

CONTROL DE MOTORES PASO A PASO MEDIANTE MICROCONTROLADORES

(Stepper motor)

- 1 - Introducción a los MPAP
- 2 - Principio de funcionamiento
- 3 - Tipos de motores
 - Unipolares
 - Bipolares
- 4 - Secuencias para manejar MPAP
 - Tipo paso simple
 - Tipo paso doble
 - Tipo medio paso
- 5 - Identificación de MPAP
 - Según el nº de hilos (4, 5, 6 u 8)
- 6 - Programa en C
- 7 - Ejemplos prácticos

1. INTRODUCCION

¿Qué es un motor paso a paso?

Un *motor paso a paso*, como todo motor, es en esencia un convertidor electromecánico, que transforma energía eléctrica en mecánica. Mientras que un motor convencional gira libremente al aplicarle una tensión, el motor paso a paso gira un determinado ángulo de forma incremental (transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados), lo que le permite realizar desplazamientos angulares fijos muy precisos (pueden variar desde $1,80^\circ$ hasta unos 90°)

Los motores, tanto de corriente continua como de corriente alterna, son muy efectivos en muchas labores cotidianas desde la tracción de grandes trenes hasta el funcionamiento de lavarropas. Pero debido a problemas tales como la inercia mecánica o su dificultad para controlar su velocidad, se desarrollaron otro tipo de motores cuya característica principal es la precisión de giro

Este tipo de motores son ideales cuando lo que queremos es posicionamiento con un elevado grado de exactitud y/o una muy buena regulación de la velocidad.

Sus principales aplicaciones se pueden encontrar en robótica, tecnología aeroespacial, control de discos duros, flexibles, unidades de CD-ROM o de DVD e impresoras, en sistemas informáticos, manipulación y posicionamiento de herramientas y piezas en general.

Están *constituidos* esencialmente por dos partes:

- **Estator:** parte fija construida a base de cavidades en las que van depositadas las bobinas.
- **Rotor:** parte móvil construida mediante un imán permanente.

Este conjunto va montado sobre un eje soportado por dos cojinetes que le permiten girar libremente.

La precisión y repetitividad que presentan esta clase de motores lo habilitan para trabajar en sistemas abiertos sin realimentación.

2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Aun basado en el mismo fenómeno que los motores de corriente continua, el principio de funcionamiento de los motores paso a paso es más sencillo que cualquier otro tipo de motor eléctrico.

Los motores eléctricos, en general, basan su funcionamiento en las fuerzas ejercidas por un campo electromagnético y creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas. Si dicha bobina, generalmente circular y denominada estator, se mantiene en una posición mecánica fija y en su interior, bajo la influencia del campo electromagnético, se coloca otra bobina, llamada rotor, recorrida por una corriente y capaz de girar sobre su eje.

Al excitar el estator, se crean los polos N-S, provocando la variación del campo magnético formado.

La respuesta del rotor será seguir el movimiento de dicho campo (tenderá a buscar la posición de equilibrio magnético), es decir, orientará sus polos NORTE-SUR hacia los polos SUR-NORTE del estator, respectivamente. Cuando el rotor alcanza esta posición de equilibrio, el estator cambia la orientación de sus polos y se tratará de buscar la nueva posición de equilibrio. Manteniendo dicha situación de manera continuada, se conseguirá un movimiento giratorio y continuo del rotor, produciéndose de este modo el giro del eje del motor, y a la vez la transformación de una energía eléctrica en otra mecánica en forma de movimiento circular.

Al número de grados que gira el rotor, cuando se efectúa un cambio de polaridad en las bobinas del estator, se le denomina "ángulo de paso".

Existe la posibilidad de conseguir una rotación de medio paso con el control electrónico apropiado, aunque el giro se hará con menor precisión. Los motores son fabricados para trabajar en un rango de frecuencias determinado por el fabricante, y rebasado dicho rango, provocaremos la pérdida de sincronización.

Los motores paso a paso, se controlan por el cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas que lo forman:

- controlar el desplazamiento del rotor en función de las tensiones que se aplican a las bobinas, con lo que podemos conseguir desplazamientos adelante y atrás.
- controlar el número de pasos por vuelta.
- controlar la velocidad del motor.

Además estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición (si una o más de sus bobinas está energizada) o bien totalmente libres (si no circula corriente por ninguna de sus bobinas).

Según la construcción de las bobinas del estator, dos tipos de MPAP:

- Unipolares: se llaman así porque la corriente que circula por los diferentes bobinados siempre circula en el mismo sentido. Tienen las bobinas con un arrollamiento único

- Bipolares: la corriente que circula por los bobinados cambia de sentido en función de la tensión que se aplica. por lo que un mismo bobinado puede tener en uno de sus extremos distinta polaridad (bipolar). Tienen las bobinas compuestas por dos arrollamientos cada una.

Algunos motores tienen los bobinados de tal manera que en función de puentes pueden convertirse en unipolares o bipolares.

Lo más importante de un motor es saber el tipo de motor que es, la potencia, el número de pasos, el par de fuerza, la tensión de alimentación y poco más si son motores sencillos.

¿Cómo saber cómo conectar uno de estos motores?

Estos motores exteriormente poseen 6 o 5 cables (cuatro corresponden a cada uno de los extremos de las dos bobinas existentes, mientras que los otros dos corresponden al punto medio de cada una. En el caso de que el cable restante sea uno, entonces corresponde a estos dos últimos unidos internamente).

