

# La Robótica

## Los motores. Parte 4 Motores Paso a Paso



En esta ocasión veremos los motores paso a paso, un tipo especial de motor que ha facilitado enormemente el control de los movimientos mecánicos, no solo en robótica, sino en todo tipo de máquinas y aparatos electrónicos. Como su nombre lo indica, los motores paso a paso no se mueven continuamente como los motores de CC sino en forma de pequeños giros llamados "pasos".

FELIPE GONZÁLEZ G.

Aunque los motores de CC tienen como principales ventajas su fácil alimentación, su buena fuerza y su bajo costo, es difícil controlar con ellos un movimiento preciso a no ser que se incluyan circuitos codificadores de posición (*encoders*) y circuitos de control realimentado lo que complica el diseño de los robots y aumentan su costo. En el caso de los servomotores, estos no solucionan completamente el problema ya que solamente giran una parte de la circunferencia siendo útiles para ciertas partes de los robots como algunas articulaciones en donde no se necesitan desplazamientos grandes.

### Los motores paso a paso

Estos motores, de los cuales se muestra el aspecto físico de varios modelos en la figura 1, son dispositivos que convierten pulsos eléctricos en movimientos discretos de rotación mecánica (por pasos) lo que les da una característica especial de funcionamiento. Al igual que un motor de CC, un motor paso a paso está formado por un rotor (parte móvil) y un estator (parte fija). El rotor está construido con un imán permanente de tipo cerámico que tiene un patrón fijo de polos Norte y Sur alternados. El estator está formado por dos

secciones en forma de copa de hierro con dientes, energizadas por dos bobinas separadas. Las parejas de polos Norte-Sur que forman las bobinas entre los dos estatores, están desplazadas mecánicamente en 1/2 recorrido de un polo. Entre las dos parejas de polos de un estator, hay un desplazamiento de 1/4 del recorrido de un polo, figura 2.

La interacción entre el estator y el rotor (polos opuestos se atraen y polos iguales se repelen) produce que el rotor se mueva 1/4 de recorrido de polo por cada cambio de polaridad en las bobinas. Por ejemplo, un motor de dos fases con 12 parejas de polos por cada sección de estator, se moverá entonces 48 pasos por revolución o sea 7.5° por cada paso. La clave de su funcionamiento está en el diseño especial del rotor y del estator con posiciones de equilibrio espaciadas regularmente creadas por polos magnéticos alternos (Norte-Sur-Norte-Sur, etc.)

De acuerdo a su construcción, los motores paso a paso tienen diferentes características de giro tales como el ángulo de rotación en cada paso siendo los más comunes los valores de 0.9°,



