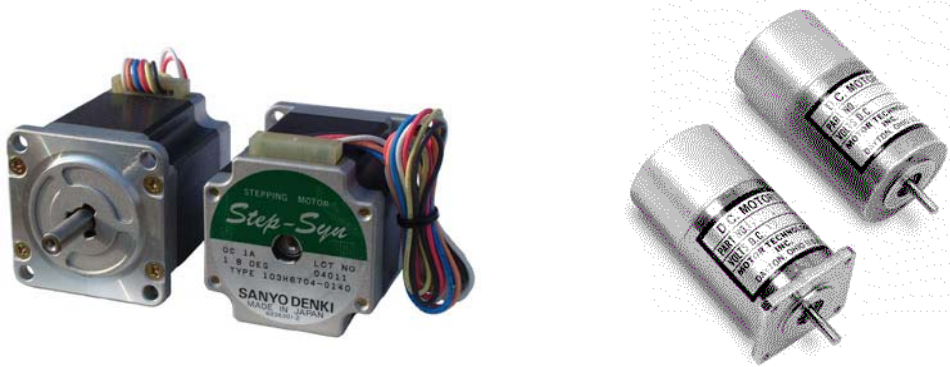


# Adaptación de Salidas: Control de Motores



- **Motores de Corriente Continua (CC)**

Movimiento continuo de desplazamiento



- **Motores Paso a Paso (PAP)**

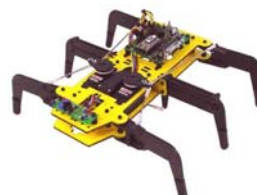
Posicionamiento

Movimiento



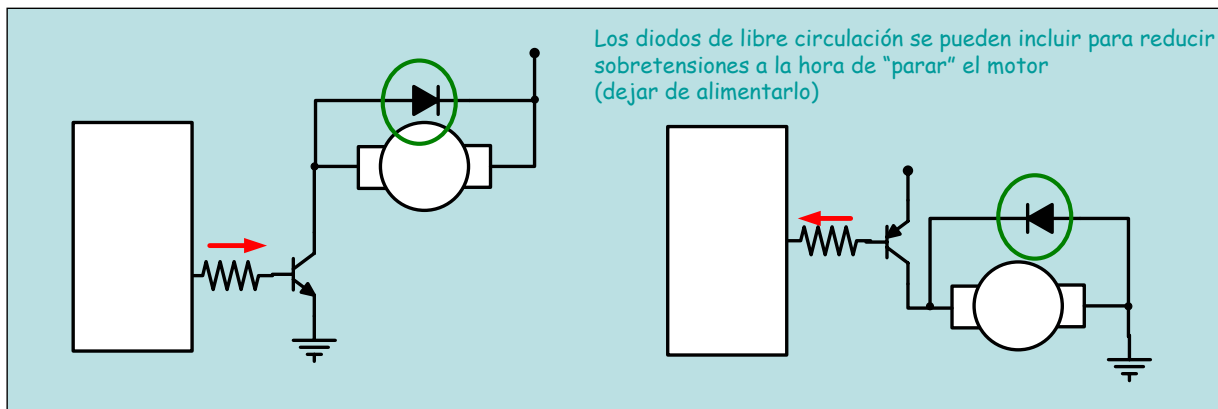
- **Servomotores**

Posicionamiento



### CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

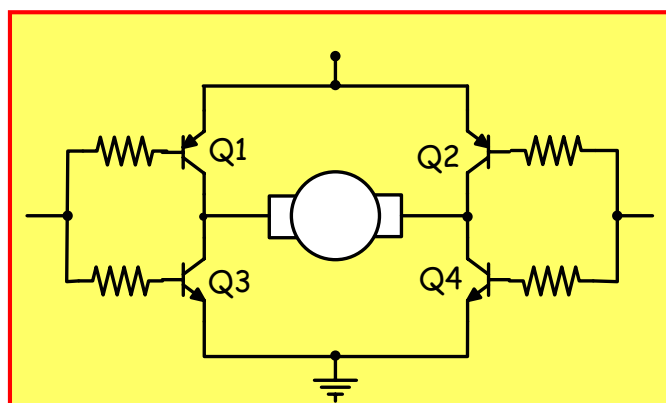
- Son motores de pequeña potencia pero surge una limitación importante por la corriente de salida de un microcontrolador, que en los PIC de la gama media es como máximo de 25 mA (insuficiente)
- Se precisan elementos que permitan "amplificar" la corriente de salida del microcontrolador, la solución más simple puede ser con transistores bipolares (véanse dos soluciones posibles).



Al microcontrolador sólo se le pide la corriente de base necesaria para colocar en conducción al transistor no la corriente total que demanda el motor

### CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

- El sentido de giro depende de la polaridad que se aplica a sus terminales. Para cambiar el sentido de giro es necesario intercambiar los terminales del motor o cambiar la polaridad de la alimentación
- La configuración de **PUENTE en H** que se muestra es la más sencilla para controlar un motor de corriente continua de baja potencia

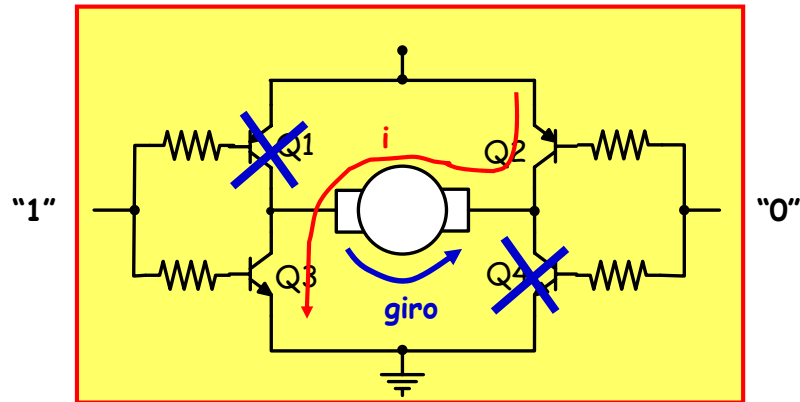


Son 4 transistores que trabajan en conmutación, el transistor npn y el pnp de cada rama no pueden estar simultáneamente en conducción y el sentido de giro se puede modificar

## CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Si  $E1="1"$  (tensión alta) y  $E2="0"$  (tensión baja)

Conducen Q2 y Q3, circula una **corriente i** en la dirección indicada y el motor **gira en un sentido** dado

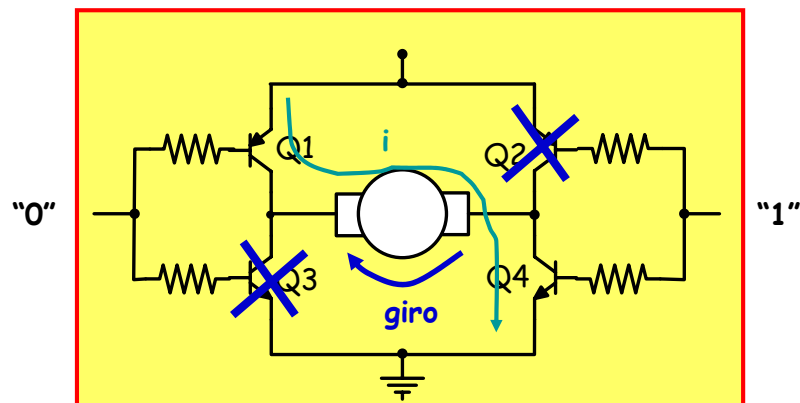


Puente en H

## CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Si  $E1="0"$  (tensión baja) y  $E2="1"$  (tensión alta)

Conducen Q1 y Q4, circula una **corriente i** en la dirección señalada y el motor **gira en un sentido** contrario al indicado anteriormente



