

### 3.1 Tipos de motores de pasos

Los motores a pasos son muy utilizados en la actualidad para el desarrollo de mecanismos que requieren de una alta precisión [23]. Este tipo de motores poseen cualidades especiales por el hecho de poderlos mover desde un paso hasta una secuencia interminable de pasos dependiendo de la cantidad de pulsos que se les aplique. Este paso puede ir desde pequeños movimientos de  $1.8^\circ$  hasta de  $90^\circ$ . Es por eso que este tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador o un driver.

Existen básicamente 3 tipos de motores de pasos: de reluctancia variable (VR), imán permanente (PM), e híbridos (HM). Estos difieren entre sí por las características de construcción basada en el uso de imanes permanentes y/o rotores de hierro con estatores de acero laminado [23].

#### 3.1.1 Motores de reluctancia variable.

El motor de pasos VR consiste en un rotor dentado de acero suave y un estator embobinado; no utiliza imanes permanentes y como resultado, el motor se puede mover libremente sin percepción de detención si el motor está apagado. Cuando las bobinas del estator son energizadas con corriente directa (DC) los polos se magnetizan y la rotación ocurre debido a que los dientes del rotor son atraídos hacia los polos del estator (fig. 3.1) [24], [25], [26], [27].

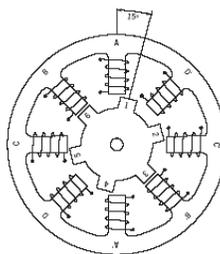


Fig. 3.1 Vista transversal de un motor de pasos de reluctancia variable.

Este tipo de construcción es utilizado en aplicaciones no industriales que no requieren un alto grado de torque, así como de micro deslizamientos de posición.

### 3.1.2 Motor híbrido

El motor HM combina lo mejor de las características de los motores VR y PM. Su construcción consiste en multi-dentación en los polos del estator e imanes magnéticos en el rotor (fig 3.2). Los dientes del rotor ayudan a una mejor orientación del campo magnético lo que incrementa las características dinámicas cuando se compara con los motores VR y PM. Aunque tiene un mayor costo, también provee un mejor desempeño en velocidad y resolución [23], [24], [28].

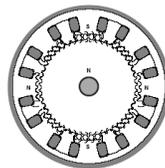


Fig. 3.2 Vista transversal de un motor de pasos híbrido.

Los motores más comunes de HM presentan 200 dientes en el rotor y realizan pasos angulares de 1.8 grados. Otro tipo de motores HM están disponibles en configuraciones de 0.9 y 3.6 grados. Debido a que estos motores poseen alto torque estático y dinámico, funcionan muy bien a altas velocidades y son utilizados en una infinidad de aplicaciones industriales.

### 3.1.3 Motor de imán permanente.

El motor PM presenta, como su nombre lo indica, imanes permanentes que conforman el rotor. Es relativamente para baja velocidad y con grandes ángulos de paso; su simple construcción y bajo costo lo hacen ideal para aplicaciones no industriales como posicionamiento de giro en una impresora.

A diferencia de los otros tipos de motores de pasos, el motor PM no presenta dientes en el rotor y en su lugar se encuentra alternado con polos Norte-Sur magnéticos situados en línea paralela con el eje fig. 3.3. Estos polos magnéticos proveen un incremento en la intensidad de flujo magnético, por lo que se mejora el desempeño del torque al compararse con los motores VR [28].

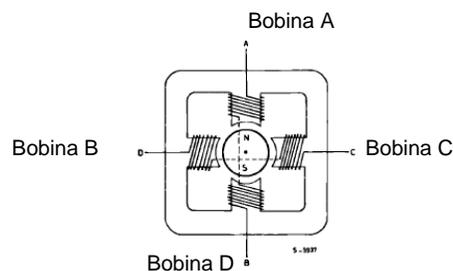


Fig. 3.3 Vista transversal de un motor de pasos de imán permanente.

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

### 3.1.3.1 Unipolares

Estos motores suelen tener 6 ó 5 cables de salida dependiendo de su conexión interna, comúnmente por 4 de los cables se reciben los pulsos que indican al motor la secuencia y duración de los pasos y los restantes sirven como alimentación al motor fig.3.4, 3.5 [23], [24], [27].

Los motores unipolares son llamados así porque, al tener un doble arrollamiento en sus bobinas, no es necesario invertir la polaridad de la alimentación.

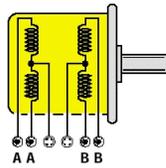


Fig. 3.4 Cuando salen 6 hilos del cuerpo del motor, quiere decir que el par de bobinas tienen una toma central, cada una.

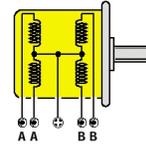


Fig. 3.5 En los motores unipolares, de los que salen 5 hilos, las bobinas A y B están conectadas entre ellas, directamente en su interior, por una sola toma central.

