

MOTORES PASO A PASO

1. INTRODUCCIÓN

Se define un *motor* como aquella máquina eléctrica rotativa que es capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica.



Figura 1: Proceso de transformación de energía en un motor.

Los denominados *motores paso a paso (PaP)*, son un caso bastante particular dentro de los motores en general. La señal eléctrica de alimentación no es ni c.c. ni c.a. como en otros casos, sino un tren de pulsos 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 ser desde 90° hasta incluso $0,9^\circ$.

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*.

Por último si invertimos la secuencia de los pulsos de alimentación aplicados a las bobinas, estaremos realizando una *inversión en el sentido de giro* del motor.

Resumiendo, definimos el motor paso a paso, como aquel motor cuyas bobinas del estator son alimentadas mediante trenes de pulsos, con una determinada frecuencia, y que permite:

- ü Controlar posición.
- ü Controlar velocidad.
- ü Controlar sentido de giro.

Debido a las características anteriores se pueden encontrar motores paso a paso en robótica, 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.

Si cabe citar algún inconveniente de los motores PaP sería que presentan una velocidad angular limitada. Dicha limitación surge de que para realizar un paso, el motor requiere un tiempo para alcanzar la posición de equilibrio. Si dicho tiempo no se respeta (esto ocurriría si la frecuencia de los pulsos es demasiado elevada) el motor puede no encontrar nunca esa posición de equilibrio y perderíamos el control sobre él (se mueve en forma de vaivén, no se mueve, o incluso se mueve en sentido contrario al deseado).

2. TIPOS DE MOTORES PaP

Desde el punto de vista constructivo existen tres tipos de motores PaP:

- ü *De imán permanente*: es el tipo de motores PaP más utilizado, y sus características constructivas son las siguientes:
 - El rotor está formado por un imán permanente, en forma de disco, y en cuya superficie se encuentran mecanizados un determinado número de dientes.

- El estator tienen forma cilíndrica, y en su interior se encuentran diversos bobinados, que al ser alimentados secuencialmente generan un campo magnético giratorio.
- Como resultado de las fuerzas de atracción-repulsión, el rotor se orientará dentro de este campo magnético giratorio, lo que provocará su movimiento controlado.
- La conmutación en la alimentación de las bobinas tiene que ser manejada por un controlador externamente.

ü *De reluctancia variable:* en este caso,

- El estator es similar al caso anterior.
- El rotor no es un imán permanente, sino que está formado por un núcleo de hierro dulce, e igualmente con dientes tallados a lo largo de su superficie.
- En este tipo de motor, al alimentar una de las bobinas del estator, se crea un campo magnético. En estas condiciones, el rotor se orienta hacia aquella posición en la que la reluctancia que presenta el circuito es mínima. Esta posición será aquella en la que el entrehierro sea el más pequeño posible. Al cambiar la alimentación a otra de las bobinas, el punto de mínima reluctancia también cambia, con lo cual el rotor gira de nuevo.