Puente en H



## CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

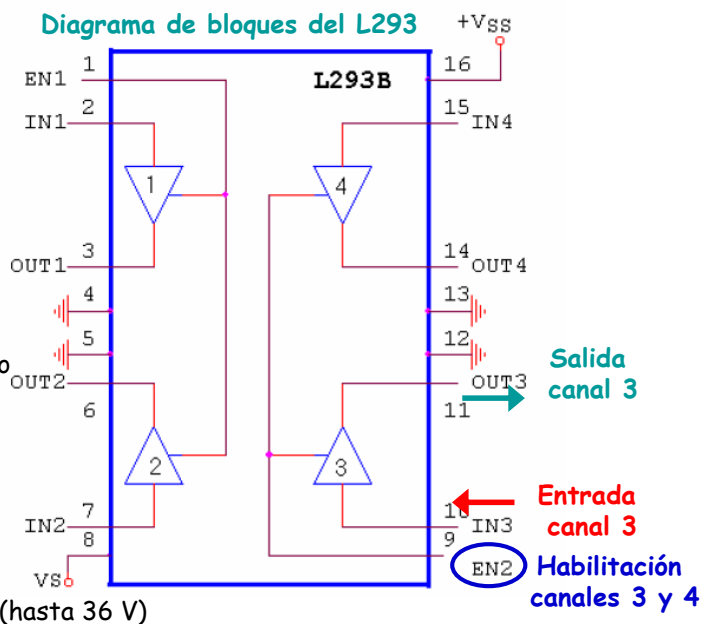
• Existen Circuitos Integrados (CI) comerciales que pueden cumplir las funcionalidades anteriores y nos ahorran el empleo de los componentes discretos, así como el correspondiente conexionado.

• Ejemplo "muy popular" el driver L293

Es un driver de **4 canales**, cada canal está controlado por señales de entrada (**IN<sub>m</sub>**) compatibles TTL y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación (p.e. **EN1** para los canales 1 y 2) que puede "desconectar" las salidas (**OUT<sub>m</sub>**) de los correspondientes canales ("al aire")

Las señales de salida son amplificadas tanto en corriente (hasta 1A para L293B) como en tensión (hasta  $V_s$ ) respecto a los niveles de entrada

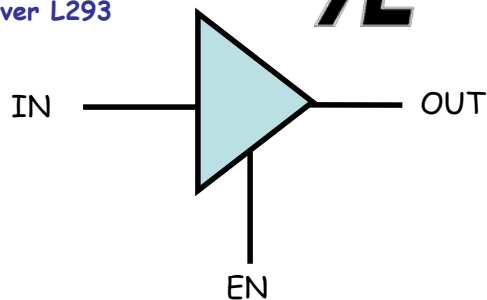
**V<sub>ss</sub>**: alimentación de la lógica (hasta 36V)  
**V<sub>s</sub>**: para alimentación de la carga de salida (hasta 36 V)



### Control de motores de corriente continua con driver L293

#### Funcionamiento de un canal

Niveles lógicos			Niveles de tensión		
EN	IN	OUT	$V_{EN}$	$V_{IN}$	$V_{OUT}$
"1"	"1"	"1"	$V_{IH}$ 7V	$V_{IH}$ 7V	$V_s$
"1"	"0"	"0"	$V_{IH}$ 7V	0 $V_{IL}$	0
"0"	"1"	Z	0 $V_{IL}$	$V_{IH}$ 7V	Z
"0"	"0"	Z	0 $V_{IL}$	0 $V_{IL}$	Z



$V_s$  y  $V_{ss}$  podrían ser iguales

Aunque  $V_{ss}$  (para alimentar la lógica) sea mayor de 7V, no se admiten tensiones de entrada superiores a 7V

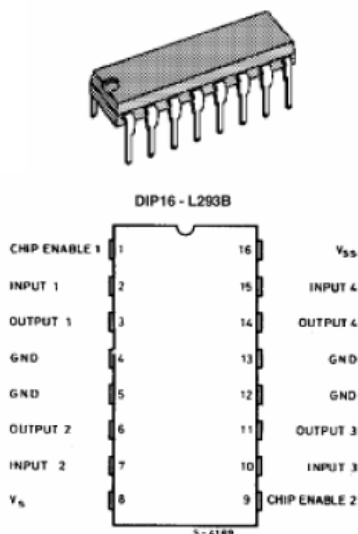
En las entradas EN e IN se deben situar niveles compatibles TTL hasta máximo 7V  
 En la salida OUT, en estado alto se obtiene una tensión de valor  $V_s$

La corriente demandada en las entradas es muy pequeña ( $I_{IH} = 0,1$  mA es la máxima)  
 La corriente que se puede obtener en la salida es de hasta 1A en L293B (2A pico)



Control de motores de corriente continua con driver L293

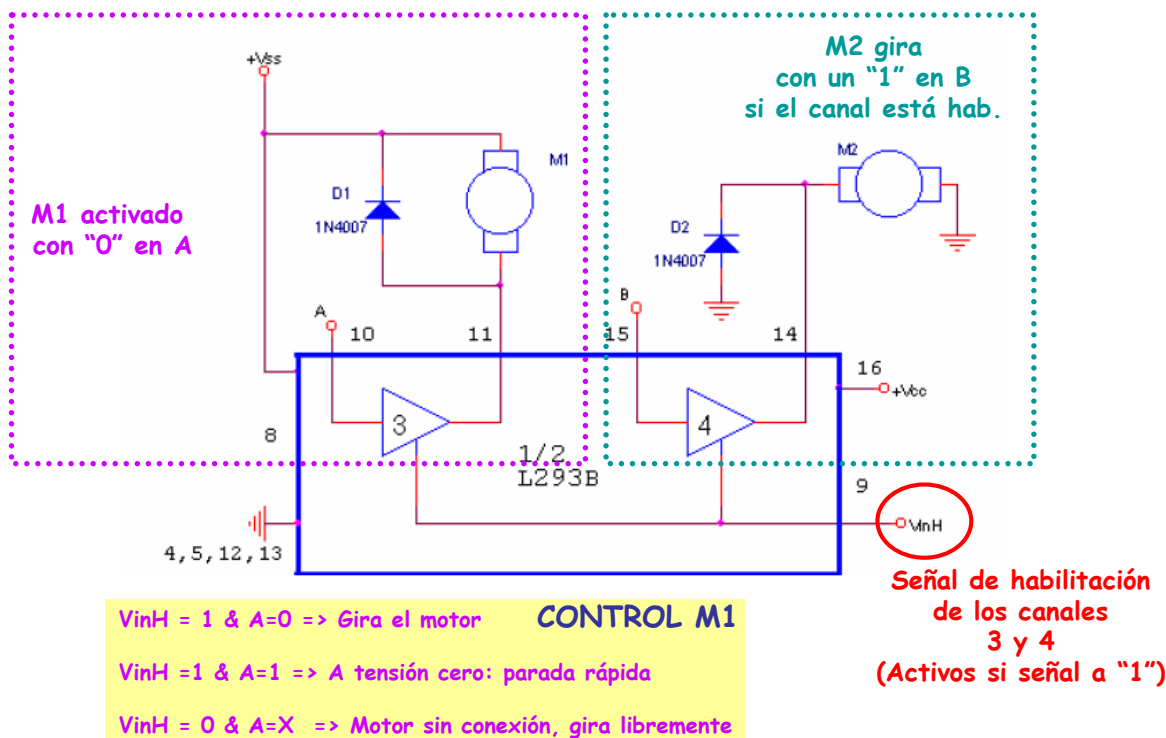
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS  
L293B