### 3.1.3.2 Secuencias para manejar motores paso a paso unipolares

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso [24].

### 3.1.3.3 Secuencia normal

Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención. En la tabla 3.1 se muestran los valores de voltaje que deben suministrarse al motor para la realización de los pasos:

Tabla 3.1 Secuencia normal de pasos para motores unipolares

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

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

### 3.1.3.4 Secuencia del tipo wave drive

En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave, pero por otro lado al estar solo una bobina activada, el par de paso y retención es menor. En la tabla 3.2 se muestran los valores que deben suministrarse al motor:

Tabla 3. 2 Secuencia de tipo wave drive de pasos para motores unipolares

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

### 3.1.3.5 Secuencia del tipo medio paso

En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma que se realice un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. En la tabla 3.3 se ve la secuencia completa que consta de 8 movimientos en lugar de 4.

Tabla 3.3 Secuencia del tipo medio paso para motores unipolares

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	-V	-V	-V
2	+V	+V	-V	-V
3	-V	+V	-V	-V
4	-V	+V	+V	-V
5	-V	-V	+V	-V
6	-V	-V	+V	+V
7	-V	-V	-V	+V
8	+V	-V	-V	+V

### 3.1.3.6 Bipolares

Los motores bipolares son llamados así porque para hacer girar el eje, deben invertir la polaridad de la alimentación de sus bobinas, según una secuencia bien precisa fig. 3.6.

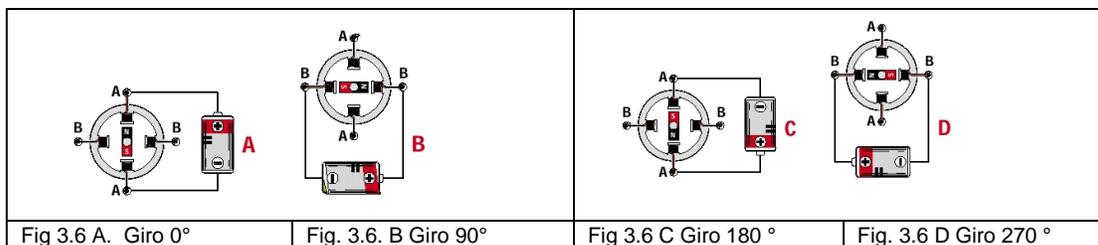


Fig. 3.6 Secuencia y la polaridad de la alimentación a aplica sobre las bobinas A-A y B-B para hacer girar el eje del motor con una progresión de un paso cada vez

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

Estos motores se reconocen fácilmente por los 4 hilos que salen de su cuerpo. Fig. 3.7 Necesitan ciertas manipulaciones para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Es necesario además un puente H por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor paso a paso de 4 cables, se necesitaran usar dos puentes H.

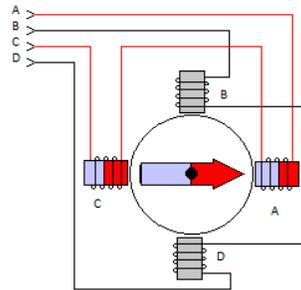


Fig. 3.7 Motor de 4 hilos sin toma central

### 3.1.3.7 Secuencia para manejar motores paso a paso bipolares

Como se dijo anteriormente, 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 3.4 con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo bipolares:

Tabla 3.4 Secuencia para manejar motores bipolares

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

Como punto final al tema de los motores a pasos cabe destacar que debido a que éstos son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience.

Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

---

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto,
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar,
- Puede girar erráticamente,
- Puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. Si se desea cambiar el sentido de giro debería también ser realizado previamente bajando la velocidad del motor y luego cambiar el sentido de rotación.

Los motores bipolares son más sencillos ya que tienen unas dimensiones menores que los unipolares. Es por esta razón, por la que se prefiere utilizar los motores bipolares, ya que suponen menor problema de espacio en el interior de cualquier dispositivo.

### 3.2 Funcionamiento de los motores a pasos

Si abrimos uno de estos motores, nos encontraremos algo similar a una simple dinamo de bicicleta, un imán con múltiples polos, conectado al eje del motor fig. 3.8, nos encontraremos las bobinas de excitación que sirven para hacer girar el rotor mostrado de la figura 2, y un cierto número de bobinas excitadoras situadas sobre la pared del motor fig. 3.9 y sobre el eje del motor está fijado un cilindro provisto de 2 rangos de dientes magnéticos que se posicionan frente a las bobinas.



Fig. 3.8 Las bobinas de excitación.



Fig. 3.9 Cilindro de 2 rangos de dientes magnéticos.