Una vez localizados dichos cables mediremos la resistencia con un óhmetro o un multímetro en ellos. De esta forma localizamos las dos bobinas (los tres cables cuya resistencia entre sí sea distinta de infinito corresponden a una bobina).

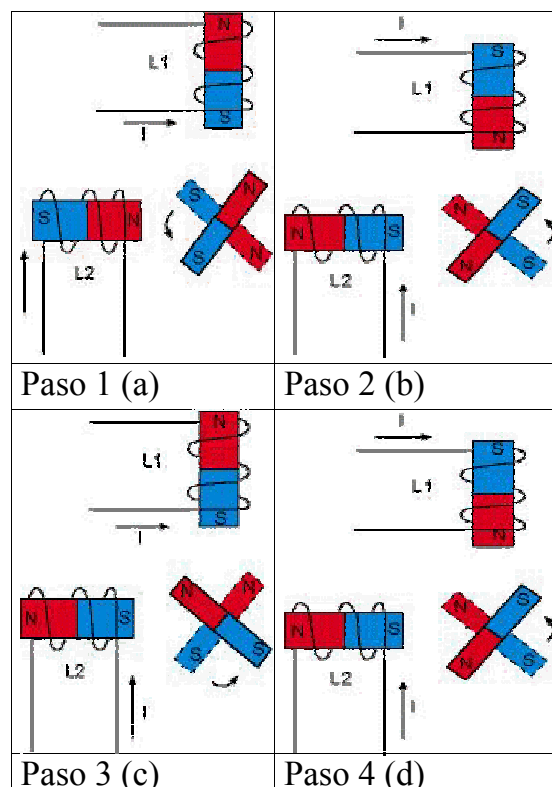
Podemos decir que tenemos dos grupos de tres cables (A, B y C). Mediremos ahora la resistencia entre A y B, B y C y entre A y C. El par anterior cuya lectura sea más alta corresponde a los extremos de la bobina, mientras que el restante es el punto medio de la misma.

¿Cuál es su secuencia?

Para saber la secuencia del motor necesitaremos una fuente de tensión continua del valor característico del motor (5 Voltios generalmente). Conectamos un polo de la misma a los dos cables correspondientes al punto medio de cada bobina. Al polo restante lo conectamos a uno de los cuatro cables y observamos hacia que lado se produce el paso. Procedemos igual con los otros, probando en distinto orden, hasta que los cuatro pasos se hayan producido en la misma dirección. De esta forma ya habremos hallado la secuencia del motor.

¿Pero y para hacerlo funcionar?

Para hacer funcionar un motor paso a paso requerimos de un circuito especial. De acuerdo al uso que deseemos para el motor podemos utilizar un simple secuenciador, un microcontrolador, algún puerto del PC, o bien ciertos circuitos integrados diseñados para tal fin.



La Figura intenta ilustrar el modo de funcionamiento de un motor paso a paso. Suponemos que las bobinas L1 y L2 poseen un núcleo de hierro capaz de imantarse cuando dichas bobinas sean recorridas por una corriente eléctrica. Por otra parte el imán M puede girar libremente sobre el eje de sujeción central.

3. TIPOS DE MOTORES PASO A PASO

En los motores paso a paso, podemos distinguir 3 tipos desde el punto de vista de su construcción: los de reluctancia variable, los de imán permanente, y los híbridos. En los de reluctancia variable, su rotor está fabricado por un cilindro de hierro dentado y el estator está formado por bobinas. Este tipo de motor trabaja a mayor velocidad que los de imán permanente.

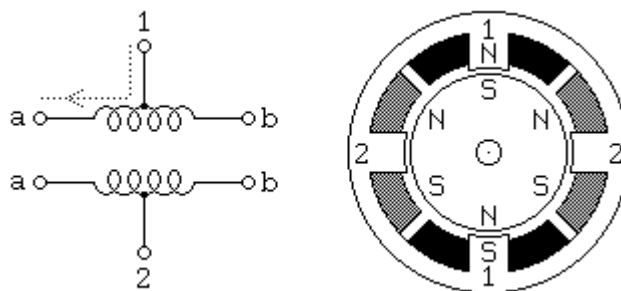
En los motores tipo imán permanente, su rotor es un imán que posee una ranura en toda su longitud y el estator está formado por una serie de bobinas enrolladas alrededor de un núcleo o polo. Nosotros nos centraremos en este tipo de motores puesto que son los más utilizados y más sencillos de utilizar.

Por último, los híbridos, serían una combinación de los anteriores, logrando un alto rendimiento a una buena velocidad.