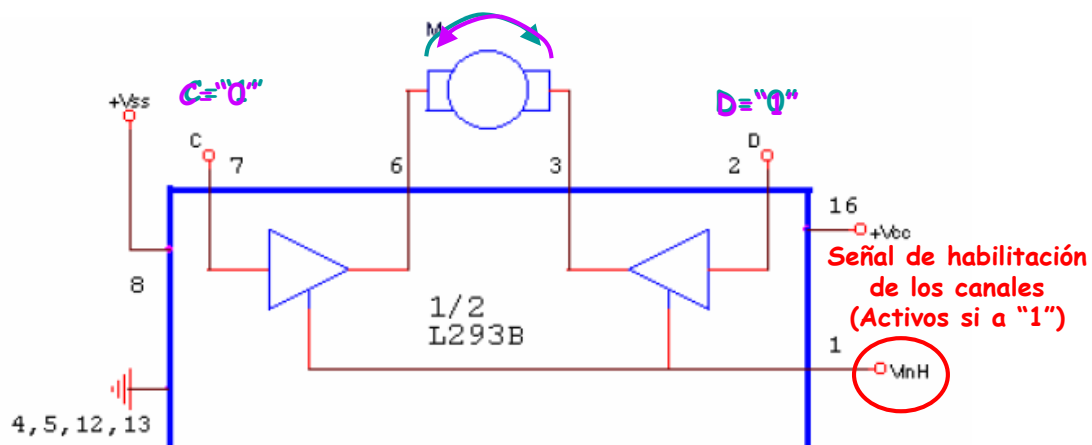
Símbolo	Parámetro	Condiciones de Test	Min	Tipica	Max	Unidades
$V_S$	Tensión de alimentación de las cargas				36	V
$V_{SS}$	Tensión de alimentación de la lógica		4.5		36	V
$I_S$	Corriente total de reposo	$V_i = L, I_O=0, V_{inh}=H$ $V_i = H, I_O=0, V_{inh}=H$ $V_i = L, I_O=0, V_{inh}=L$		2 16	6 24 4	mA
$I_{SS}$	Corriente total de reposo con señal de control	$V_i = L, I_O=0, V_{inh}=H$ $V_i = H, I_O=0, V_{inh}=H$ $V_i = L, I_O=0, V_{inh}=L$		44 16 16	60 22 24	mA
$V_{IL}$	Tensión de entrada a nivel bajo		-0.3		1.5	V
$V_{IH}$	Tensión de entrada a nivel alto	$V_{SS} \leq 7V$ $V_{SS} > 7V$	2.3 2.3		$V_{SS}$ 7	V
$I_{IL}$	Corriente de entrada a nivel bajo	$V_{IL} = 1.5V$			-10	$\mu A$
$I_{IH}$	Corriente de entrada a nivel alto	$2.3V \leq V_{IH} \leq V_{SS} - 0.6$		30	100	$\mu A$
$V_{inHL}$	Tensión de habilitación a nivel bajo		-0.3		1.5	V
$V_{inHH}$	Tensión de habilitación a nivel alto	$V_{SS} \leq 7V$ $V_{SS} > 7V$	2.3 2.3		$V_{SS}$ 7	V
$I_{inHL}$	Corriente de habilitación a nivel bajo	$V_{inHL} = 1.5V$		-30V	-100	$\mu A$
$I_{inHH}$	Corriente de habilitación a nivel alto	$2.3V \leq V_{IH} \leq V_{SS} - 0.6$			$\pm 10$	$\mu A$
$V_{CEsatH}$	Tensión de salida con la fuente saturada	$I_O = 1 A$			1.4	V
$V_{CEsatL}$	Tensión de salida con el sumidero saturado	$I_O = 1 A$			1.2	V



Aplicaciones L293: Giro de dos motores en un único sentido



Aplicaciones L293: Giro de un motor en dos sentidos utilizando dos canales

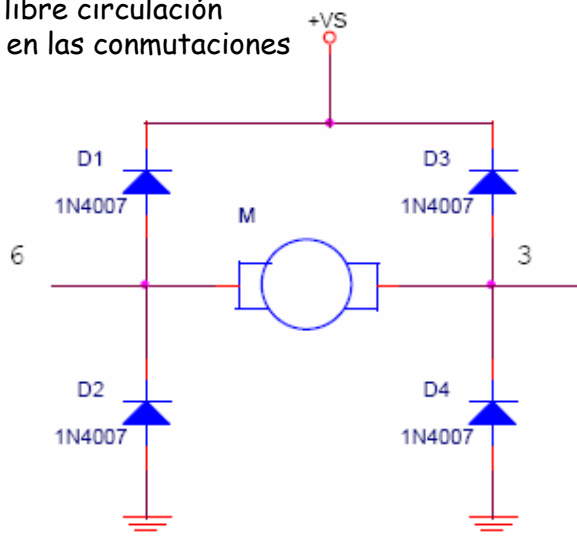


CONTROL

Si están habilitados los dos canales, se necesita que en C y en D existan niveles distintos para que haya giro:  
 C a "1" y D a "0" gira en un sentido  
 C a "0" y D a "1" gira en sentido contrario  
 Si VinH="1" y C=D el motor está a tensión cero y no hay giro  
 Si VinH="0" el motor está desconectado, el eje puede girar libremente

Control de motores de corriente continua con driver L293

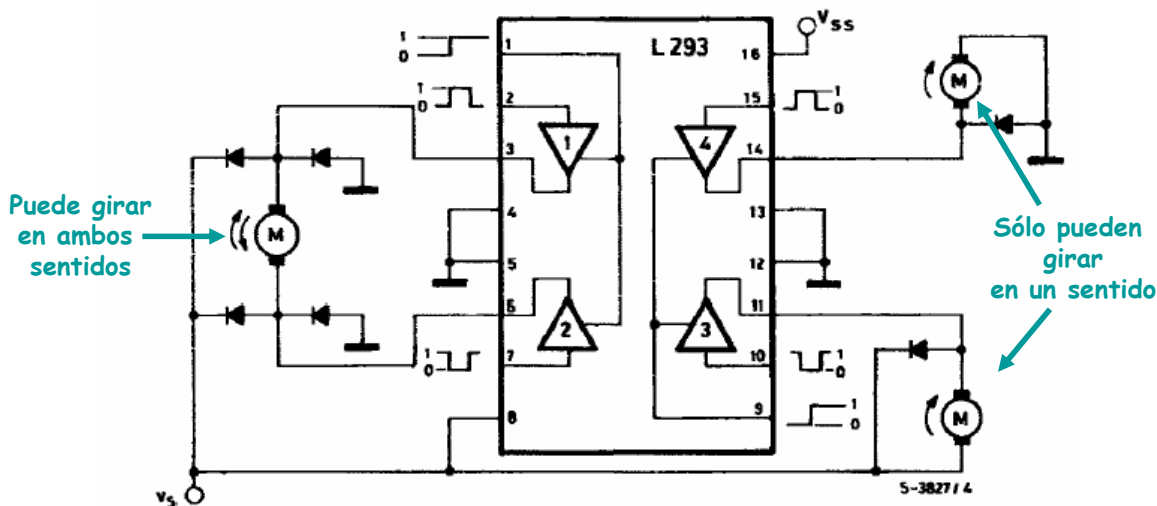
Inclusión de diodos de libre circulación para evitar sobretensiones en las conmutaciones