Para comprender aún mejor como se procede para hacer girar un paso el eje del motor, analicemos un motor teórico provisto de 4 bobinas excitadoras únicamente fig. 3.10, excitadas por un solo imán.

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

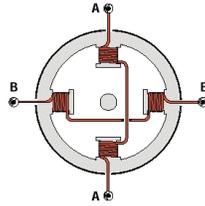


Fig. 3.10 Motor teórico provisto de 4 bobinas de excitación.

Si aplicamos una tensión sobre las 2 bobinas A-A, el imán será atraído hacia sus 2 bobinas, y se obtendrá entonces la rotación de un paso fig. 3.6 A. Si retiramos la alimentación de las 2 bobinas A-A para aplicarla sobre las bobinas B-B, el imán será atraído hacia estas 2 bobinas y se obtendrá de nuevo la rotación de otro paso fig. 3.6 B. Si aplicamos la tensión sobre las bobinas A-A, pero con una polaridad inversa, el imán será de nuevo atraído hacia estas 2 bobinas y se obtendrá de nuevo otro avance de paso fig. 3.6 C. Para obtener todavía otro paso de rotación, se deberá aplicar una tensión de polaridad inversa sobre las bobinas B-B fig. 3.6 D.

De manera que para realizar un giro completo del eje del motor tendremos que aplicar de manera secuencial una tensión sobre las bobinas A-A, luego sobre las bobinas B-B, luego de nuevo, pero con una polaridad inversa, sobre las bobinas A-A y sobre las bobinas B-B.

Cuanto mayor sea el número de imanes presentes sobre el rotor y la cantidad de bobinas presentes en el estator, mayor será el número de pasos necesarios para efectuar un giro completo del eje del motor.

Existen motores que ejecutan un giro completo con 20 pasos, otros con 48 pasos y otros incluso, con 100 ó 200 pasos.

Podemos encontrarnos a veces una etiqueta sobre el cuerpo del motor, sobre la que figura un número, por ejemplo  $1.8^\circ$ ,  $7.5^\circ$ ,  $15^\circ$ , etc. indicando los grados que gira el eje en cada paso.

La tabla 3.5, indica el número de pasos necesarios para obtener un giro completo en función de los grados.

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

Tabla 3.5

Valor de un paso	Nº de pasos para un giro
18°	20
15°	24
9°	40
7.5°	48
3.6°	100
1.8°	200

Conociendo el número de grados recorridos por el eje del motor a cada paso, podemos calcular cuantos pasos son necesarios para que el eje del motor efectúe un giro completo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Total de pasos} = 360 / \text{grados en cada paso}$$

Conociendo el número total de pasos necesarios para obtener un giro completo de eje del motor, podemos conocer el valor de la rotación de un paso en grados, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Grados por paso} = 360 / \text{número total de pasos}$$

No todo el mundo sabe que los motores paso a paso pueden igualmente girar medio paso, si se aplica sobre las bobinas A-A y B-B una tensión según la secuencia de la figura 3.11.

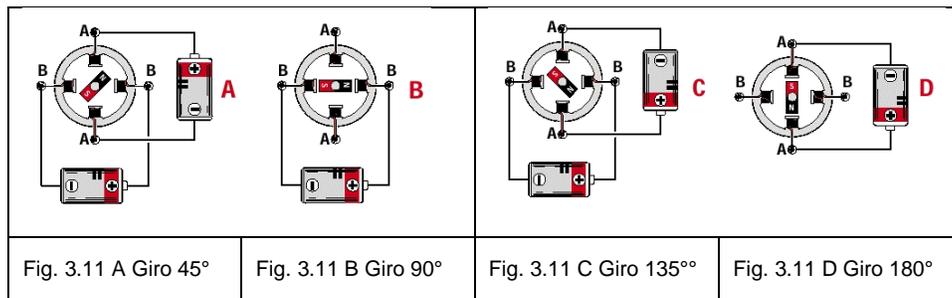


Fig. 11 Secuencia y polaridad para girar el motor medio paso

Para comprender como es posible hacer girar medio paso el eje del motor, observemos la fig. 3.11. Si aplicamos una tensión sobre las bobinas A-A y simultáneamente sobre las bobinas B-B, el imán se posicionará en el centro de las 2 bobinas A-B, y se obtendrá de esta manera medio paso de giro fig. 3.11 A. Si retiramos la tensión de las bobinas A-A solamente, el imán será atraído hacia las 2 bobinas B-B, y se obtendrá de nuevo una rotación de otro medio paso fig. 3.11 B. Si aplicamos de nuevo una tensión, esta vez con una polaridad inversa, sobre las bobinas A-A, el imán se posicionará en el centro de las

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

---

bobinas B-A, y obtendremos entonces otro medio paso de rotación fig. 3.11 C. Para obtener otro medio paso, será suficiente con retirar la tensión presente sobre las bobinas B-B fig. 3.11 D.