Figura 1. Motores paso a paso

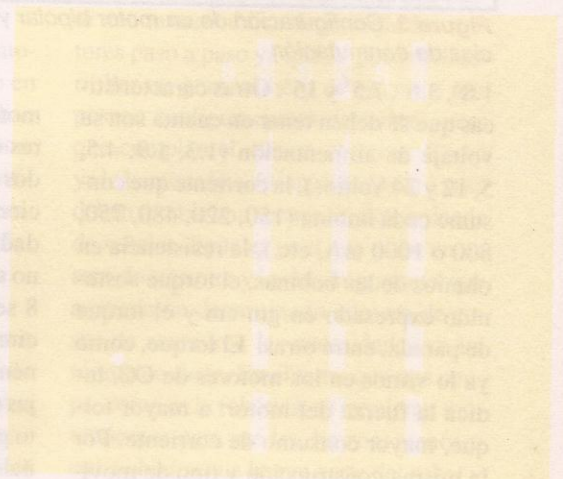


Figura 2. Polaridades magnéticas del rotor y del estator

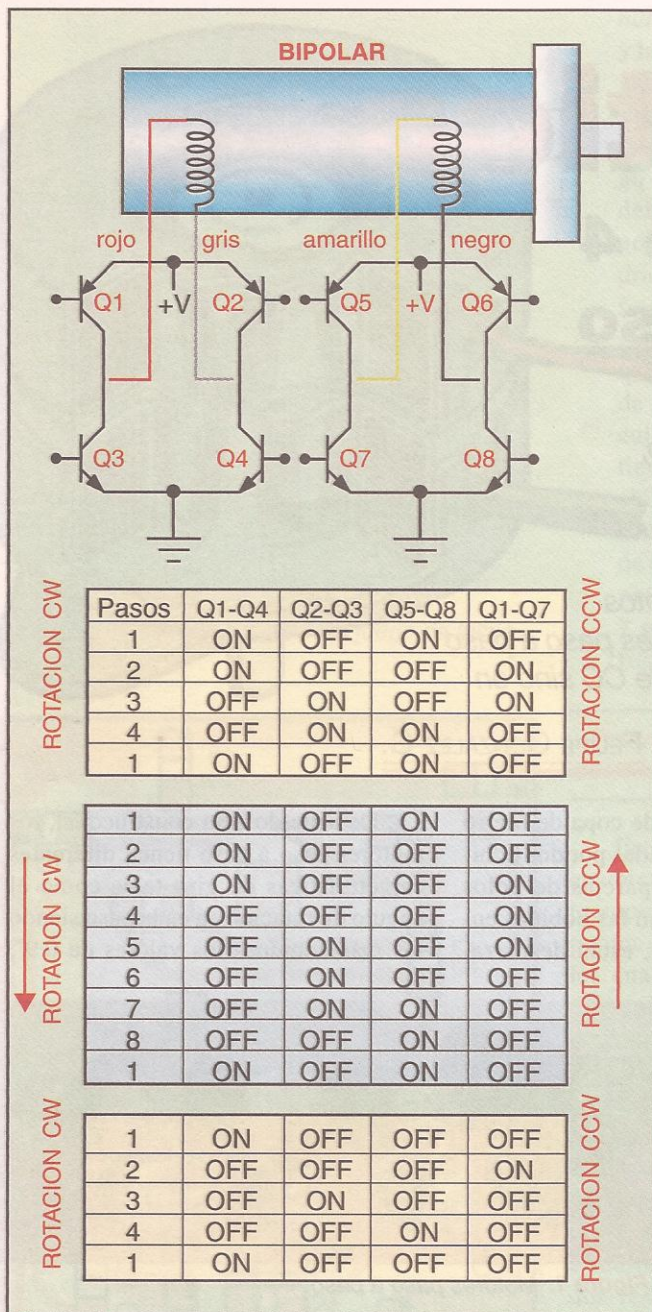


Figura 3. Configuración de un motor bipolar y sus secuencias de conmutación

1.8°, 3.6°, 7.5° y 15°. Otras características que se deben tener en cuenta son su voltaje de alimentación (1.3, 1.9, 4.5, 5, 12 y 24 Voltios), la corriente que consume cada bobina (150, 220, 480, 750, 800 o 1000 mA, etc.), la resistencia en ohmios de las bobinas, el torque sostenido expresado en gm-cm y el torque de parada, entre otras. El torque, como ya lo vimos en los motores de CC, indica la fuerza del motor: a mayor torque, mayor consumo de corriente. Por la misma construcción y tipo de movimiento, los motores paso a paso son más lentos que los motores de CC.