Si la corriente por el motor no es alta, se puede prescindir de esos diodos

Aplicación "mixta" L293:

Con el mismo dispositivo se pueden controlar 3 motores, dos de ellos con un sentido posible de giro y otro con doble sentido de giro



CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

• La velocidad de un motor de corriente continua depende del valor medio de la tensión aplicada entre sus extremos.

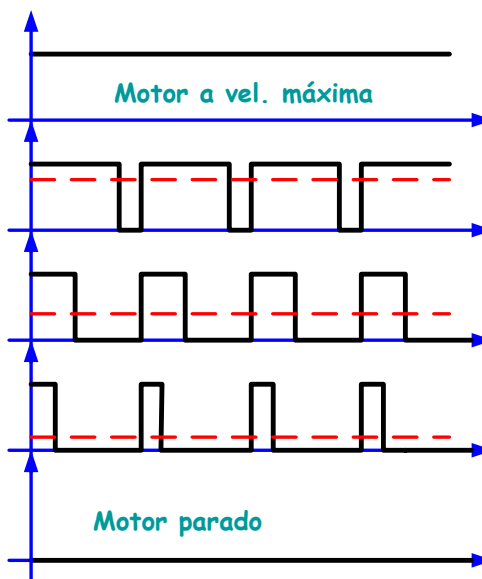
• El sistema más empleado para controlar la velocidad de un motor de CC es mediante la modulación por ancho de pulso (PWM = Pulse Width Modulation) de una señal periódica.

• Lo habitual es mantener la frecuencia constante y variando el tiempo que la señal permanece en estado alto se modifica el valor medio de la tensión aplicada al motor.

$$V_m = (\text{ton}/T) \cdot V_s$$

D= ton/T se denomina ciclo útil (*duty cycle*)

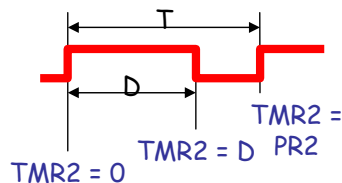
• Los **circuítos de control mostrados anteriormente** se pueden utilizar para hacer **control PWM**. La señal de control correspondiente debe evolucionar según la forma mostrada



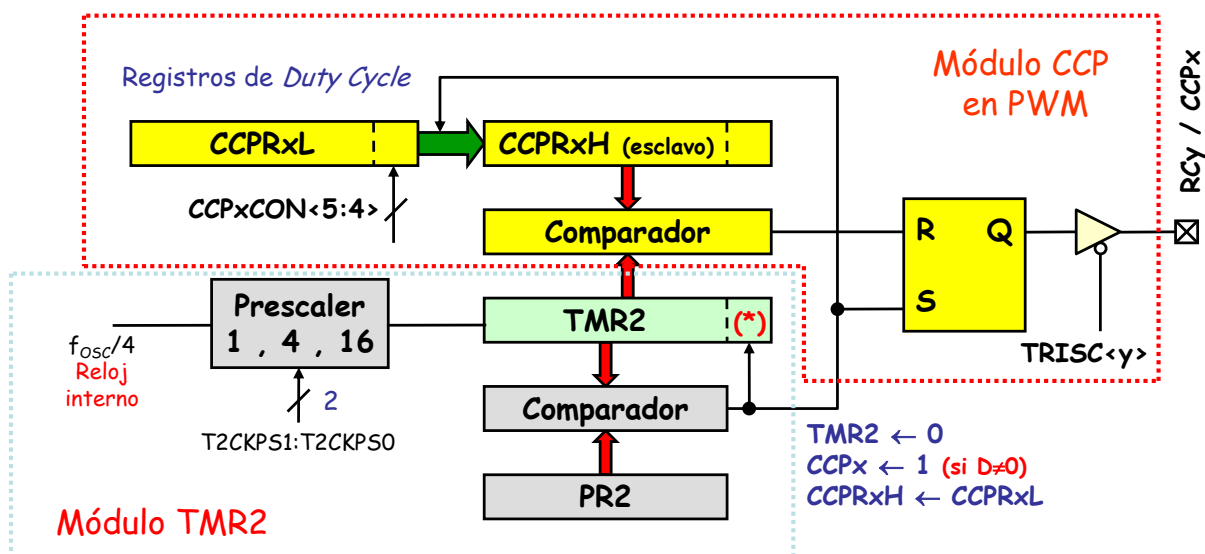


## CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

- Muchos microcontroladores disponen de **módulos hardware** que permiten generar una señal **PWM** de una manera simple, configurando tanto el **tiempo en estado alto** como el **periodo total**.
- En el caso de los microcontroladores PIC, esta misión la cumplen los **módulos CCP**. Estos módulos son configurables para trabajar en alguno de los siguientes modos: **Captura/Comparación/PWM**.
- Hay microcontroladores que disponen de más de un módulo CCP con lo que se pueden generar varias señales PWM simultáneamente. La frecuencia de las señales debe ser la misma pero los respectivos tiempos en estado alto resultan ser totalmente independientes.
- Asociado a **cada módulo CCP en modo PWM**, existe un **pin de salida** del microcontrolador en el que aparece cada señal periódica modulada. El pin asociado a cada módulo **no resulta configurable**.
- El modo PWM está asociado con un **temporizador** (el TMR2), este contador se **compara** con un par de registros por módulo CCP, con uno de ellos se fija el instante en el que la señal de salida se pone a uno (**PR2**) y con el otro (**CCPRxL** junto con 2bits de **CCPxCON** hasta completar 10 bits) el instante en el que se pone a cero dicha señal.



## DIAGRAMA DE BLOQUES PARA MODO PWM EN MICROCONTROLADORES PIC



Cálculo del Periodo:  $T = (PR2 + 1) \cdot 4 \cdot TOSC \cdot PRESCALERTMR2$

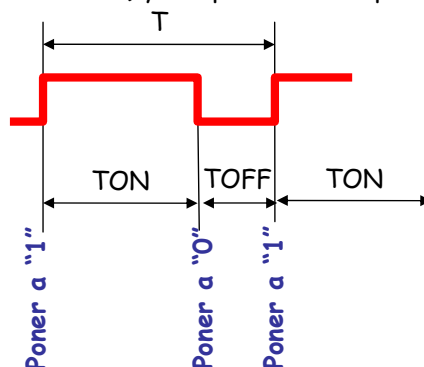
Cálculo del TON:  $T_{ON} = (CCPRxL:CCPxCON<5:4>) \cdot TOSC \cdot PRESCALERTMR2$



## MÓDULO CCP EN MODO PWM

- La generación de señales PWM también es aplicable al **control de servomotores** (como veremos) y a la **generación de señales periódicas** para el control de **motores paso a paso**.
- Si por cualquier motivo no fuera posible conectar los drivers de control de los motores a los pines de salida asociados a los módulos CCP, la generación de las señales PWM debería de realizarse por software:

Se debe situar en estado alto un pin determinado y establecer una temporización que corresponda a la duración del pulso (TON), para pasar a continuación a estado bajo el mismo pin durante un tiempo  $TOFF = T - TON$  y completar el tiempo total correspondiente al periodo de la señal a gobernar.