No debemos inquietarnos por las secuencias necesarias y las inversiones de polaridad requeridas, ya que este trabajo se encomienda a circuitos controladores diseñados para tales funciones, y de los cuales veremos un ejemplo en este trabajo, con el que podremos practicar las teorías estudiadas.

### *3.3 Identificación de los cables*

Aunque en el interior de estos motores se encuentran varias bobinas excitadoras, todas están conectadas en serie o paralelo y poseen siempre 4 ó 5 – 6 y hasta 8 hilos saliendo de su cuerpo.

Como ya hemos visto, los motores paso a paso más usados son los de 4 hilos, llamados bipolares.

Los motores de 5 ó 6 hilos, llamados unipolares, están provistos de un doble arrollamiento con toma central fig. 3.8 y 3.9, por lo general conectado al positivo de la alimentación, mientras que los 2 hilos A-A y B-B están conectados a masa, con respecto a una secuencia precisa e indispensable para la rotación.

Los motores unipolares, provistos de 6 hilos pueden igualmente ser utilizados como bipolares, a condición de no utilizar la toma central. No es lo mismo para los motores unipolares, provistos de 5 hilos, motivado por los 2 hilos que están conectados entre sí en el interior.

Los colores de los 4 ó 6 hilos varían de un fabricante a otro y por consiguiente el primer problema a resolver es localizar los 2 hilos de las bobinas A-A y de las bobinas B-B y , las 2 tomas centrales que se encuentran en los motores de 6 hilos.

En este caso tenemos un motor de 4 hilos, con el multímetro conmutado en la opción "OHM" (medición de resistencias), y buscamos los 2 hilos que dan algún valor ohmico fig. 3.13. Si ignoramos cuales son, en un motor bipolar, la pareja de hilos conectados a las bobinas A-A o B-B, es suficiente coger un multímetro en la opción 'Ohm' para medir resistencias y localizar que 2 hilos dan algún valor Óhmico

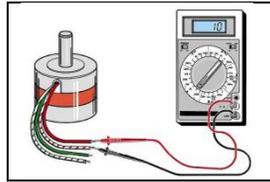


Fig. 3.13 Pareja de hilos conectados a las bobinas A-A o B-B medir resistencias.

Estos 2 hilos pertenecen a una pareja de bobinas, los otros 2 pertenecen a la otra pareja. No es necesario saber que pareja de hilos pertenecen a las bobinas A-A o B-B, ni el principio y el fin de estas bobinas, porque, una vez los hilos se conectan al circuito de control, si seleccionamos que el eje gire en el sentido contrario a las agujas del reloj, será suficiente, para hacerlo girar en el sentido correcto, invertir los 2 hilos A-A y los 2 hilos B-B.

### 3.4 Consideraciones para fabricación de un motor paso a paso

Los motores paso a paso pueden ser alimentados no importa con que tensión, es decir 9, 12, 15, 18, 24 o 28 [V], a condición de que el circuito de control disponga de un sistema que limite la corriente que circula por sus bobinas.

Sin este control, corrientes muy elevadas atravesarán los arrollamientos de las bobinas, aumentando al mismo tiempo que el valor de la tensión de alimentación. En este caso, no solo el circuito de control se dañará rápidamente, sino que simultáneamente los arrollamientos de las bobinas del motor se calentarán en exceso y terminarán dañándose igualmente.

Si tenemos un motor en el que la tensión de alimentación es de 12 [V], preparado para absorber una corriente máxima de 0,3 [A], y medimos el valor ohmico de sus bobinas, podremos comprobar que esta es de 2,5 [ $\Omega$ ]. Si este motor es alimentado con una tensión de 12 [V] sin limitación de corriente, según la ley de Ohm bien conocida:

$$I [A] = V [V] / R [\Omega]$$

Tendremos que por las bobinas circulará una corriente de:

$$12 [V] / 2.5 [\Omega] = 4,8 [A]$$

Si a continuación lo alimentamos con una tensión de 24 [V], la corriente aumentará de esta manera:

$$24 [V] / 2.5 [\Omega] = 9.6 [A]$$

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

---

Para evitar que el controlador o las bobinas del motor (o ambos) puedan dañarse, es suficiente con limitar la corriente a un máximo de unos 0,3 amperios.