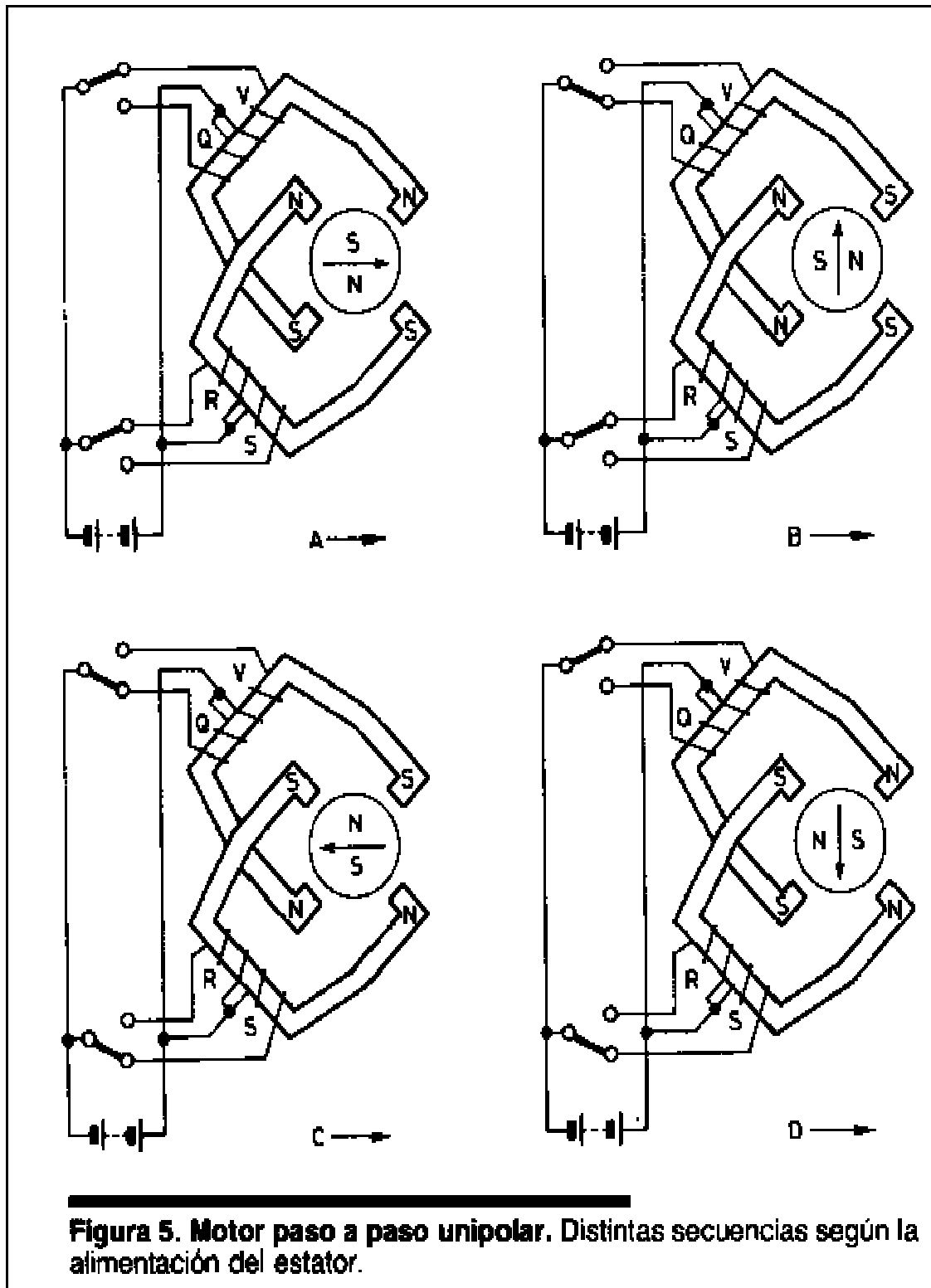
Una vez vistos los distintos tipos de motores paso a paso desde el punto de vista físico, los clasificaremos en función de la forma de conexión y excitación de las bobinas del estator. Existen 2 tipos: unipolares y bipolares.

UNIPOLARES

Los motores paso a paso unipolares se componen de 4 bobinas.



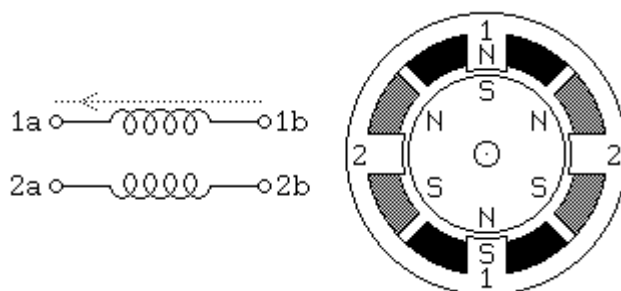
Se denominan así debido a que la corriente que circula por sus bobinas lo hace en un mismo sentido, a diferencia de los bipolares. Se componen de 6 cables externos, dos para cada bobina, y otro para cada par de éstas, aunque también se pueden ver con 5 cables, compartiendo el de alimentación para los 2 pares de bobinas.



En la figura se muestra un MPAP unipolar con 2 estratores de los cuales cada bobina se encuentra dividida en dos mediante una derivación central conectada a un terminal de alimentación, y del que va a depender el sentido de la corriente de cada bobina.

BIPOLARES

Se componen de 2 bobinas.



Para que el motor funcione, la corriente que circula por las bobinas cambia de sentido en función de la tensión, de ahí el nombre de bipolar, debido a que en los extremos de una misma bobina se pueden tener distintas polaridades.

Otra de las características que los diferencian de los unipolares son que estos llevan cuatro conexiones externas, dos para cada bobina. A diferencia de los unipolares que son más sencillos de utilizar, en los bipolares su dificultad reside en el control de la alimentación y el cambio de polaridad.