## CONTROL DE MOTORES PASO A PASO -PAP- (*Stepper motors*)

- Son motores cuyo giro se realiza a intervalos regulares en lugar de manera prolongada como en el caso de los motores de continua. Pueden usarse para **posicionamientos precisos**
- 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, que se denomina **paso** (de ahí paso a paso)
- Los incrementos de rotación o **pasos se miden en grados** y es el parámetro fundamental de un motor PAP, comercialmente los hay desde  $0,75^\circ$  hasta  $22,5^\circ$ , siendo el más comercializado el de  $7,5^\circ$
- También se puede expresar en **número de pasos por revolución** de  $360^\circ$  ( $= 360^\circ/\text{paso en }^\circ$ )
- La principal limitación de estos motores reside en su potencia, que es reducida.
- Los motores paso a paso tienen varios hilos (normalmente 4 ó 6) correspondientes a los devanados de las bobinas





### TIPOS DE MOTORES PASO A PASO: BIPOLARES

• **Bipolares:** la corriente por las bobinas de los devanados **debe circular en ambos sentidos** para poder completar la secuencia del motor

**Visión simplificada:**

Rotor = Imán que puede girar

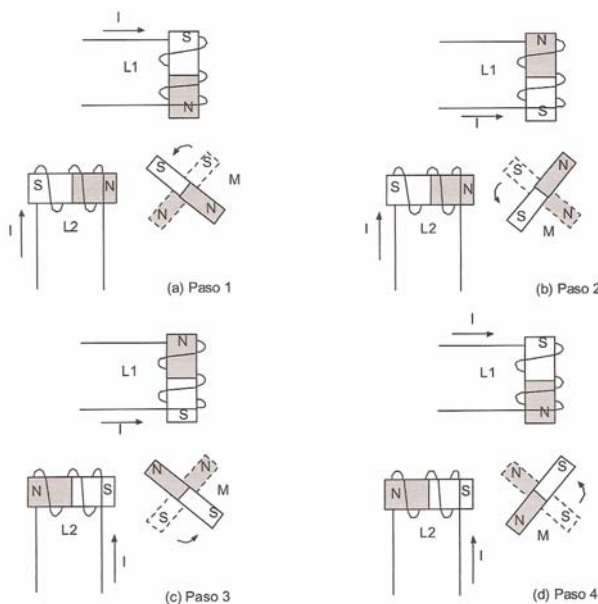
Estator = Bobinas con núcleo de hierro

**Posiciones:**

En función del sentido de las corrientes por L1 y L2 se genera un sentido para el campo magnético resultante que hace que el rotor adopte 4 posiciones distintas provocando el giro de 90° con cada cambio

**Inconveniente:**

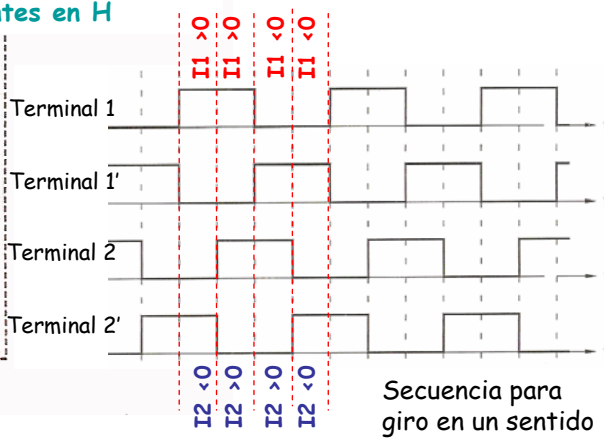
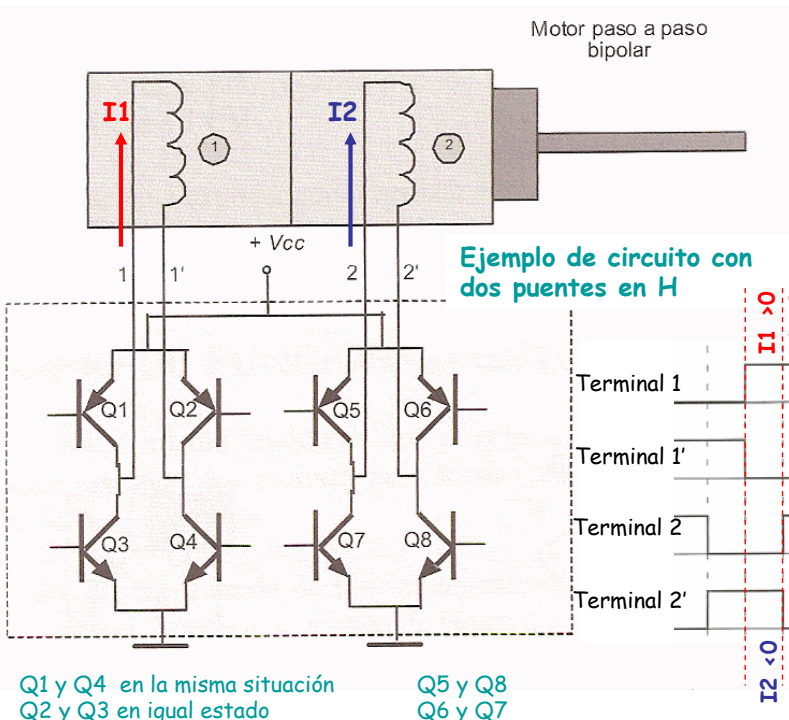
El control necesita invertir la polaridad en cada bobina



### CONTROL DE MOTORES PAP BIPOLARES

Se necesita un circuito de control que **permita variar la polaridad** de la tensión en las bobinas

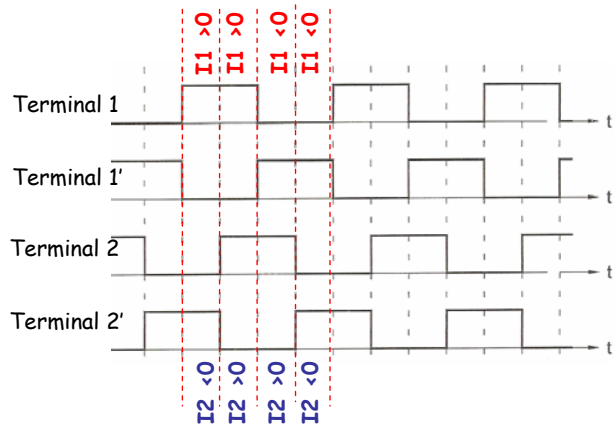
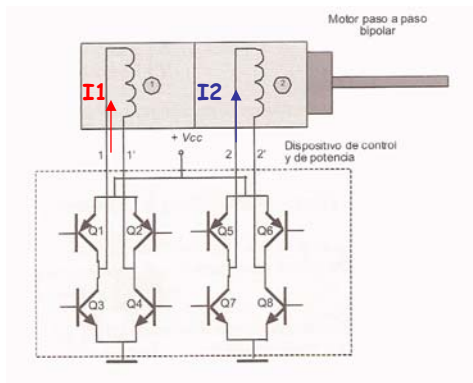
Hay que activar y desactivar los interruptores según una secuencia dada para conseguir giro en un sentido u otro