### 3.4.1 Generación de torque

El torque producido por un motor de pasos depende de diferentes factores:

- La velocidad de los pulsos de pasos
- El manejo de corriente DC en las bobinas del estator
- El tipo de diseño de control del motor

En un motor de pasos, el torque es generado cuando el flujo magnético del rotor y estator se encuentra desalineado entre ellos. Para obtener un mejor flujo magnético, el estator se debe construir con material de alta permeabilidad magnética. La presencia de esta alta permeabilidad causa que el flujo magnético sea confinado en su mayor parte por la orientación definida según la estructura del estator en la misma manera que la corriente es confinada a los conductores de un circuito electrónico. Esto da como resultado la concentración del flujo en los polos del estator. El torque producido por el motor es proporcional a la intensidad del flujo magnético generado cuando la bobina está energizada.

La relación básica que define la intensidad del flujo magnético está definida por la ecuación:  $H = (N \times i) / l$  donde  $N$  es el número de vueltas de la bobina,  $i$  es la corriente en A,  $H$  es la intensidad de flujo magnético en Teslas, y  $l$  es la longitud de la bobina.

Esta relación muestra que la intensidad de campo magnético y por consecuencia el torque, es proporcional a la longitud del camino del flujo magnético. De esta base, se puede ver que una dimensión del marco NEMA en un motor de pasos puede tener diferentes posibilidades de torque con solo cambiar los parámetros en las bobinas del estator.

### 3.4.2 Fases, polos y ángulos de paso

Normalmente los motores de pasos tienen 2 fases, pero también existen motores de 3 y 5 fases.

Un motor bipolar con 2 fases tiene una bobina por fase y la corriente que circula por ellas cambia de polaridad según la operación del motor; un motor unipolar tiene una bobina con un *tap* central por fase y la corriente siempre circula en un

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

---

mismo sentido. También hay motores con 2 bobinas separadas por cada fase, y pueden ser controlados en modo unipolar o bipolar según sea el caso.

Un polo puede ser definido como una de las regiones donde la densidad de flujo magnético es concentrada. Ambos, el rotor y el estator presentan estos polos.

Los motores de pasos actuales contienen diferentes arreglos en el número de polos para variar el número de pasos y de ángulo de paso por revolución.

La relación que existe entre el número de polos del rotor y los polos del estator, junto con el número de fases lo que determina el ángulo de paso de un motor de pasos. Esto se muestra en la siguiente ecuación:

$\text{Ángulo de paso} = 360 / (N_{ph} \times Ph) = 360 / N$ , donde  $N_{ph}$  es el número de polos en el rotor,  $Ph$  es el número de pasos y  $N$  es el total de polos para todas las fases juntas.

### 3.4.3 Parámetros mecánicos: carga, inercia y fricción

El desempeño de un sistema de motor de pasos también es dependiente en cierta medida de los parámetros mecánicos de la carga a la que está sujeto. Estos parámetros son típicamente friccionales, inerciales o una combinación de los dos.

La fricción es la resistencia al movimiento debido a las irregularidades de las superficies que se encuentran en contacto. Un mínimo del torque es necesario para superar esta fricción (al menos igual a la fuerza de fricción). Un incremento en la fricción debido a la carga disminuye los niveles de velocidad del motor, así como la aceleración y se origina un aumento en el error de posición.

La inercia es la resistencia que se presenta en un movimiento a los cambios de velocidad. Una alta inercia debido a la carga requiere un alto torque de inercia inicial, lo mismo que para el frenado. El aumento de la inercia de carga aumenta la inestabilidad de la velocidad, así como el tiempo para llegar a una cierta velocidad deseada.

Es importante considerar estos parámetros mecánicos cuando se diseña un motor de pasos, debido a que estos influyen en la operación del motor.

En nuestros días los motores paso a paso tienen una amplia gama de aplicaciones; esto es debido a que poseen una gran precisión. Esta es la característica que fue determinante en su elección. En el presente capítulo, en el primer apartado, se describe de manera general los principios de funcionamiento de los motores paso a paso. En el siguiente punto se explica el diseño de la parte

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

de potencia de los motores, es decir el manejo de las corrientes de las bobinas. Finalmente, en la última parte del capítulo se hará una breve introducción del diseño del controlador de los motores.

### 3.5 Controlador de los motores paso a paso

Los motores a pasos requieren de una secuencia de pulsos en sus bobinas para generar su movimiento. En este proyecto el controlador es capaz de enviar esta secuencia, como se ha mencionado antes en el mecanismo se utiliza un motor paso a paso; por lo que se debe realizar un controlador que tenga la capacidad de manejar dos secuencias o ambos sentidos, cabe destacar que ambas secuencias no son manejadas simultáneamente pues de lo contrario el motor simplemente no generaría movimiento alguno.

En el circuito de control que montaremos, hemos insertado un interruptor que sirve para invertir el sentido de la rotación sin necesidad de modificar el emplazamiento de los hilos de las bobinas.

El esquema eléctrico que podemos ver en la fig. 3.14, y que utiliza los integrados IC1 A IC4, es el circuito que entrega en los bornes A-A y B-B las combinaciones y la potencia necesaria para hacer girar cualquier tipo de motor paso a paso.