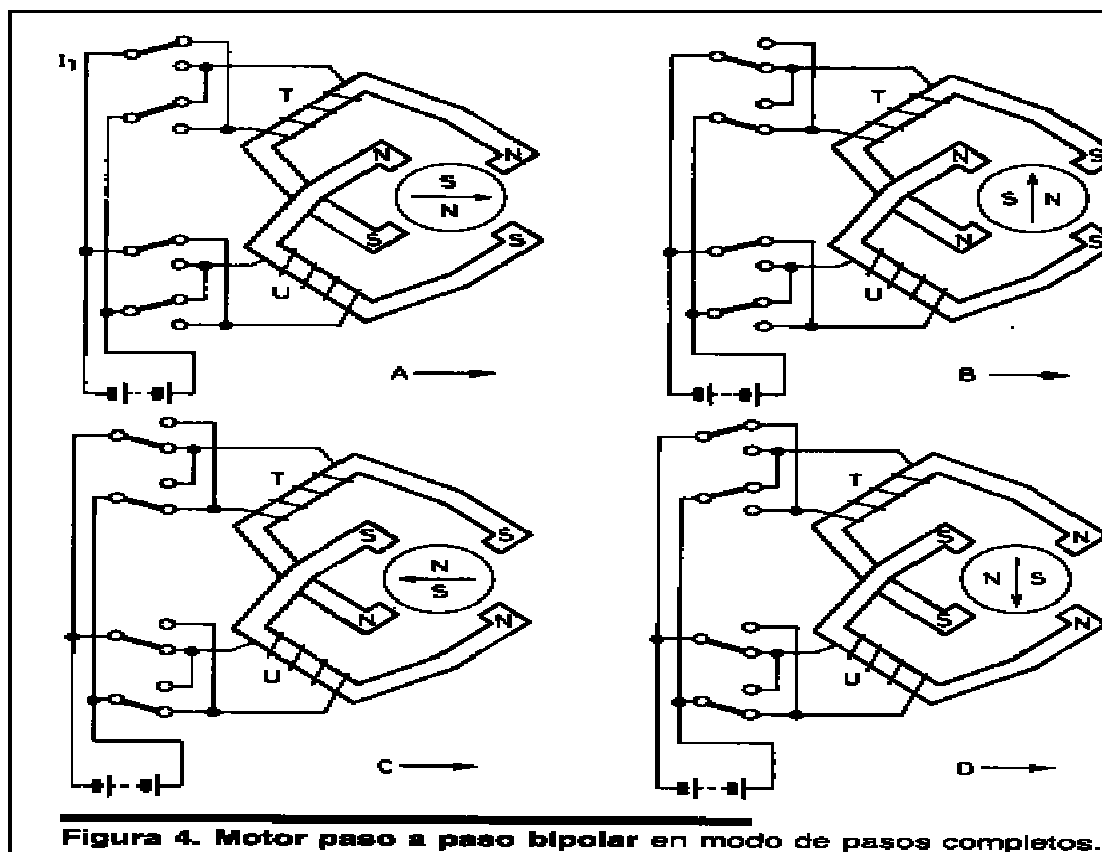


Figura 4. Motor paso a paso bipolar en modo de pasos completos.

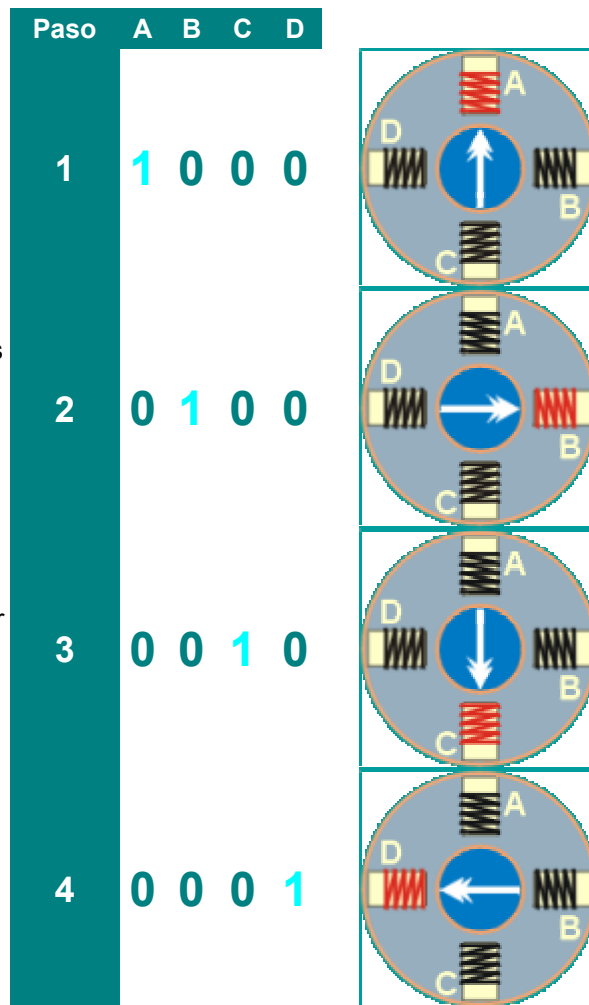
4. SECUENCIAS PARA MANEJAR MOTORES PASO A PASO (UNIPOLAR)

Existen tres métodos para el control de este tipo de motores , según las secuencias de encendido de bobinas.

Las secuencias son las siguientes:

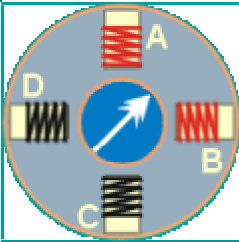
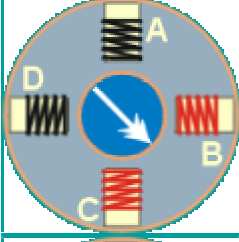
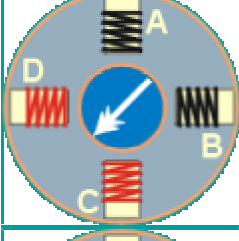
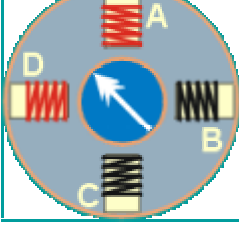
Paso simple:

Esta secuencia de pasos es la mas simple de todas y consiste en activar cada bobina una a una y por separado, con esta secuencia de encendido de bobinas no se obtiene mucha fuerza ya que solo es una bobina cada vez la que arrastra y sujeta el rotor del eje del motor



Paso doble:

Con el paso doble activamos las bobinas de dos en dos con lo que hacemos un campo magnético mas potente que atraerá con mas fuerza y retendrá el rotor del motor en el sitio. Los pasos también serán algo mas bruscos debidos a que la acción del campo magnético es mas poderosa que en la secuencia anterior.