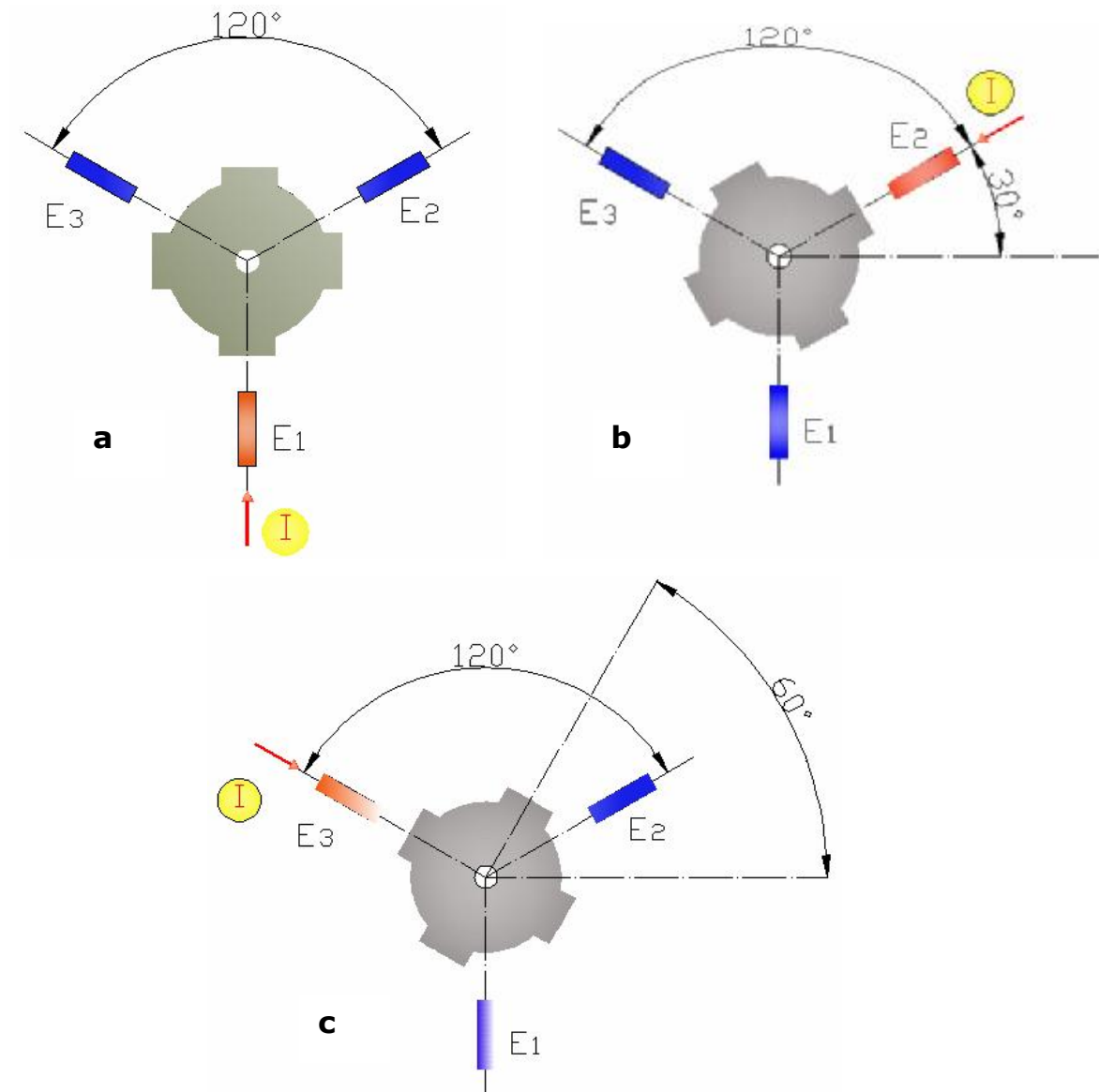


Figura 2: Funcionamiento de un motor paso a paso de reluctancia variable.

ü **Híbridos:** este tipo de motores son una mezcla de los dos anteriores. El rotor está formado por una serie de anillos de acero dulce que tienen en su superficie un nº de dientes ligeramente distinto a los del estator. Dichos anillos están montados sobre un eje que es un imán permanente.

3. MOTORES PaP DE IMÁN PERMANENTE

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

Los motores de imán permanente pueden ser clasificados en función del sentido de la intensidad que recorre los bobinados en dos grupos:

ü *Motores PaP bipolares:* están formados por dos bobinas, y la intensidad que circula por ellas invierte su sentido sucesivamente (de ahí surge el nombre de bipolares). Se pueden reconocer externamente porque presentan cuatro conductores, uno para cada extremo de una bobina.

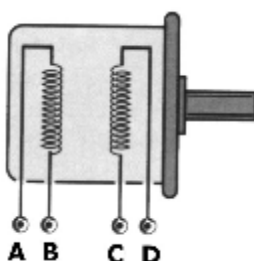


Figura 3: Esquema de bobinas de un motor paso a paso bipolar.

ü *Motores PaP unipolares:* en este caso el estator está formado por dos bobinas con tomas intermedias, lo que equivale a cuatro bobinas. Las tomas intermedias de las dos bobinas pueden estar interconectadas en el interior o no. Externamente se apreciarán cinco conductores en el primer caso, y seis en el segundo. La forma de alimentar este motor consiste en poner a masa la toma central e ir aplicando según una secuencia determinada pulsos de valor +V a un extremo de la bobina y al otro (nunca simultáneamente). De tal manera que la intensidad que circula por cada media bobina siempre lo hace en el mismo sentido, por eso se denominan unipolares. Otra posibilidad de alimentación, consiste en dejar fija en la toma intermedia una tensión +V, e ir alternando en ambos extremos la conexión con masa.