Q1 y Q4 en la misma situación  
Q2 y Q3 en igual estado  
Q5 y Q8  
Q6 y Q7

Secuencia para giro en un sentido

### CONTROL DE MOTORES PAP BIPOLARES: PASO COMPLETO (Full Step)



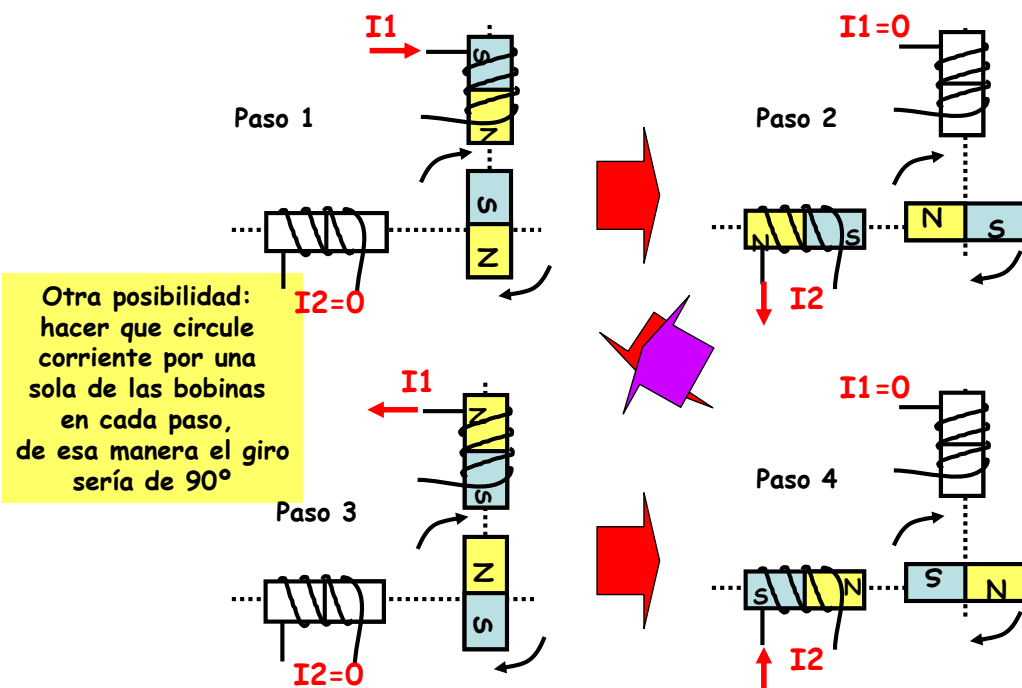
Etapa: 1 2 3 4

↓  
Sentido horario

Paso	Q1Q4	Q2Q3	Q5Q8	Q6Q7	I1	I2
1	ON	OFF	OFF	ON	+	-
2	ON	OFF	ON	OFF	+	+
3	OFF	ON	ON	OFF	-	+
4	OFF	ON	OFF	ON	-	-

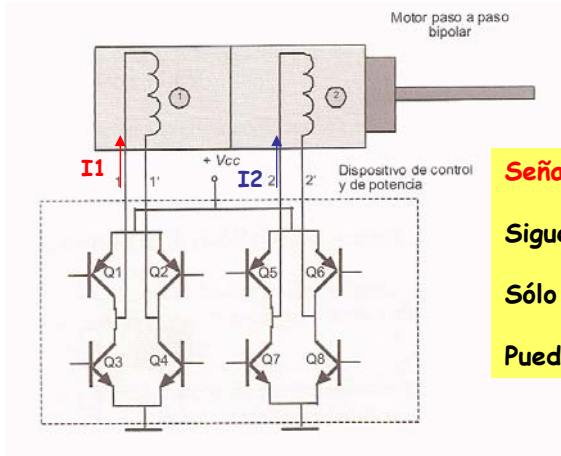
↑  
Sentido antihorario

### CONTROL DE MOTORES PAP BIPOLARES: PASO COMPLETO (Full Step)





## CONTROL DE MOTORES PAP BIPOLARES: PASO COMPLETO (Full Step)



Señales de Control en este segundo caso:

Siguen existiendo 4 pasos distintos

Sólo hay un par de transistores en conducción

Puede resultar más sencillo

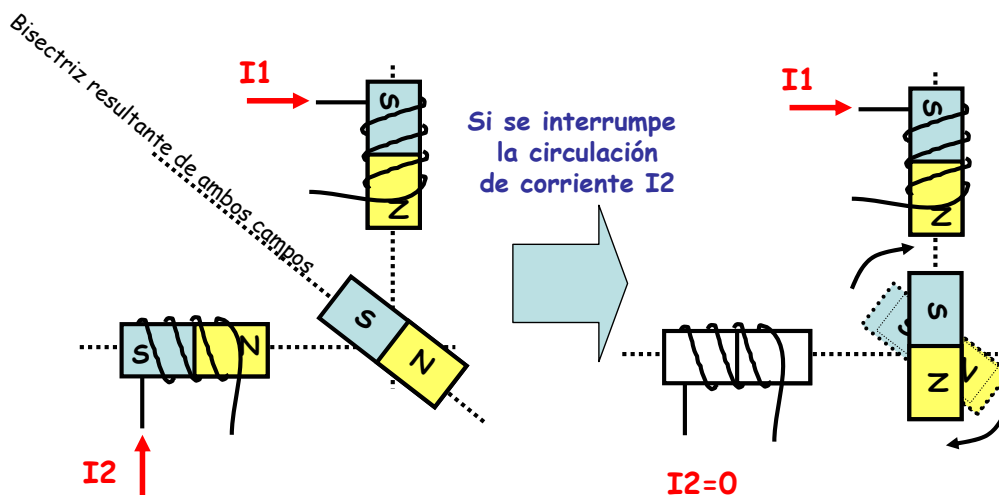
	Paso	Q1Q4	Q2Q3	Q5Q8	Q6Q7	I1	I2
Sentido horario 	1	ON	OFF	OFF	OFF	+	0
	2	OFF	OFF	ON	OFF	0	+
	3	OFF	ON	OFF	OFF	-	0
	4	OFF	OFF	OFF	ON	0	-
							Sentido antihorario 



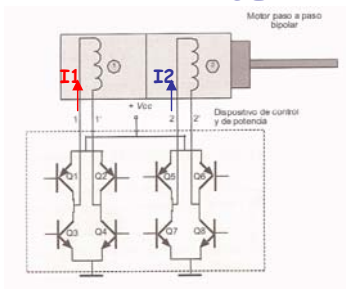
## CONTROL DE MOTORES PAP BIPOLARES: MEDIO PASO (Half Step)

• En el primer ejemplo, al excitar dos bobinas, el rotor se alinea con la bisectriz de ambos campos. En el segundo ejemplo, si se excita sólo una de ellas, el rotor queda bajo la acción del único campo existente y da lugar a un desplazamiento mitad respecto al anterior.