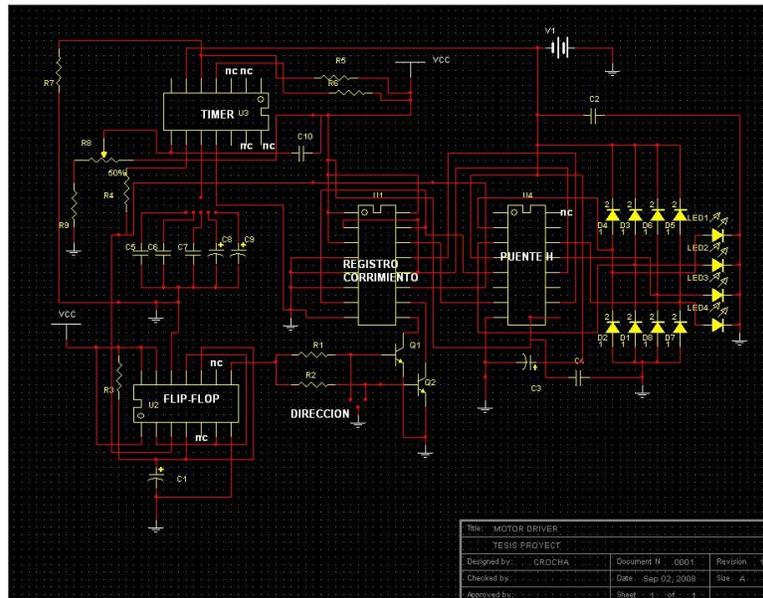


Fig. 3.14 Esquema electrónico del control del motor PAP.

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

El esquema eléctrico representado en la figura 3.14, y que utiliza el circuito integrado ICL8038, sirve para enviar al integrado IC2 los impulsos de reloj para hacer girar el motor a diferentes velocidades.

El circuito integrado ICL8038 es un generador de señales configurado para tener una frecuencia de 1Hz a 100kHz así como simplemente tener a la salida una señal cuadrada y se envían al pin 11 del circuito integrado 74LS194.

Cada vez que el reloj está en alto (positivo) el estado de las salidas del 74LS194 (pines 12, 13, 14 y 15) son rotadas. La dirección de esta rotación se determina mediante la llave S2. Cuando S2 está en la posición central (OFF), el motor se detiene.

Cuando la base del transistor Q6 está a nivel bajo, las salidas del 74LS194 cambian en el orden 15 - 14 - 13 - 12 - 15, etc. Cuando la base del transistor Q6 está a nivel alto, las salidas del 74LS194 cambian en el orden 12 - 13 - 14 - 15 - 12, etc.

Los pulsos existentes en las salidas del 74LS194 se envían al motor a través de un circuito integrado L298. Este se encarga de manejar la corriente necesaria para excitar las bobinas fig. 3.15.

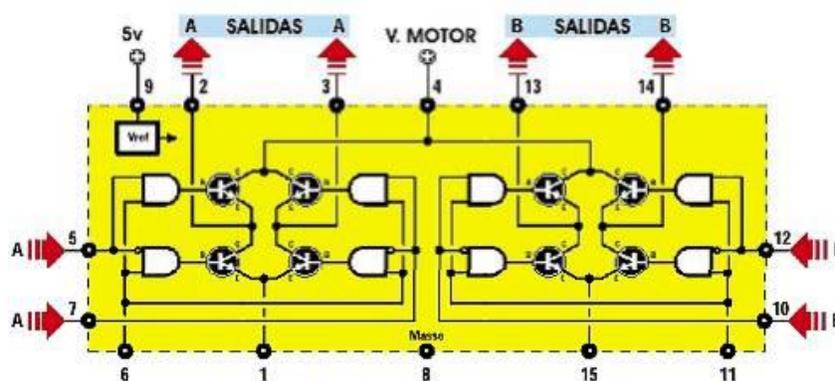


Fig. 3.15 Esquema sinóptico del circuito integrado L298 [29].

El L298 sirve para alimentar la pareja de bobinas A-A y B-B. Teniendo en cuenta que hay motores que pueden absorber hasta 1 Amperio, deberemos fijar el integrado a un disipador de calor, para que disipe convenientemente el calor generado. El L298 también construido por SGS-Thomson, es en realidad el verdadero "controlador" del motor, ya que recibe de IC3 todas las secuencias

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

---

lógicas para manejar los 8 transistores de potencia situados en su interior, estos transistores tienen como misión alimentar a las bobinas A-A y B-B del motor.

