del reloj.

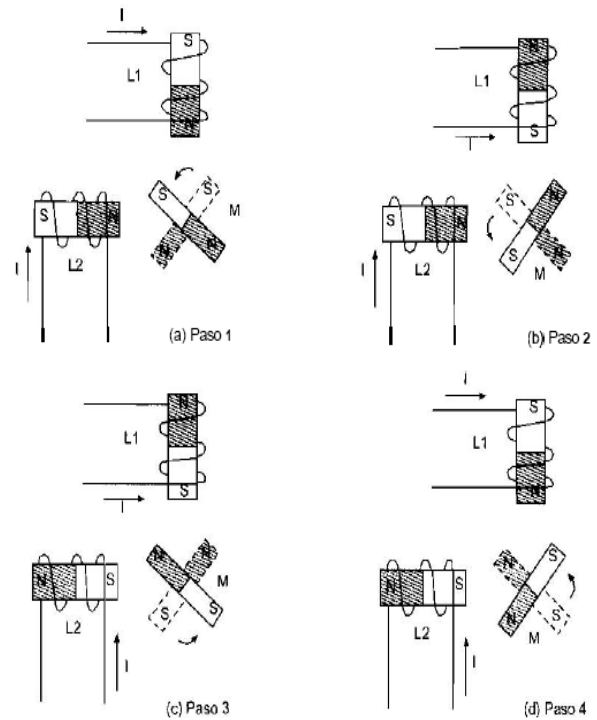


Fig. 6. Principio de funcionamiento de un motor PAP

Invirtiéndolo ahora la polaridad de la corriente que atraviesa la bobina L2, se llega a la situación de la figura 6 (c) habiendo girado el imán M otro 90 grados. Si invertimos de nuevo el sentido de la corriente en la bobina L1 el imán M girará otros 90 grados y se habrá obtenido una revolución completa de dicho imán en cuatro pasos de 90 grados.

Si se mantiene la situación de excitación expuesta para L1 y L2 y dichas corrientes son aplicadas en forma de pulsos, el rotor avanzará pasos de 90 grados por cada pulso aplicado. Existen dos tipos de motores PAP, los bipolares y los unipolares.

2.4.1 Motores PAP Bipolares.

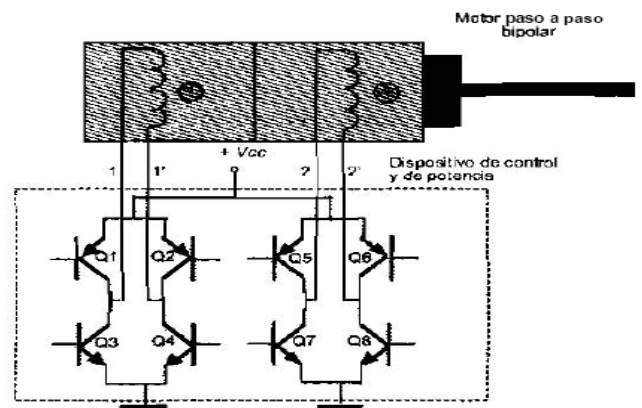


Fig. 7. Circuito de control de un motor Bipolar

En este tipo de motores las bobinas del estator se conectan formando dos grupos, como se muestra en la figura 7.

De este motor salen cuatro hilos conectados al circuito de control, que realiza la función de cuatro interruptores electrónicos dobles que permiten variar la polaridad de la alimentación de las bobinas. Con la activación y desactivación adecuada de dichos interruptores dobles, se puede obtener las secuencias correctas para que el motor gire en un sentido o en otro. Estos transistores configurados como puente en H pueden ser sustituidos por el driver L293B.

- Motor PAP bipolar en modo Full Step

En el modo Full Step el rotor del motor PAP avanza un paso por cada pulso de excitación.