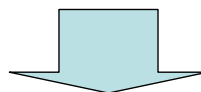
• Si intercalamos ambas secuencias, duplicando el número de estados posibles, podemos conseguir el avance de justo la mitad de paso respecto a los 2 casos anteriores.



### CONTROL DE MOTORES PAP BIPOLARES: MEDIO PASO (Half Step)



Secuencia de control necesaria para control en modo medio paso ("Half step")



Paso	Q1Q4	Q2Q3	Q5Q8	Q6Q7	I1	I2
1	ON	OFF	OFF	ON	+	-
2	ON	OFF	OFF	OFF	+	0
3	ON	OFF	ON	OFF	+	+
4	OFF	OFF	ON	OFF	0	+
5	OFF	ON	ON	OFF	-	+
6	OFF	ON	OFF	OFF	-	0
7	OFF	ON	OFF	ON	-	-
8	OFF	OFF	OFF	ON	0	-

Sentido horario

Sentido antihorario

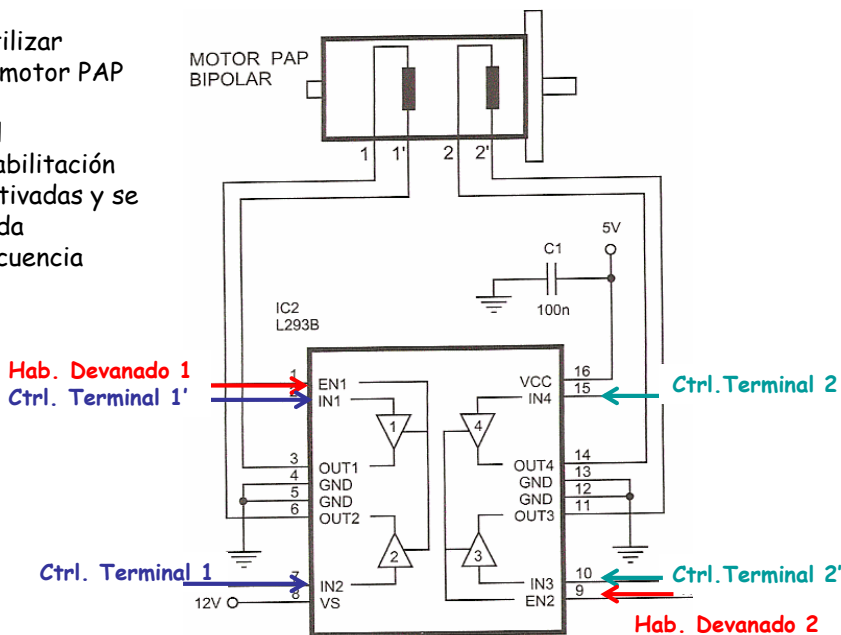
### CONTROL DE MOTORES PAP BIPOLARES

• El circuito de control de las bobinas de un motor PAP dado es idéntico en el caso de **Paso completo** y en el de **Medio paso**, lo único que cambia es la secuencia de control.

• Como driver, también se podría utilizar el **integrado L293** para manejar el motor PAP

• Si se pretende realizar un control de **paso completo**, las señales de habilitación podrían estar permanentemente activadas y se necesitaría utilizar **4 líneas** de salida de un microcontrolador según la secuencia adecuada para el giro

• Si el control es de **medio paso**, resulta necesario desactivar en algunos intervalos la circulación de corriente por una u otra bobina, hay que manejar las líneas de inhib. del L293 y se precisarían por lo tanto **6 pines de salida del microcontrolador**



## TIPOS DE MOTORES PASO A PASO: UNIPOLARES

- **Unipolares:** la corriente por las bobinas de los devanados **solo circula en un sentido** (respecto al motor bipolar se precisan más fases o bobinas para girar el rotor)

**Visión simplificada:**

Rotor = Imán que puede girar

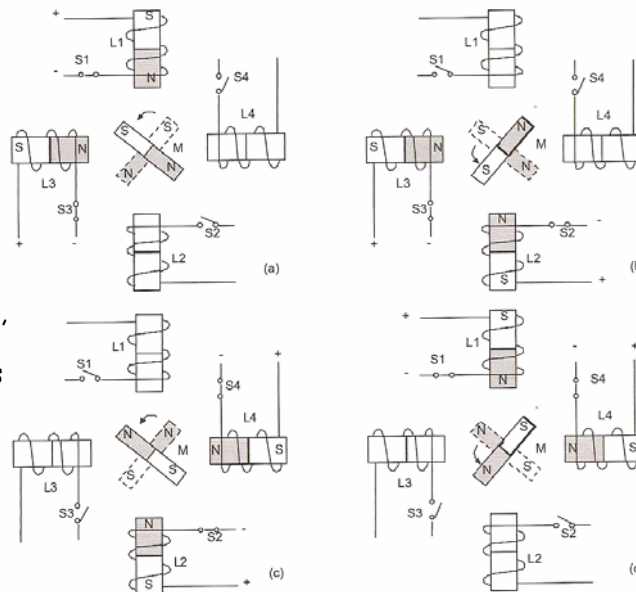
Estator = Bobinas con núcleo de hierro

**Posiciones:**

En función de qué bobinas se encuentren en conducción (si hay 2 simultáneamente), aparece un campo magnético resultante que hace que el rotor adopte 4 posiciones distintas con un giro de 90° con cada cambio. Se puede conseguir lo mismo excitando sólo una de las bobinas