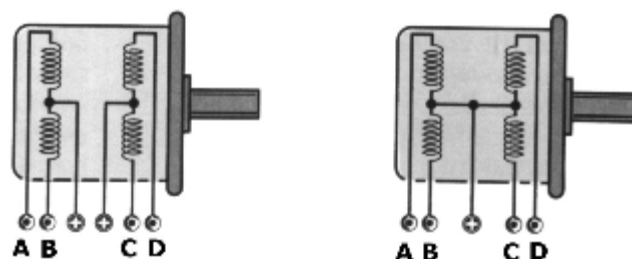


Figura 4: Esquema de bobinas de un motor paso a paso unipolar: sin conexión entre tomas intermedias (cinco hilos de salida) con conexión entre tomas intermedias (seis hilos de salida.)

4. FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento de los motores PaP de imán permanente, como ya se ha citado anteriormente, está basado en las fuerzas de atracción-repulsión que experimentan los cuerpos sometidos a un campo magnético.

4.1 Motor bipolar

El motor bipolar más sencillo está compuesto por dos bobinas (polos) por los que irá circulando corriente en uno u otro sentido según una secuencia definida.

Mientras no circule corriente por ninguna de las bobinas el rotor se encontrará en reposo en una posición cualquiera.

Si aplicamos intensidad a ambas bobinas, de la manera que indica la figura 5.a, el rotor girará hasta la posición indicada en dicha figura.

Si se invierte el sentido de la intensidad aplicada a la bobina de terminales AB, el campo magnético variará, y el rotor girará de nuevo orientándose ahora de la manera mostrada en la figura 5.b. Se observa que el motor se ha desplazado un paso (90°).

Invirtiendo sucesivamente el sentido de la corriente en ambas bobinas, obtendremos el giro completo del motor, que se muestra en la siguiente figura:

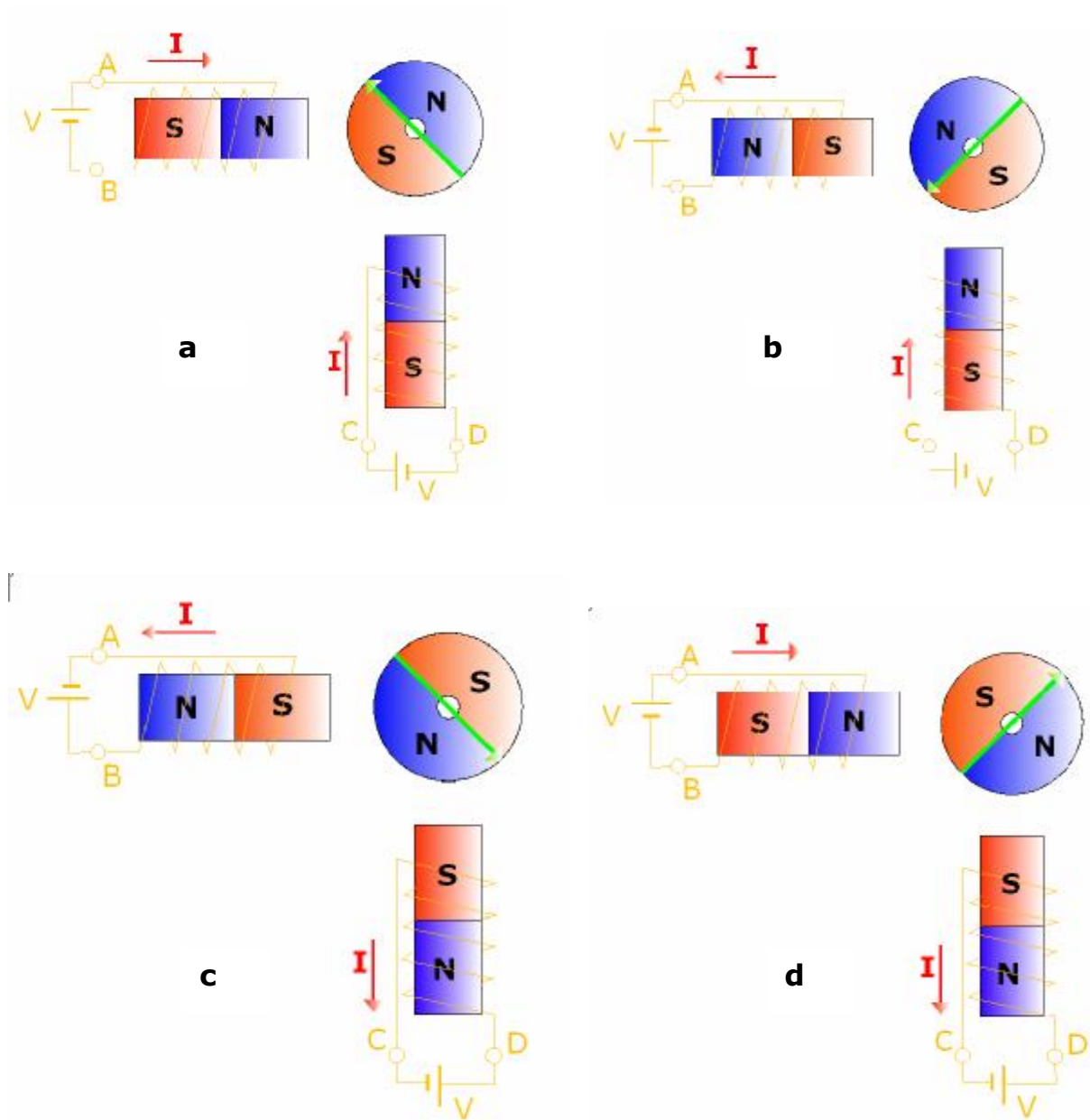


Figura 5: Funcionamiento de un motor bipolar en modo paso completo.

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

Tabla 1: Secuencia de excitación para el funcionamiento de un motor bipolar en modo paso completo.

Como cada vez que se aplica un pulso distinto a la entrada del motor, éste gira un paso completo se dice que está funcionando en modo *paso completo*.

En este caso el paso es de 90° , demasiado grande para poder realizar ningún tipo de control.

Para aumentar la resolución, se tienen varias opciones.

La más sencilla de todas y que no necesita un cambio constructivo del motor, consiste en cambiar la secuencia de alimentación.

En modo de funcionamiento de paso completo, las bobinas nunca quedan sin alimentación. Pues bien, si entre cada cambio en la tensión de alimentación de una bobina, esta se deja sin alimentar, podemos conseguir una posición del rotor intermedia entre dos pasos. A esta forma de funcionamiento se le denomina *medio paso*.

Las distintas posiciones por las que pasa el rotor, así como las polaridades de las bobinas del estator, se pueden apreciar en las siguientes figuras:

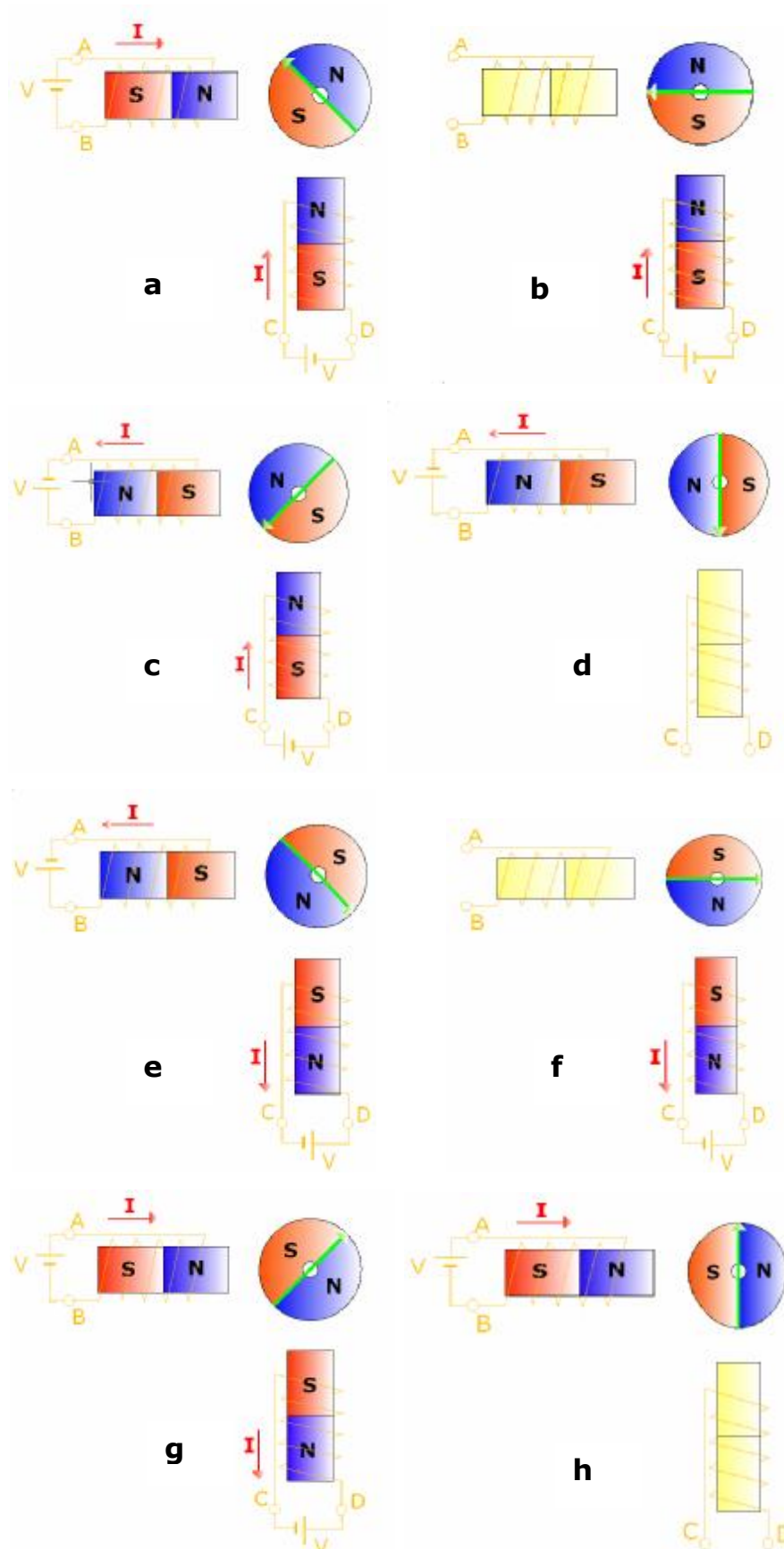


Figura 6: funcionamiento de un motor paso a paso bipolar en modo de medio paso.

<i>Paso</i>	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
	0	0	+V	-V
2	-V	+V	+V	-V
	-V	+V	0	0
3	-V	+V	-V	+V
	0	0	-V	+V
4	+V	-V	-V	+V
	+V	-V	0	0

Tabla 2: Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor bipolar en modo de medio paso.

4.2 Motores unipolares

Recordemos que un motor unipolar está compuesto por dos bobinas con una toma intermedia cada una, y su principal característica es que la intensidad que circula por cada bobina siempre lo hace en la misma dirección.

Al igual que en los motores bipolares, encontramos dos modos de funcionamiento, en paso completo y en medio paso.

ü Paso completo

Las bobinas se van alimentando de dos en dos, siempre teniendo en cuenta, que no pueden estar alimentadas simultáneamente las dos partes de una misma bobina (A y B ó C y D).

El paso en este caso equivale a 90°.