Paso	A	B	C	D	
1	1	1	0	0	
2	0	1	1	0	
3	0	0	1	1	
4	1	0	0	1	

Medio Paso:

Combinando los dos tipos de secuencias anteriores podemos hacer moverse al motor en pasos mas pequeños y precisos y así pues tenemos el doble de pasos de movimiento para el recorrido total de 360° del motor.

Paso	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

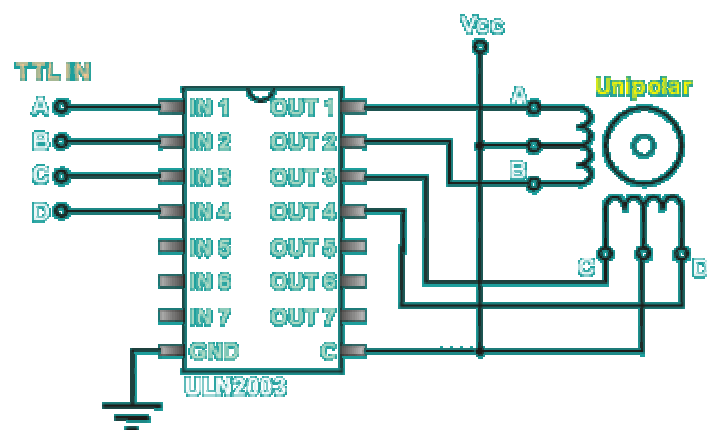


LA PRACTICA:

Unipolar: Para controlar un motor paso a paso unipolar deberemos alimentar el común del motor con Vcc y conmutaremos con masa en los cables del devanado correspondiente con lo que haremos pasar la corriente por la bobina del motor adecuada y esta generará un campo electromagnético que atraerá el polo magnetizado del rotor y el eje del mismo girará.

Para hacer esto podemos usar transistores montados en configuración Darlington o usar un circuito integrado como el ULN2003 que ya los lleva integrados en su interior aunque la corriente que aguanta este integrado es baja y si queremos controlar motores mas potentes deberemos montar nosotros mismos el circuito de control a base de transistores de potencia.

El esquema de uso del ULN2003 para un motor unipolar es el siguiente:



Las entradas son TTL y se activan a nivel alto, también disponen de resistencias de polarización internas con lo que no deberemos de preocuparnos de esto y podremos dejar "al aire" las entradas no utilizadas. Las salidas son en colector abierto.

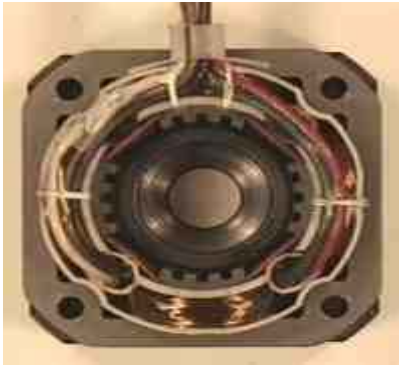
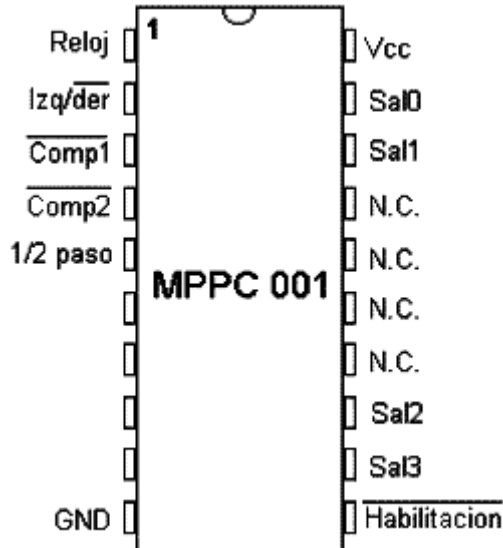


Imagen del rotor
bobinas

Imagen de un estator de 4

MPPC . Familia de circuitos integrados controladores de motores unipolares de 4 fases y bipolares de 2 fases.

MPPC 001. Controlador de motores paso a paso simple



MPPC 001 controlara un motor paso a paso con solo dos o tres bits. Dos bits le permitirán controlar el sentido de giro y en que instante el motor debe avanzar un paso. Con el tercer bit podrá seleccionar entre precisión 1 paso o 1/2 paso.

Es provisto en encapsulado DIP20. Todas sus entradas y salidas son TTL, con cual es optimo para ser utilizado con PICs, BasicX , Basic Stamps, etc...

El circuito integrado esta preparado para recibir una senal digital de realimentación de limite de corriente de

fase . Sus dos entradas para comparadores de le facilitaran implementar controles de corriente de fase por medio de switching.

Las salidas tienen capacidad para entregar una corriente máxima de 100 mA, capaces de entregar corriente suficiente para la excitación de los transistores de potencia adecuados para las tensiones y corrientes de operación del motor paso a paso a controlar.