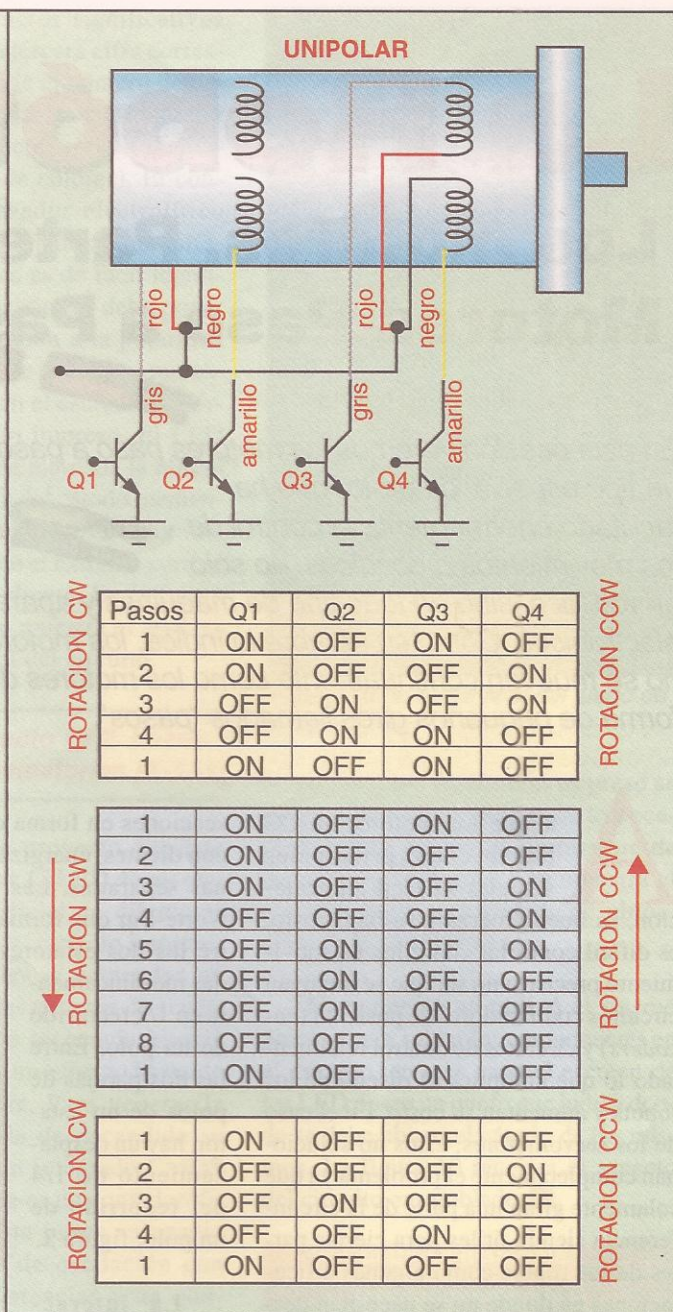


Figura 3. Configuración de un motor unipolar y sus secuencias de conmutación

Según su número de bobinas, los motores paso a paso pueden ser bipolares o unipolares. Los bipolares tienen dos bobinas, y requieren, para su funcionamiento, la inversión de la polaridad en su alimentación, figura 3. Estos no son muy utilizados ya que requieren 8 señales lo que complica un poco los circuitos de control. Los unipolares tienen 4 bobinas organizadas en dos parejas dobles, figura 4 y para su movimiento por pasos, solamente requieren 4 señales de control. En las figuras 3 y 4 también podemos observar la secuencia de señales, según cada tipo, que se

deben entregar a las bobinas para que estas realicen el giro hacia un lado o hacia el otro en uno de los tres tipos de movimiento posible que tienen este tipo de motores.

La primera secuencia es llamada de 4 pasos o normal, la segunda es llamada de 1/2 paso (8 cambios) en la cual el movimiento es más preciso y la tercera es el manejo por "ola" o wave drive en la cual el movimiento es continuo semejante al de un motor de CC. En las dos primeras secuencias, las dos fases del estator se alimentan simultáneamente.

neamente. De esta manera se logra un mayor torque en el eje del motor y por la razón anterior, es el método más utilizado para controlar el movimiento de este tipo de motores paso a paso. Cualquiera de las secuencias, hará que un motor de N grados/paso avance en pasos completos.

Si la frecuencia de operación es constante, la forma de onda de las señales en las bobinas del estator tiene un desfase de 90 grados. Como cada paso del rotor se controla con una onda cuadrada aplicada a las bobinas, el motor paso a paso se puede comandar desde circuitos de microprocesadores o microcontroladores, lo que garantiza un manejo exacto de la velocidad y la posición.