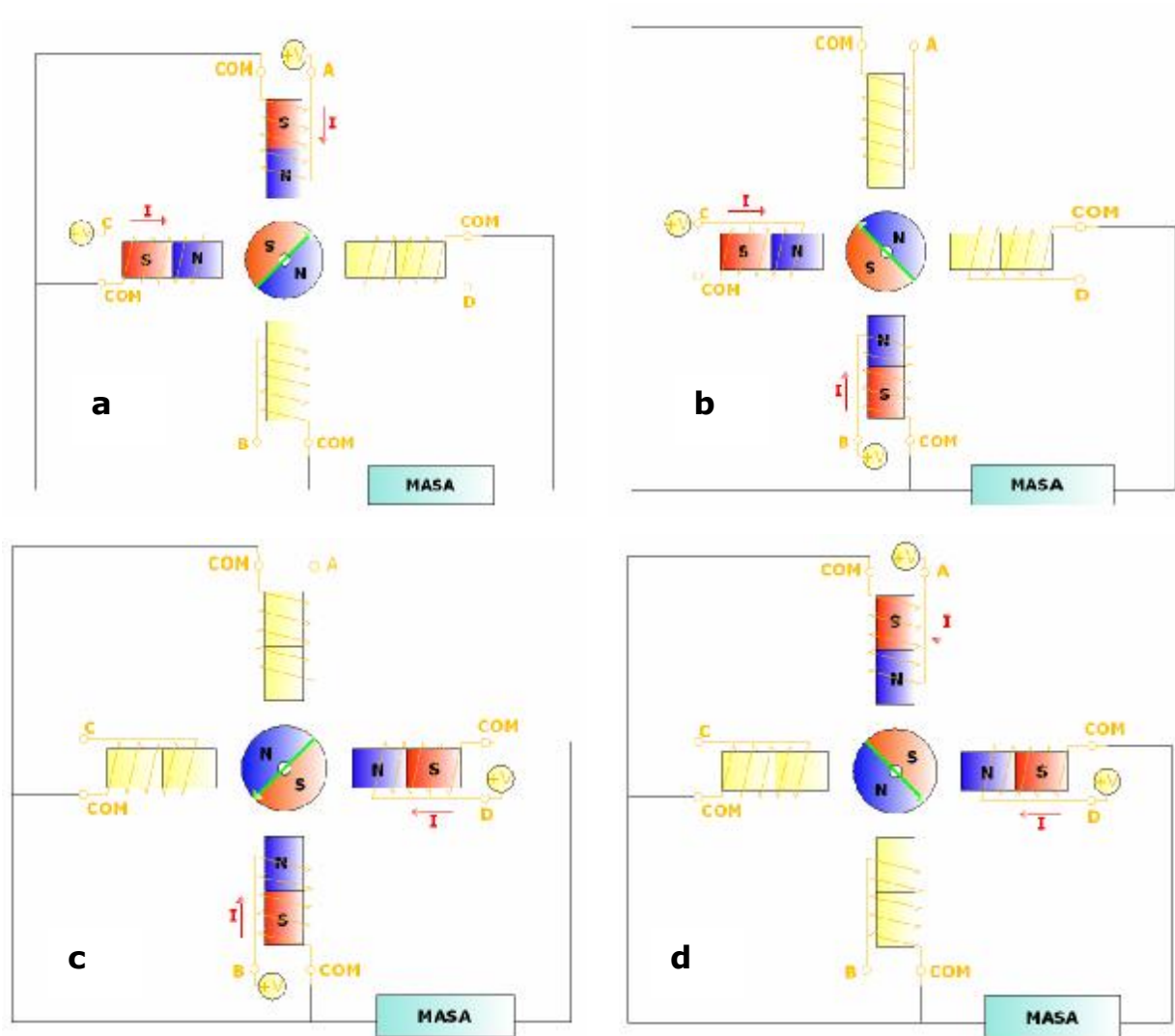


Figura 7: Funcionamiento de un motor paso a paso unipolar en modo paso completo.

Paso	COMÚN	A	B	C	D
1	masa	+V ó 1	0	+V ó 1	0
2	masa	0	+V ó 1	+V ó 1	0
3	masa	0	+V ó 1	0	+V ó 1
4	masa	+V ó 1	0	0	+V ó 1

Tabla 3: Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor unipolar en modo paso completo.

ü Medio paso

Igual que con los motores bipolares, se puede conseguir una resolución mayor si entre paso y paso dejamos una bobina sin alimentar:

<i>Paso</i>	COMÚN	A	B	C	D
1	masa	+V ó 1	0	+V ó 1	0
	masa	0	0	+V ó 1	0
2	masa	0	+V ó 1	+V ó 1	0
	masa	0	+V ó 1	0	0
3	masa	0	+V ó 1	0	+V ó 1
	masa	0	0	0	+V ó 1
4	masa	+V ó 1	0	0	+V ó 1
	masa	+V ó 1	0	0	0
5	masa	+V ó 1	0	+V ó 1	0

Tabla 4: Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor unipolar en modo de medio paso.