Características técnicas

Condiciones Máximas

Tensión de alimentación	0 a +7v.
Tensiones de entrada	-2.5 a $V_{CC} + V_{CC}+1V$
Corriente de salida	100mA
Temperatura ambiente con alimentación	-65 a +125° c

Condiciones recomendadas de operación:

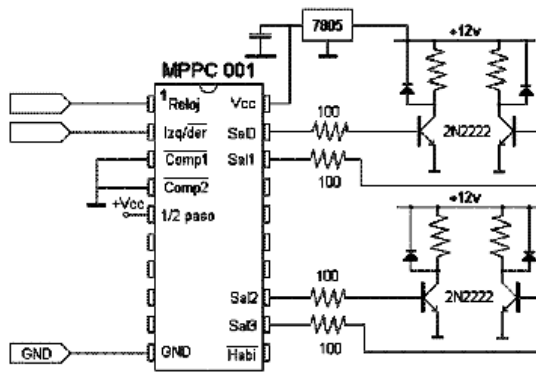
Parámetro	Min.	Nom.	Max.	
Vcc	4.75	5	5.25	v
Tamb	0	25	75	° c
Ancho de pulso minimo de la señal de reloj	15			nseg
La entrada de reloj será valida después de la subida de la alimentación a los			100	nseg
Nivel alto de las entradas	2		$V_{CC}+1$	v
Nivel bajo de las entradas	-1		0.8	v
Tensión de salida en alto	2.4			v
Tensión de salida en bajo			0.5	v
Corriente máxima de salida con las salidas deshabilitadas			10	m A

Definición de pines:

Pin	Nombre	E/ S	Descripción
1	Reloj	E	Cada vez que esta señal pasa de 0 a 1 produce el avance de un paso en el motor en el sentido determinado por el pin de izq/der.
2	Izq , /der	E	Establece el sentido de giro.
3	Comp1	E	Entrada para operacional de control de corriente por switching para las salidas 0 y 1.
4	Comp2	E	Entrada para operacional de control de corriente por switching para las salidas 2 y 3.
5	1/2 paso	E	En "1" genera una secuencia de control de 1/2 paso, en "0" genera una secuencia de 4 estados.
6	N.C.		
7	N.C.		
8	N.C.		
9	N.C.		
10	GND		0v. Tierra.
11	/habilitación	E	En "0" habilita las salidas del circuito integrado, en "1" las deshabilita.
12	Sal3	S	Salida de excitación 3
13	Sal2	S	Salida de excitación 2
14	N.C.		
15	N.C.		
16	N.C.		
17	N.C.		
18	Sal1	S	Salida de excitación 1
19	Sal0	S	Salida de excitación 0
20	Vcc		+4.75 a +5.25 volt

Circuito de aplicación típico:

La configuración mas sencilla es la de la del esquema de la figura. Sus salidas atacando directamente a transistores npn para la excitación de cada bobina del motor paso a paso. los pines de comparación comp1 y comp2 polarizados a tierra para que las salidas se encuentren permanentemente habilitadas. El pin de 1/2 paso polarizado a VCC para que el controlador genere una salida de paso completo. La entrada izq/der permite definir la dirección de giro del motor paso a paso, la cual será validada en el primer pulso presente en la entrada de reloj. Por cada pulso entregado al pin de reloj el motor paso a paso dará un paso.



FUNCIONAMIENTO DE MOTORES PASO A PASO (BIPOLAR)

Estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida.

A continuación se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo Bipolares:

PASO TERMINALES

	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Son más difíciles de construir porque tienen mas bobinas.

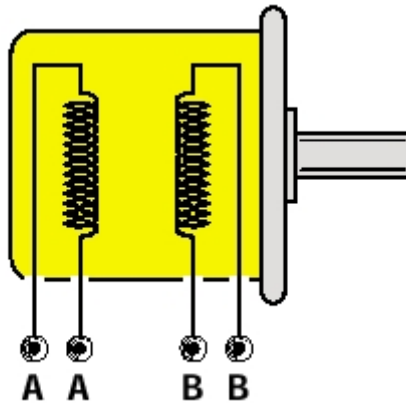
5. IDENTIFICACIÓN

¿Cómo reconocer cada tipo de motor?

Cuando trabajamos con motores paso a paso, muchas veces podemos no tener la ficha técnica del motor y por tanto no saber de que tipo es o de cómo lo podemos conectar a un circuito de control.

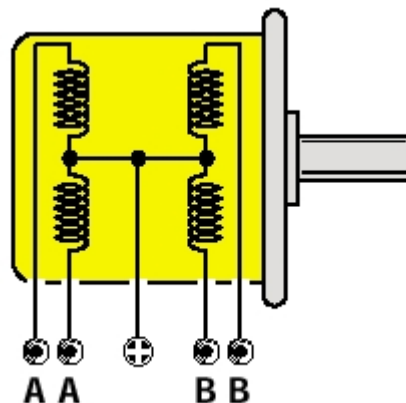
Lo primero que debemos mirar son los hilos que salen del interior del motor:

- **Si salen 4 hilos:** Tenemos un motor bipolar. Los 4 hilos que salen son los de las bobinas, ya que no tienen toma central. Además, son de menor tamaño que los unipolares.