Un motor paso a paso tiene varios modos de operación, según la velocidad de la secuencia y la carga aplicada al eje. Si se activa con una secuencia lenta, el motor alcanza el reposo al final de cada paso. En las aplicaciones que no requieren una respuesta rápida y las distancias son cortas, esta operación, es la más simple. Si la velocidad

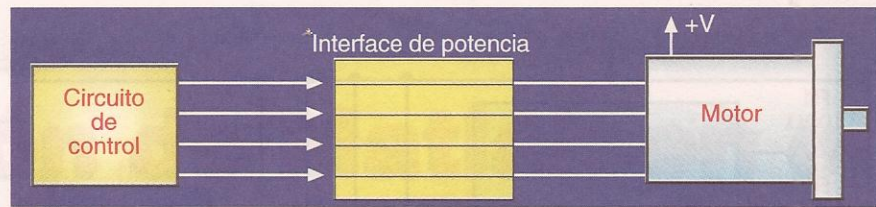
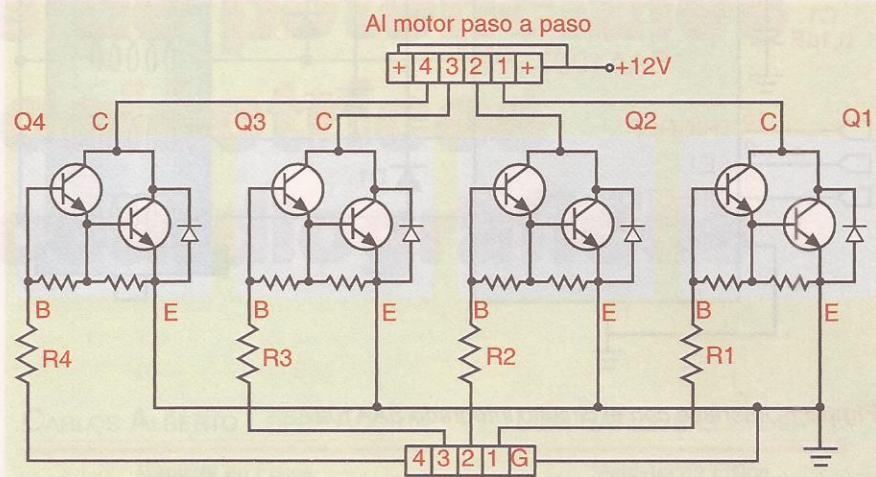


Figura 6. Esquema general de control en motores



R1, R2, R3, R4= 3.3KΩ Q1, Q2, Q3, Q4 = TRANSISTOR NPN TIP 122

Figura 7. Interface con transistores Darlington

de la secuencia aumenta, el movimiento cambia de pasos discretos a movimiento continuo como el de cualquier motor. El motor no alcanza el reposo entre pasos y, por lo tanto, llegan del control nuevas órdenes de conmutación cuando aún se tiene una velocidad positiva o negativa. En estos casos, la velocidad de la secuencia debe seleccionarse según las especificaciones del catálogo del motor o se tendrá un comportamiento completamente inestable del mismo.

### Identificación de las bobinas de un motor paso a paso

Muchas veces podemos encontrar motores paso a paso a muy bajo precio en ventas de saldos (*surplus*) los cuales han sido retirados de diferentes equipos, especialmente de computadoras antiguas o máquinas ya obsoletas. Sin embargo, estos motores no tienen un plano o información técnica disponible.

Para identificar como se encuentran dispuestas las bobinas de un motor de esta naturaleza es fácil; por lo regular tienen cuatro bobinas, las cuales presentan externamente cinco, seis u ocho terminales, figura 5. Cuando se tienen cinco terminales, uno de ellos es común a

todos; cuando son seis los terminales, se presenta un punto común por cada dos bobinas, teniéndose por tanto dos terminales comunes independientes; cuando son ocho los terminales, quiere decir que los terminales de cada bobina están totalmente libres. Los puntos comunes se identifican fácilmente con la ayuda de un óhmetro, ya que marcan un menor valor de resistencia entre éste y el resto de los terminales del motor.