Paso	Q2Q3	Q1Q4	Q6Q7	Q5Q8		L1	L1'	L2	L2'
1	ON	OFF	OFF	ON	FULL STEP ↓ ↑ CW CCW	-	+	+	-
2	ON	OFF	ON	OFF		-	+	-	+
3	OFF	ON	ON	OFF		+	-	-	+
4	OFF	ON	OFF	ON		+	-	+	-

Tabla 3. Secuencia de control de un motor PAP bipolar para modo Full Step

-Motor PAP bipolar en modo Half Step

En el modo de medio paso (Half Step) el rotor avanza medio paso por cada pulso de excitación. Presenta como principal ventaja una mayor resolución de paso, ya que disminuye el avance angular (la mitad que en el modo paso completo). Para conseguir tal cometido, el modo de excitación consiste en hacerlo alternativamente sobre dos bobinas y sobre una sola de ellas, según se muestra en la tabla 4 para ambos sentidos de giro.

Paso	Q1Q3	Q1Q4	Q6Q7	Q5Q8	
1	ON	OFF	OFF	ON	HALF STEP ↓ ↑ CW CCW
2	ON	OFF	OFF	OFF	
3	ON	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	ON	OFF	
5	OFF	ON	ON	OFF	
6	OFF	ON	OFF	OFF	
7	OFF	ON	OFF	ON	
8	OFF	OFF	OFF	ON	

Tabla 4. Secuencia de control de un motor PAP bipolar para modo Half Step

Según la figura 6 al excitar dos bobinas consecutivas del estator simultáneamente, el rotor se alinea con la bisectriz de ambos campos magnéticos. Cuando desaparece la excitación de una de ellas, extinguiéndose el campo magnético inducido por dicha bobina, el rotor queda bajo la acción del único campo existente, dando lugar a un desplazamiento mitad.

2.4.2 Motores PAP UNIPOLARES

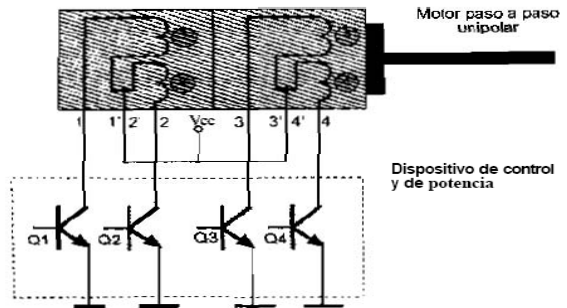


Fig. 8. Control de Motor PAP Unipolar

Nos centraremos en el estudio de este tipo de motor PAP, ya que son los que se utilizan en el robot.

En los motores PAP unipolares, todas las bobinas del estator están conectadas formando cuatro grupos. Estos, a su vez, se conectan dos a dos y se montan sobre dos estatores diferentes, tal como se aprecia en la figura 8. Del motor PAP salen dos grupos de tres cables, uno de los cuales es común a dos bobinados. Los seis terminales que parten del motor se conectan al circuito de control, el cual, se comporta como cuatro conmutadores electrónicos que al ser activados o desactivados producen la alimentación de los cuatro grupos de bobinas. Generando una secuencia adecuada de funcionamiento de los transistores que trabajan como interruptores, se pueden producir saltos de un paso en el número y sentido deseado.

En este caso la tabla de la secuencia que debe introducirse en las bobinas para el control del sentido de giro es la mostrada en la tabla 5 para modo Full Step y en la tabla 6 para modo Half Step.

Paso	Q1	Q2	Q3	Q4	
1	ON	OFF	OFF	ON	FULL STEP ↓ ↑ CW CCW
2	ON	OFF	ON	OFF	
3	OFF	ON	ON	OFF	
4	OFF	ON	OFF	ON	

Tabla 5. Secuencia de control de un motor PAP Unipolar para modo Full Step

Paso	Q1	Q2	Q3	Q4	
1	ON	OFF	OFF	ON	HALF STEP ↓ ↑ CW CCW
2	ON	OFF	OFF	OFF	
3	ON	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	ON	OFF	
5	OFF	ON	ON	OFF	
6	OFF	ON	OFF	OFF	
7	OFF	ON	OFF	ON	
8	OFF	OFF	OFF	ON	

Tabla 6. Secuencia de control de un motor PAP Unipolar para modo Half Step

Su principio de funcionamiento se representa gráficamente en la figura 9. Si inicialmente se aplica la corriente a las bobinas L1 y L3 cerrando los interruptores S1 y S3, se generarán dos polos NORTE que atraerán el polo SUR del imán M hasta encontrar la posición de equilibrio entre ambos como puede verse en la figura 9(a). Si se abre posteriormente el interruptor S1 y se cierra S2, por la nueva distribución de polos magnéticos, M evoluciona hasta la situación representada en la figura 9(b).