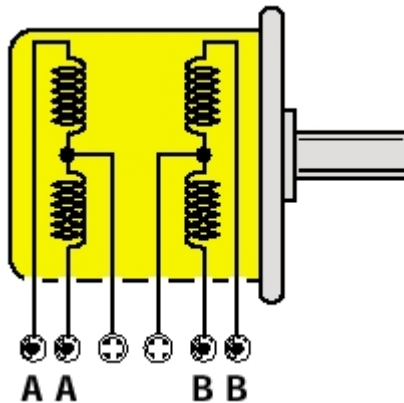


- **Si salen 5,6 u 8 hilos:** Tenemos un motor unipolar.

- Con 5 hilos: Las bobinas tienen una toma central que las une y que va unida a la toma de tierra.



- Con 6 hilos: Cada bobina tiene su toma central y ambas van unidas a tierra.



¿Cómo la tensión que soportan?

Los motores paso a paso, pueden soportar diversas tensiones (9V,12V,15V,etc), pero puede que el circuito de control no lo pueda soportar. Por eso se debe limitar las corrientes de las bobinas con dicho circuito, ya que si las tensiones o la corriente que circulan por el son demasiado altas, el circuito se dañará rápidamente.

6. EJEMPLO DE PROGRAMA EN C PARA CONTROLAR UN MOTOR PaP

Motor Unipolar de lógica inversa. Con pasos de 90°

```
#include <io51.h> // Incluimos librerias necesarias
#ifndef MOTP // Si motp no esta definido
#define MOTP P1 // Entonces lo definimos y se utilizara para introducir la
                // secuencia para que haga los pasos. (Solo se usa la parte baja los 4 bits
                // menos significativos)
#endif
#define NPASOS 4 // Npasos es igual a 4
#define static unsigned char pasos={0x05,0x09,0x0A,0x06}; // Definimos
                // los pasos (lo podemos encontrar en la tabla del fabricante)
#define R 1 // Definimos R como 1 para dar las vueltas en sentido del reloj
#define CR 0 // CR es sentido contrario al reloj.
static unsigned char cpaso=0; // Cpaso es la variable que utilizaremos para
                // saber el paso actual y poder poner el siguiente correctamente.
void motpp_off(void) // Esta funcion aplica una mascara que hace que la
                // parte baja de la variable MOTP se ponga a 1s y por lo tanto el motor esta
                // apagado.
{
    MOTP = (MOTP | 0x0F);
}
void motpp_r(void) // Esta funcion hace que el motor de una vuelta en
                // sentido de las agujas del reloj.
{
    cpaso = (cpaso + 1) % NPASOS; // Ponemos el paso siguiente a efectuar
    // (esta funcion suma 1 ciclicamente, 0+1=1, 1+1=2 2+1=3 3+1=0
    MOTP = ((MOTP | pasos[cpaso]) & (0xF0 | pasos[cpaso])); // Aplicamos las
    // mascarar necesarias para conseguir que en la parte baja de motp este la
    // secuencia del paso[cpaso] (del paso que queremos hacer).
}
void motpp_cr(void) // Esta funcion hace que el motor de una vuelta en
                // sentido contrario a las agujas del reloj.
{
    cpaso = (cpaso-1) % NPASOS; // Ponemos el paso siguiente a efectuar (esta
    // funcion resta 1 ciclicamente, 3-1=2 2-1=1 1-1=0 0-1=3
```

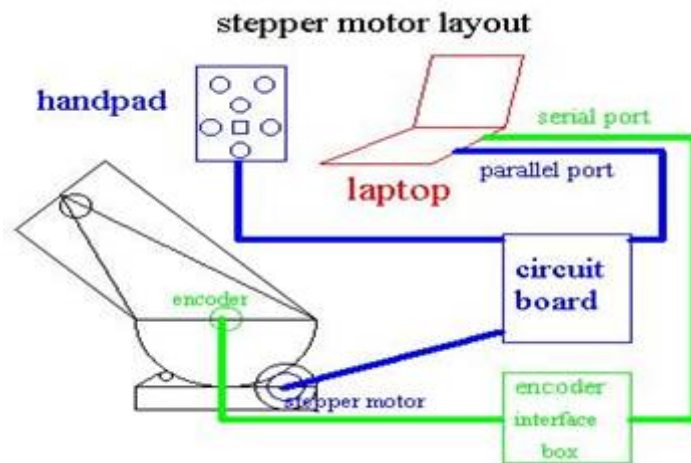
```

MOTP = ((MOTP | pasos[cpaso]) & (0xF0 | pasos[cpaso])); // Aplicamos las
mascaras necesarias para conseguir que en la parte baja de motp este la
secuencia del paso[cpaso] (del paso que queremos hacer).
}
void pasos(unsigned char s, unsigned int t, unsigned int d) // La variable s
indica si es en sentido R o CR, la variable t indica cuantos pasos se van a dar
y la variable d indica el retraso (delay)
{
while (t--) // Este bucle se repetira t veces, con lo cual hara t pasos
{
if (s) motpp_r(); // Si el sentido es R se ejecuta la function en sentido de
las agujas del reloj
else motpp_cr();// Si el sentido es CR se ejecuta la function en sentido
contrario a las agujas del reloj
retardo(d); // Invoca a la function retraso para introducir un retraso entre
paso y paso.
}
}
void retardo (long i) // Introduce un retraso
{
while (i--); // Ejecuta x veces un while que no hace nada, con lo cual
introduce un retraso.
}
void main(void)
{
pasos(R,40,500); // Dara 40 pasos con 500 unidades de tiempo (u.t.) de
retraso en sentido R.
retardo(5000); // Retraso de 5000 unidades de tiempo (u.t.)
while(1)
{
pasos(R,200,10); //Sentido R 200 pasos 10 u.t.
retardo(5000); // Retraso 5000 u.t.
pasos(CR,200,10); //Sentido CR 200 pasos 10 u.t.
retardo(5000); // Retraso 5000 u.t.
}
}