### Conexión de los motores paso a paso

Vale la pena destacar el hecho que no existe una manera única de manejar los motores paso a paso ya que se pueden desarrollar un gran número de circuitos que posean configuraciones diferentes, pero que cumplan el mismo objetivo. Como ya lo hemos visto, los motores paso a paso deben recibir una secuencia determinada de señales digitales para que giren en un sentido o en otro y lo más importante, que avancen un determinado número de pasos de acuerdo a las necesidades en un momento dado. En el tema que nos ocupa, como es la robótica, se requieren movimientos para ruedas, brazos, manos u otros objetos que hagan parte del robot y mientras más sofisticado sea el robot, mayor precisión se necesitará.

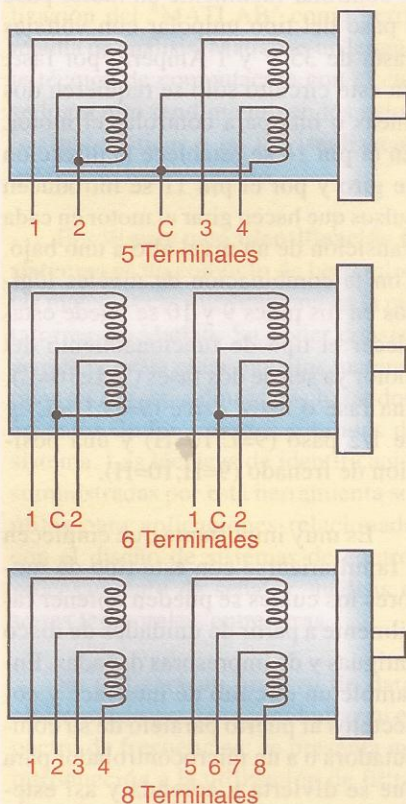


Figura 5. Configuraciones diferentes de bobinas

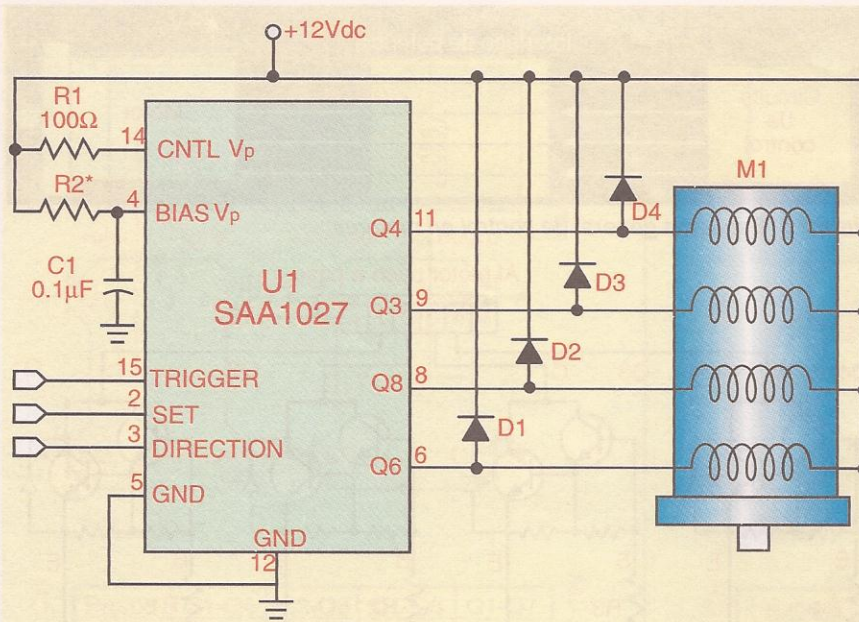


Figura 8. Interface con el circuito integrado SAA1027

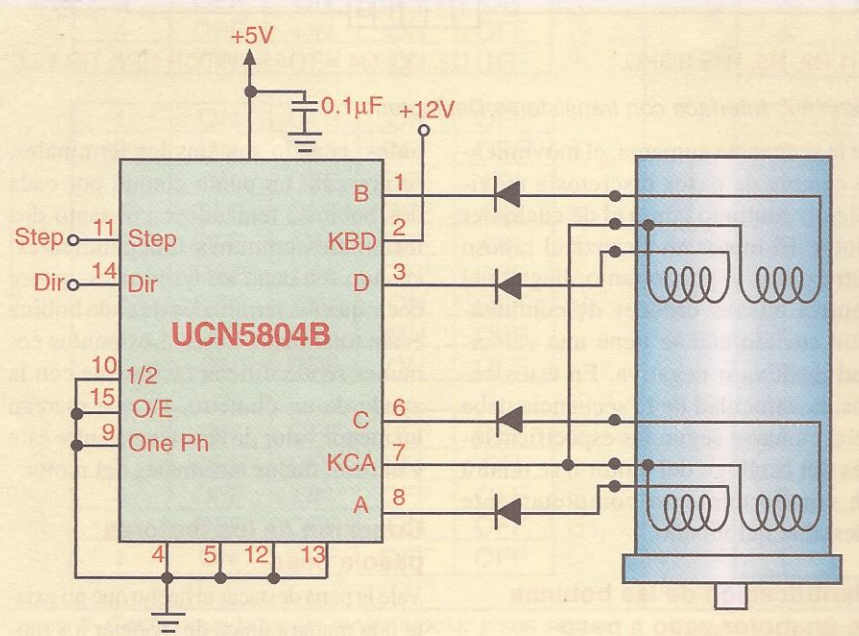


Figura 9. Interface con el circuito integrado UCN5804B

El esquema general de control de los motores paso a paso se muestra en la figura 6 en donde tenemos un circuito que genera la secuencia dependiendo de la necesidad, una interface de potencia y el o los motores propiamente dichos. El circuito que entrega la secuencia puede ser un circuito digital discreto, es decir, compuertas, contadores o flip-flops, un microprocesador con sus circuitos periféricos como memorias, puertos, etc., uno o varios microcontroladores dependiendo de la compleji-

dad del sistema o una computadora completa en el caso de un robot de alto desempeño.

La interface de potencia puede estar construida con transistores bipolares, transistores MOSFET de potencia, transistores Darlington o con circuitos integrados impulsores tipo *driver* o especializados según sea el caso. El diseño de la interface depende del voltaje y de la corriente que requieran las bobinas del motor o de los motores. Los circuitos integrados especializados se uti-