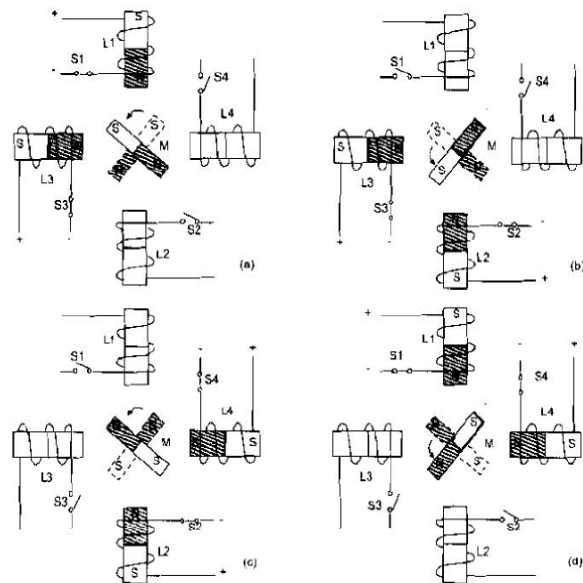


Fig. 9. Principio básico de un motor unipolar de cuatro fases.

Siguiendo la secuencia representada en las figuras 9(c) y 9(d) de la misma forma se obtienen avances del rotor de 90 grados habiendo conseguido, como en el motor bipolar de dos fases, hacer que el rotor avance pasos de 90 grados por la acción de los impulsos eléctrico de excitación de cada una de las bobinas. El movimiento obtenido ha sido en sentido contrario al de las agujas del reloj. Ahora bien, si las secuencias de excitación se generan en orden inverso, el rotor girará en sentido contrario. Podemos deducir que el sentido de giro en los motores paso a paso es reversible en función de la

secuencia de excitación y, por tanto, se puede hacer avanzar o retroceder al motor un número determinado de pasos según las necesidades.

-Disposición de las bobinas.

La existencia de varios bobinados en el estator de los motores paso a paso da lugar a varias formas de agrupar dichos bobinados para que sean alimentados adecuadamente, figura 10.

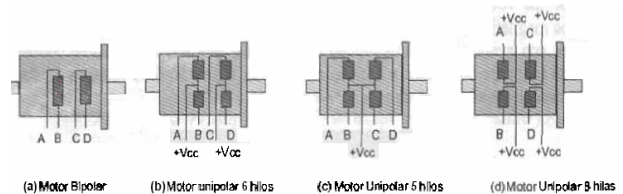


Fig. 10. Disposición de las bobinas de motores paso a paso.

En el caso de los motores paso a paso unipolares se pueden encontrar con cinco, seis u ocho terminales ya que además de los bobinados hay otros terminales que corresponden con las tomas intermedias de las bobinas, los cuales se conectan directamente a positivo de la fuente de alimentación para su correcto funcionamiento. Las figura 10(b), 10(c) y 10(d) describen como están conectados internamente los terminales de estos tipos de motores.

Hay que tomar en cuenta que los motores PAP unipolares e seis u ocho hilos, pueden hacerse funcionar como motores paso a paso bipolares si no se utiliza las tomas centrales, mientras que los de cinco hilos no podrán usarse jamás como bipolares porque en el interior están conectados los dos cables centrales.

-Parámetros de los motores PAP

Desde el punto de vista mecánico y eléctrico es conveniente conocer el significado de algunas de las principales características y parámetros que definen un motor PAP.