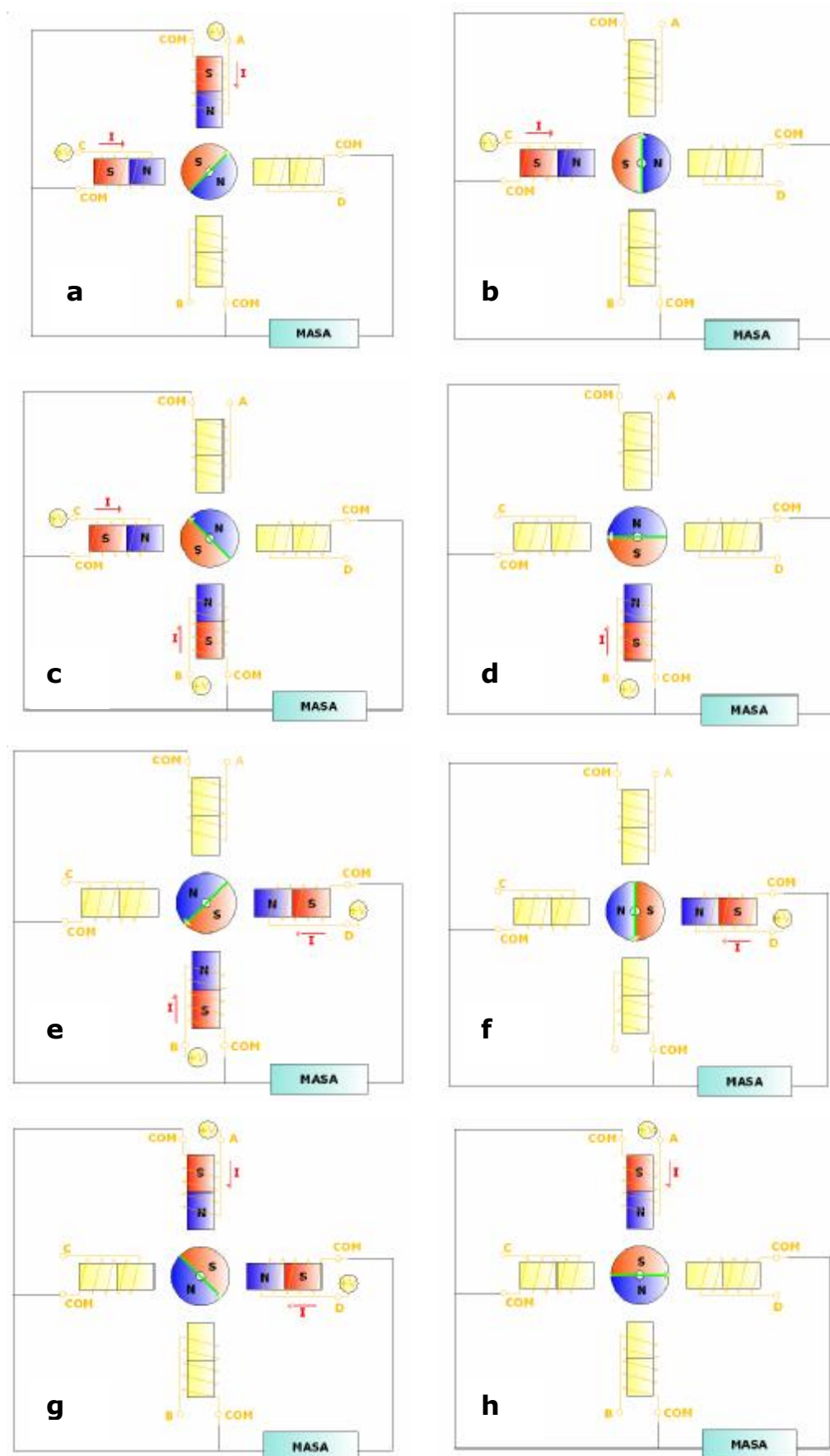


Figura 8: Funcionamiento de un motor paso a paso unipolar en modo de medio paso.