Este circuito integrado, capaz de alimentar los motores bipolares, puede entregar una corriente máxima de 2 amperios en sus salidas. Los diodos Schottky, DS2 a DS9, que se conectan a las salidas A-A y B-B, tanto sobre el positivo como sobre la masa, sirven para proteger al circuito integrado de tensiones peligrosas, siempre presentes en las fases de conmutación.

Las patillas 11 y 12 de IC2 y la patilla 9 de IC3, están alimentadas con una tensión estabilizada de 5v, mientras que en la patilla 4 de IC3, se aplica una tensión continua no estabilizada, que servirá para alimentar las bobinas del motor.

Este último circuito será de gran utilidad para conocer el comportamiento de un motor PAP, aplicando sobre las patillas 2 a 5 del conector CONN1 un nivel lógico 1, o bien un nivel lógico 0. Con lo que podríamos conectarlo directamente a un microcontrolador, por ejemplo un PIC, y manejar el motor según un programa.

Está sería una aplicación típica en robótica. Los motores paso a paso, tradicionales no solo en la robótica, sino en muchos otros dispositivos comunes, como discos de ordenador, impresoras, fotocopiadoras etc.

Nota: los circuitos integrados de la serie 7400 son considerados obsoletos, no obstante son fáciles de conseguir y su costo es muy bajo. Esta es la razón por la que se les ha elegido para este proyecto.

Cada pulso positivo en las salidas del 74LS194 provocará el encendido de una de las bobinas del motor.

En la fig. 3.14 pueden verse los Flip Flop incluidos en el 74LS74. La sección FF1 se utiliza como un divisor binario, mientras que FF2 funciona como un Flip Flop "RS". Después de cada pulso de reloj, el Flip Flop es puesto en SET, con Q en alto. Esto permite comandar al 74LS194 secuenciar sus salidas en uno u otro sentido de acuerdo a la posición de S2; las salidas del 74LS194 son mandadas al puente H (etapa de potencia) para obtener la corriente necesaria para el funcionamiento del motor.

En la fig. 3.16 se muestran las formas de onda que se pueden encontrar a la salida del driver:

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

### SN54194, SN54LS194A, SN54S194, SN74194, SN74LS194A, SN74S194 4-BIT BIDIRECTIONAL UNIVERSAL SHIFT REGISTERS

typical clear, load, right-shift, left-shift, inhibit, and clear sequences

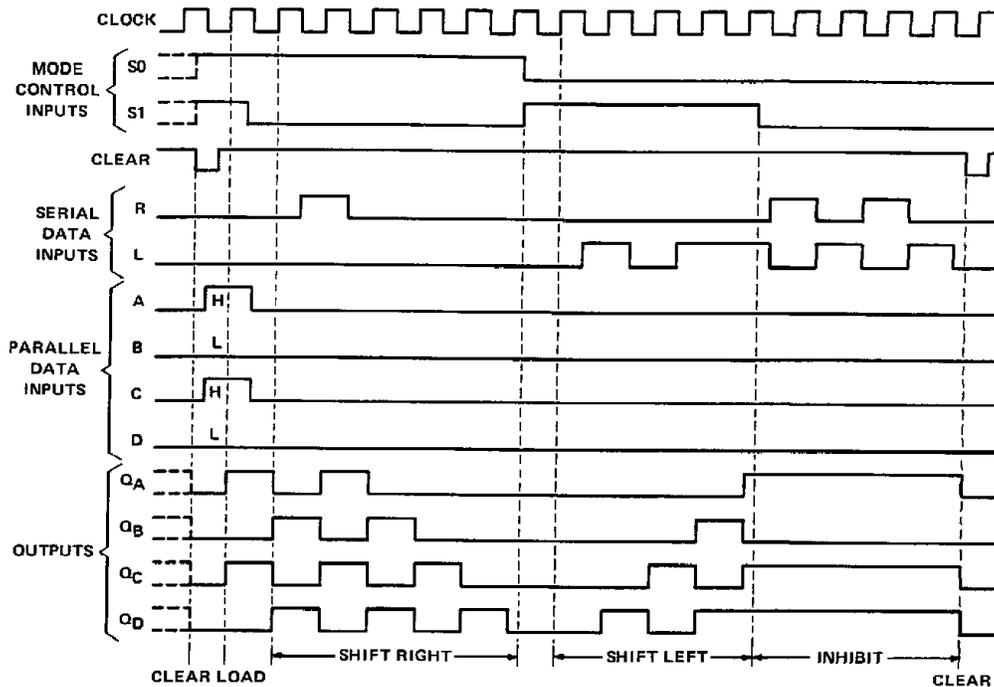


Fig. 3.16 Datasheet gráficas del 74LS194 [30]

### 3.6 Puente h (I298)

Los motores paso a paso que operan bajo el esquema bipolar requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de sus bobinas en la secuencia apropiada. Dicha corriente es muy elevada con respecto a lo que el driver puede soportar. Por lo tanto es necesario utilizar un puente H por cada bobina del motor. A continuación se presenta la configuración así como la función de un Puente H.