- **Par dinámico de trabajo.** Depende de sus características dinámicas y es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso, es decir, sin dejar de responder a algún impulso de excitación del estator y dependiendo de la carga. Hay que tener en cuenta que cuando la velocidad de giro del motor aumenta, se produce un aumento de la f.c.e.m. en él generada, y, por tanto, una disminución de la corriente absorbida por los bobinados del estator. Como consecuencia de todo ello, disminuye el par motor.
- **Ángulo de paso.** Se define como el avance angular producido en el motor por cada impulso de excitación. Se mide en grados, siendo el número de pasos estándar más empleados los mostrados en la tabla 7.

Grados por impulso de excitación	Nº de pasos por vuelta
0,72°	500
1,80°	200
3,75°	96
7,50°	48
15,00°	24

Tabla 7. Ángulos de paso más comunes en los motores PAP.

- **Par de mantenimiento.** Es el par requerido para desviar, en régimen de excitación, un paso del rotor cuando la posición es estable. Es mayor que el par dinámico y actúa como freno para mantener el rotor en una posición estable dada.
- **Número de pasos por vuelta.** Es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa. Evidentemente su ecuación es:

$$NP = \frac{360}{\alpha}$$

donde NP es el número de pasos y α el ángulo de paso.

- **Frecuencia de paso máximo.** Se define como el máximo número de pasos por segundo que puede ejecutar el motor funcionando adecuadamente.

3.0 Fuente de Alimentación.

Se utiliza un circuito regulador a 5 voltios de corriente continua, ya que los motores funcionan con 12V.

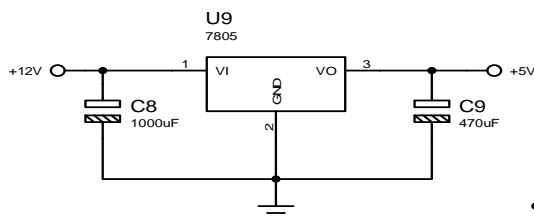


Fig. 11. Diagrama de la fuente reguladora

Para la estabilización de 12V a 5V se utiliza un 7805, con un condensador a la entrada de 1000uf y otro a la salida de 470uf

En la figura 12 se muestra el circuito correspondiente para la comunicación del puerto serie del ordenador con el USART del PIC 16F877A.

Como se puede observar, el circuito esta compuesto por un max232, cuyo funcionamiento se lo ha explicado anteriormente, de donde la patilla 11(T1IN) va conectado con el pin 25 (RC6/TX) del microcontrolador

y la patilla 12(R1OUT) con el pin 26(RC7/RX) del microcontrolador.

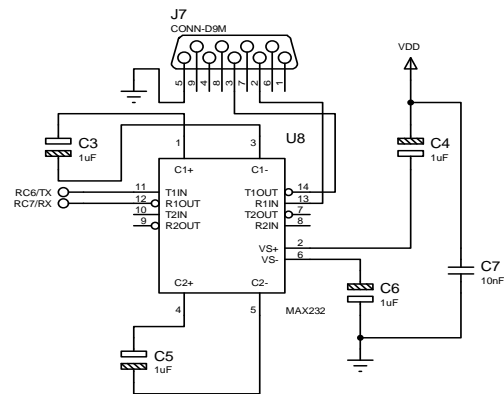


Fig. 12. Circuito para la comunicación del PIC con el ordenador a través del puerto serie

4.0 Programación del Robot

El programa del robot se lo ha realizado en C, utilizando el programa MIKROC, el PIC se encuentra cargado con el programa de MikroBootloader, lo que nos permite programarlo directamente desde el ordenador sin necesidad de quitar el microcontrolador de la placa de control.

5.0 Funcionamiento del Programa

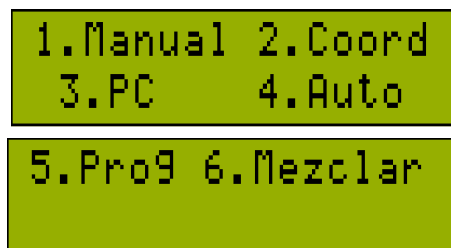


Fig. 13. Menú principal

El menú tiene dos páginas 1 y 2, para cambiar entre las páginas del menú hay que pulsar la tecla '*'. Al pulsar la tecla 'D' se apagará la LCD y el PIC se pondrá en modo de bajo consumo (standby). Para volver a encenderlo presionamos el boton "test".