A la vista de todo lo anterior seguimos viendo que la resolución en estos casos vistos es demasiado baja. Se puede aumentar el número de bobinas efectivas en el estator, de tal forma que para funcionar en paso completo, siempre se alimentasen de dos en dos sucesivamente. Para funcionar en paso simple, se alimentarían con la secuencia antes vista, 2 bobinas, 1 bobina, 2 bobinas...

Pero esta solución no es viable para un número de bobinas relativamente alto, ya que aumentaría en exceso el peso del motor.

Lo que se suele hacer en la práctica para aumentar realmente la resolución es aumentar ligeramente el número de bobinas, a la vez que se tallan sobre rotor y estator (en número sensiblemente distinto) una serie de dientes que van a constituir polos magnéticos que se orientarán adecuadamente en función del campo magnético existente. Con este método se pueden conseguir pasos de hasta $0,72^\circ$.

En las siguientes figuras pueden apreciarse los detalles constructivos de este tipo de motores:



Figura 9: Aspecto exterior de un motor PaP. Se aprecian la placa de características y los seis conductores de salida (motor unipolar).



Figura 10: Aspecto constructivo del estator: 8 polos y vista de los dientes interiores de cada polo.



Figura 11: Aspecto interior de un motor paso a paso bipolar: rotor y estator.

5. MOTORES UTILIZADOS EN LA MAQUETA DEL PROYECTO CRR

En las siguientes imágenes se pueden apreciar "in situ" los motores paso a paso utilizados para la construcción del plotter CRR. Son motores unipolares de 12V.

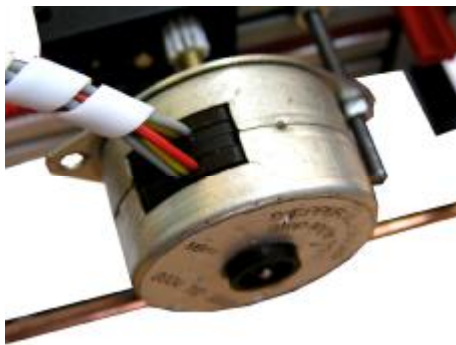
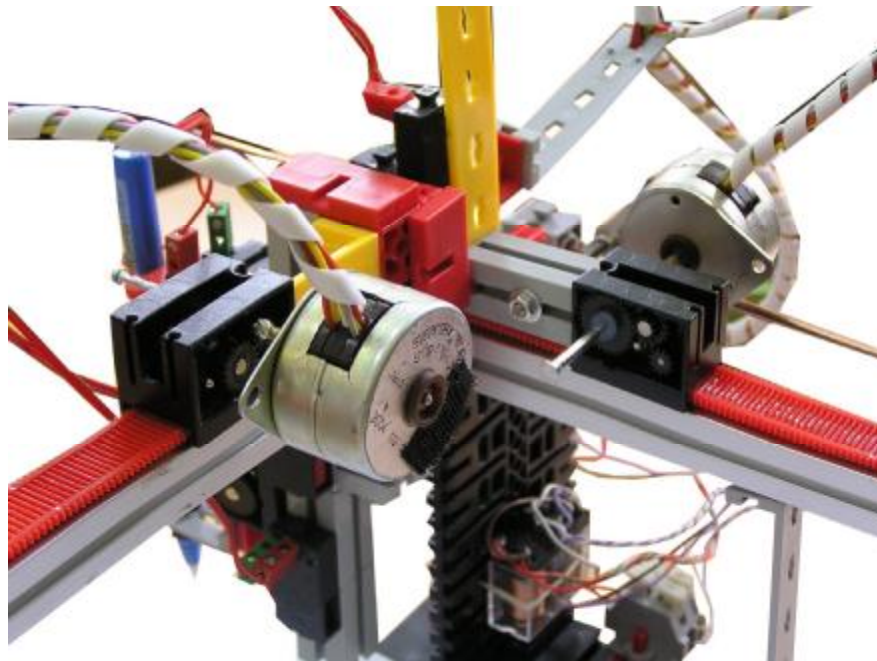


Figura 12: Motores paso a paso en el proyecto CRR.