Un puente H es básicamente un arreglo de 4 interruptores acomodados como se muestra en la figura 3.15.

Estos interruptores A, B, C, y D pueden ser de transistores bipolares, mosfets, jfets, relevadores o cualquier combinación de elementos. Los puentes H se utilizan para hacer funcionar el elemento central (en este caso el motor) en doble sentido sin tener que manejar voltajes negativos.

Si se cierran solamente los contactos A y D la corriente circulará en un sentido a través del motor, y si se cierran B y C la corriente circulará en el otro sentido.

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

---

Siempre se debe tener cuidado en no cerrar todos al mismo tiempo, porque esto ocasionaría un corto circuito. Para ello se colocan diodos de protección para el motor así aseguramos que no regrese la corriente, debido al efecto inductivo de sus bobinas.

Ahora bien se define un motor como aquella máquina eléctrica rotativa que es capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica.

Los denominados motores paso a paso son un caso bastante particular dentro de los motores en general. La señal eléctrica de alimentación no es ni c.c. ni a.c. como en otros casos, sino un tren de pulsos también conocido como pulso de reloj que se suceden con una secuencia, previamente definida, a cada una de las bobinas que componen el estator. Cada vez que a alguna de estas bobinas se les aplica un pulso, el motor se desplaza un paso, y queda fijo en esa posición. Dependiendo de las características constructivas del motor este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de tan solo  $1.8^\circ$ , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso ( $90^\circ$ ) y 200 para el segundo caso ( $1.8^\circ$ ), para completar un giro completo de  $360^\circ$ . Para nuestro caso, no necesitamos demasiada precisión así que el diseño del motor fue de 4 pasos con ángulos de  $90^\circ$  ya que lo único que necesitamos es acercar nuestro lente de la cámara a nuestro objetivo, sin embargo para manipular o controlar una máquina herramienta, máquina de corte o algún otro dispositivo que requiera más exactitud o precisión para lo cual entonces necesitaremos un motor con un mayor número de pasos.

Por lo tanto, si somos capaces de mover el motor en pequeños pasos, esto nos va a permitir controlar su posición, con mayor o menor precisión dependiendo del avance de cada paso. Además, variando la frecuencia con la que se aplican los pulsos, también estaremos variando la velocidad con que se mueve el motor, lo que nos permite realizar un control de velocidad, ahora que si invertimos la secuencia de los pulsos de alimentación aplicados a las bobinas, estaremos realizando una inversión en el sentido de giro del motor.

Debido a las características anteriores se pueden encontrar motores paso a paso en robótica, control de discos duros, flexibles, unidades de CDRom o de DVD e impresoras, en sistemas informáticos, manipulación y posicionamiento de herramientas y piezas en general.

Nos centramos en este tipo de motores, ya que son los más utilizados. Además son los motores que se han usado en la construcción del proyecto CRR

# CAPÍTULO 3

## Motores de Pasos

---

(control remoto de robots). Los motores de imán permanente pueden ser clasificados en función del sentido de la intensidad que recorre los embobinados en dos grupos: motores bipolares y unipolares. Los motores paso a paso bipolar están formados por dos bobinas, y la intensidad que circula por ellas invierte su sentido sucesivamente (de ahí surge el nombre de bipolares). Como se ha visto en el capítulo anterior se pueden reconocer externamente porque presentan cuatro conductores, uno para cada extremo de una bobina.

Se ha considerado este tipo de motor por el bajo costo de la materia prima, desempeño e implementación del mismo, También es importante considerar que su integración con sistemas de control basados en electrónica e informática resulta más sencilla debido su modo de funcionamiento.

Hay muchas maneras de diseñar un circuito controlador o driver, uno de ellas es propuesta por *STMicroelectronics* con los circuitos integrados L297 y L298N que es la adecuada para la operación de nuestros motores de pasos, porque esta permite utilizar una corriente máxima de 2A, y se observó que los motores están sujetos a sobrecalentamiento cuando la corriente es superior a 1.5A. Si se desea controlar un motor con una mayor potencia se debe remplazar el circuito integrado L298N por un arreglo de transistores de potencia; sin embargo no es la única ya que en este proyecto se optó por hacer un diseño diferente en el cual se diseño el reloj de pulsos, el uso del los Flip Flop incluidos en el 74LS74, cuya salida es mandada al registro de corrimiento 74LS194 a secuenciar sus salidas en uno u otro sentido y dicha salida es mandada al puente H L298N o etapa de potencia; por otro lado también es posible hacer el driver mediante un microcontrolador en el cual se programará la etapa del pulso de reloj, la secuencia y frecuencia.