```

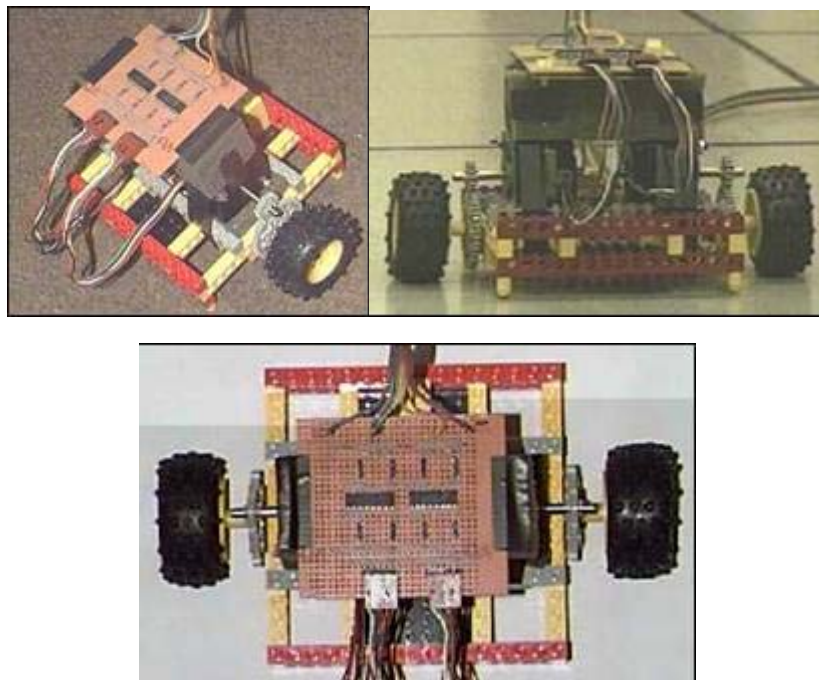
7. Aplicaciones de Motores PaP

Telescopio:



Varios motores paso a paso permitirían que se controlara la latitud y longitud del telescopio.

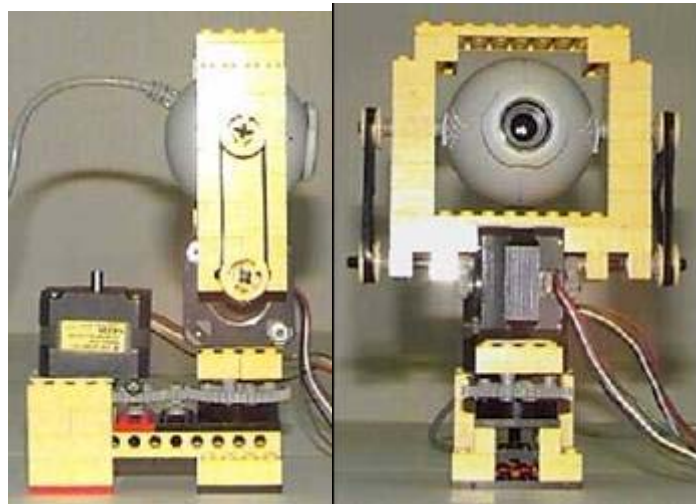
Robot



Con los motores paso a paso podemos hacer que los robots se muevan, si se le pone un sensor podria saber donde estan los obstaculos y como los motores paso a paso son muy precisos se podria acercar lo maximo posible antes de bordearlo.

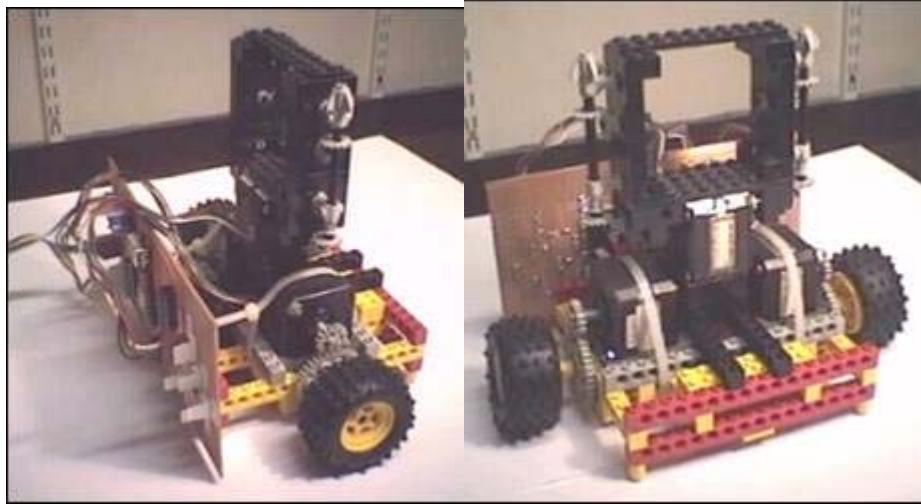
Este es un ejemplo de control del moto paso a paso.

Webcam



En este ejemplo, con los motores paso a paso, podemos controlar remotamente la webcam para que grabe en la direccion que queramos. Esto es muy util para las empresas que tiene puesto un sistema de seguridad.

Robot con Webcam



Si unimos las dos ideas anteriores conseguimos una cámara que además de poder apuntar hacia donde queramos, tiene movilidad en todas las direcciones. Esto es útil para meterlo en sitios donde el hombre no puede llegar.