lizan para simplificar el circuito de control tal como lo veremos más adelante.

En la figura 7 se muestra un circuito muy simple con 4 transistores Darlington TIP122 y 4 resistencias. Los transistores incluyen internamente el diodo de protección para las cargas inductivas. Las entradas se pueden manejar desde una computadora (puerto paralelo o puerto de salida), o también por medio de un microprocesador o un microcontrolador. En la figura 8 se muestra un circuito de interface con uno de los circuitos integrados más populares para esta aplicación: el SAA1027 de Signetics. Note que se necesitan muy pocas líneas de control en este caso. Por el pin de disparo (TRIGGER) se debe introducir una señal de pulsos de reloj; en el pin de dirección (DIRECTION), se controla la rotación a la izquierda o a la derecha por medio de una señal binaria o digital (1 ó 0) y con el pin SET se puede parar el motor colocando en el un nivel bajo (0).

En la figura 9 tenemos un diagrama con el circuito integrado UCN5804B de Allegro el cual permite controlar fácilmente un motor paso a paso del tipo unipolar con voltajes hasta de 35 V y 1 Amperio por fase. En este circuito sólo se requieren dos líneas o bits para controlar el motor. En el pin 14 se establece la dirección de giro y por el pin 11 se introducen pulsos que hacen girar el motor en cada transición de un nivel alto a uno bajo. Con la combinación de niveles lógicos en los pines 9 y 10 se puede establecer el tipo de funcionamiento del motor ya sea de dos fases (9=L;10=L), una fase o *wave drive* (9=H;10=L) y de 1/2 paso (9=L;10=H) y una posición de frenado (9=H;10=H).

Es muy importante que empiecen a familiarizarse con este tipo de motores los cuales se pueden obtener fácilmente a partir de unidades de disco antiguas y de impresoras dañadas. Ensamble un circuito de interface y conéctelos al puerto paralelo de su computadora o a un microcontrolador para que se divierta y aprenda y así estemos listos cuando vayamos a ensamblar nuestro primer robot. □