Cuando se pulsa un número que en el menú no existe, nos aparecerá un mensaje de "Selección incorr", durante un tiempo, luego volverá al menú principal.

En el menú principal se puede observar una serie de opciones que a continuación se explican:

1. **Manual.-** Por medio de esta opción se puede manejar manualmente, a través, del teclado el brazo robótico. En donde 8 y 2 bajan y suben respetivamente, el hombro, 4 y 6 gira

hacia la izquierda o derecha, A y B sube y baja el codo, * y # rota la mano hacia la izquierda o derecha, '0' abre la mano, 5 cierra la mano y D apaga la LCD y pone en modo standby al microcontrolador.

Cuando se le ordena al robot que coja un objeto, este al tenerlo bien sujeto, se mostrará un mensaje en la LCD de "LISTO".



Fig. 14. Selección uno.

2. **Coordenadas.-** Por medio de esta opción se le ordena al brazo robótico que coja el objeto que se encuentra en dicha casilla de media vuelta y lo deje en esa posición. Por motivo de que el brazo no puede abarcar las 16 casillas, solamente se le puede pedir los objetos ubicados en las casillas 0,1,2,4,5,6,8,9 y A. Cuando se selecciona un número de casilla que no abarca el brazo robótico nos aparecerá el mensaje de "Coordenada Inco" y volverá a pedirnos que introduzcamos otro número.



Fig. 15. Selección dos.

3. **PC.-** Para utilizar esta opción, se tendrá que conectar el cable serie del robot al puerto serie del ordenador, luego se abrirá el programa pbr10, que esta hecho para funcionar con el robot, por medio de este programa se podrá pedir al mismo que realice las siguientes funciones:

- Automático
- Coordenadas
- Programar
- Mezclador

4. **Auto.-** Con esta opción realiza unos movimientos constantes, coge un objeto y lo situa en otro sitio.

5. **Programar.-** Nos permite programar el robot hasta 15 instrucciones como máximo. El número de vueltas puede ser de hasta dos dígitos.

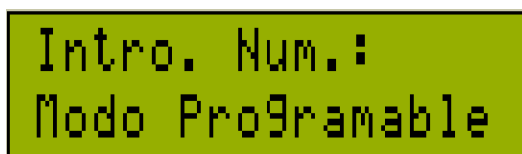


Fig. 16. Selección cinco.

En la pantalla principal nos pide introducir el número de vueltas a realizar por el motor.

Luego seleccionamos el motor al que quiero asignar las vueltas introducidas anteriormente.

Si selecciona:

- 1.- Selecciona el motor A1 y que baje.
- 2.- Selecciona el motor A1 y que suba.
- 3.- Selecciona el motor A2 y que baje.
- 4.- Selecciona el motor A2 y que suba.
- 5.- Selecciona el motor A3 y que gire hacia la izquierda.
- 6.- Selecciona el motor A3 y que gire hacia la derecha.
- 7.- Selecciona que cierre la mano.
- 8.- Selecciona que abra la mano.

6.-Mezclador.- Esta opción realiza una serie de movimientos constantes, lo que hace es coger un objeto de la izquierda llevarlo hacia el centro y girarlo, luego lo deja en su posición inicial y coge otro objeto que se encuentra en la derecha y lo lleva hacia el centro y lo gira, luego lo deja en su posición inicial y vuelve a repetir los mismos movimientos. Se llama mezclador porque al realizar estos movimientos parece que estuviera mezclando líquidos.

6.0 Referencias

Bibliografía

[1] Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de Proyectos.

Enrique Palacios, Fernando Remiro, Lucas J. López.

Alfaomega

Direcciones de Internet

www.robots-argentina.com.ar
www.terra.es/personal/fremiro