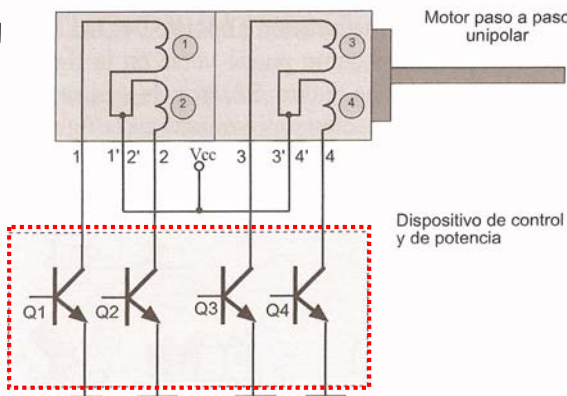
**Inconveniente:**

Más bobinas



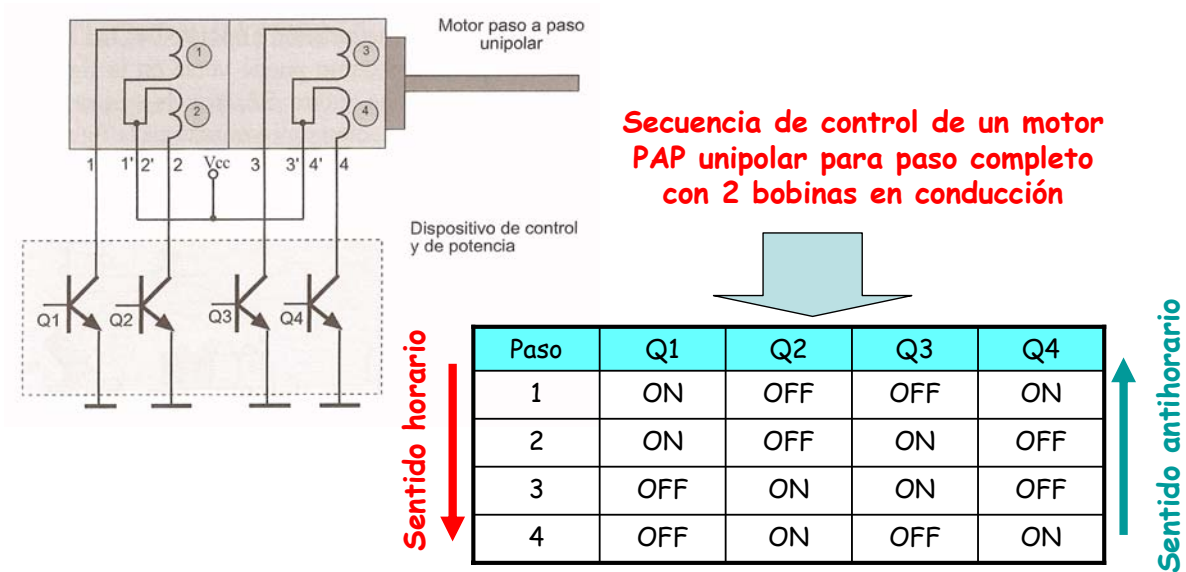
## CONTROL DE MOTORES PAP UNIPOLARES

- Para salvar el inconveniente que tiene la necesidad de dos polaridades en los motores PAP bipolares, se emplean devanados que tienen una toma media en las bobinas. Dicha toma media se fija a un nivel de tensión fijo para todos los devanados y la corriente por las bobinas circula en un único sentido
- Las bobinas se sitúan de dos en dos y cada par sobre un estator diferente. Salen **más cables del motor que en el caso bipolar**
- El circuito de control es **más simple** que en el caso bipolar (**4 transistores** ahora frente a los **8** que aparecían antes)
- Generando la secuencia adecuada de conducción de los transistores, se puede lograr el movimiento en un sentido u otro
- Aquí también resulta posible un control de **paso completo** (*full-step* o *single-step*) o de **medio paso** (*hal-step*)

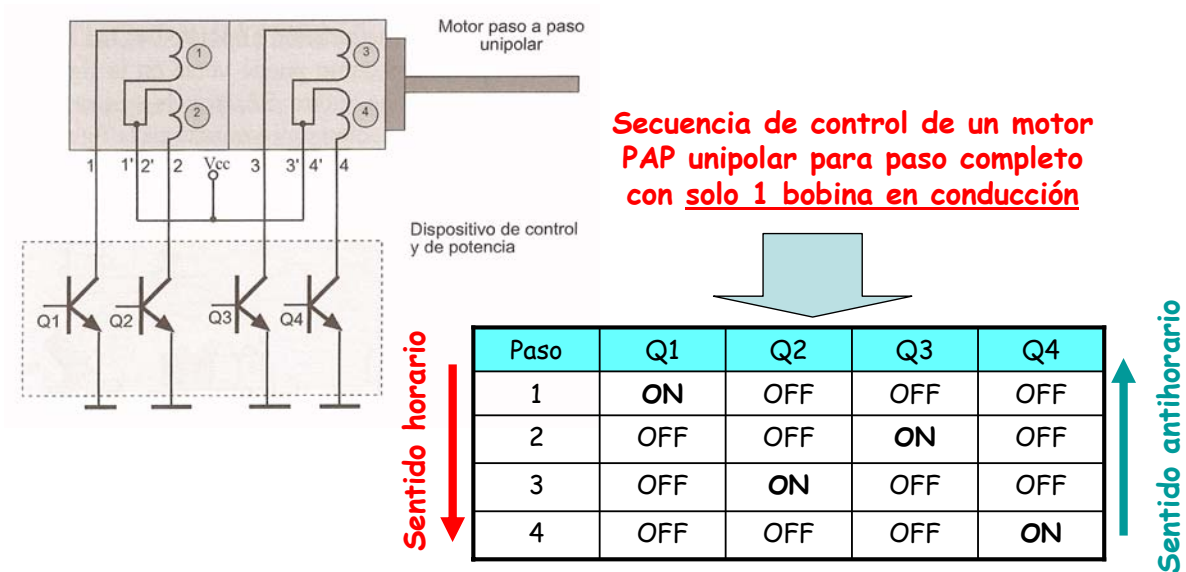




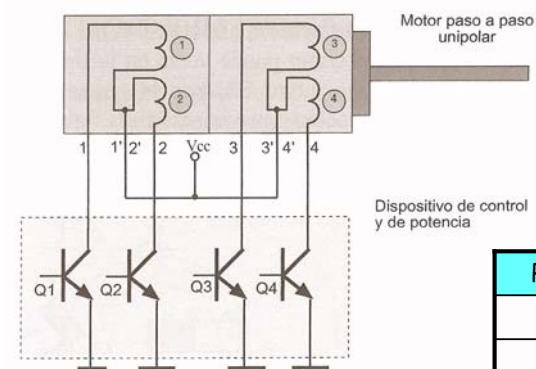
### CONTROL DE MOTORES PAP UNIPOLARES: PASO COMPLETO (Full Step)



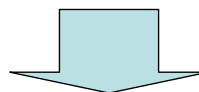
### CONTROL DE MOTORES PAP UNIPOLARES: PASO COMPLETO (Full Step)



### CONTROL DE MOTORES PAP UNIPOLARES: MEDIO PASO (Half Step)



Secuencia de control de un motor PAP unipolar para medio paso



Paso	Q1	Q2	Q3	Q4
1	ON	OFF	OFF	ON
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

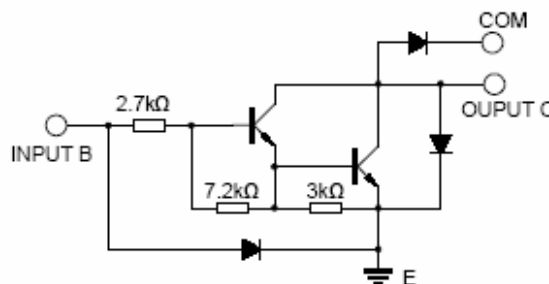
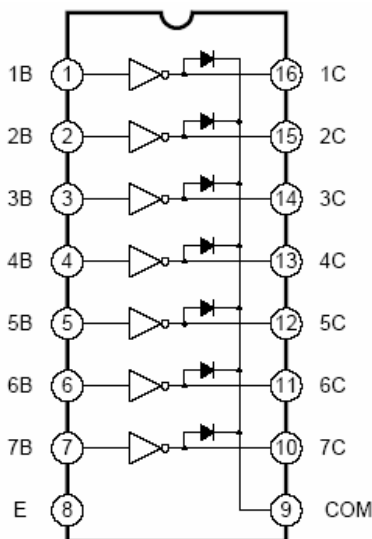
Sentido horario

Sentido antihorario

### CONTROL DE MOTORES PAP UNIPOLARES

• El circuito de control de las bobinas de un motor PAP puede consistir en varios transistores con **capacidad de conmutar corriente por los devanados**, existen muchos circuitos integrados que podrían ser utilizados para esta misión p.e. los populares ULN200x, que son un conjunto de transistores en montaje Darlington tal y como se muestra:

Diagrama lógico interno del integrado ULN2003A



Esquema eléctrico de cada canal

(Corriente de colector hasta 0,5 A en el ULN 2003A)

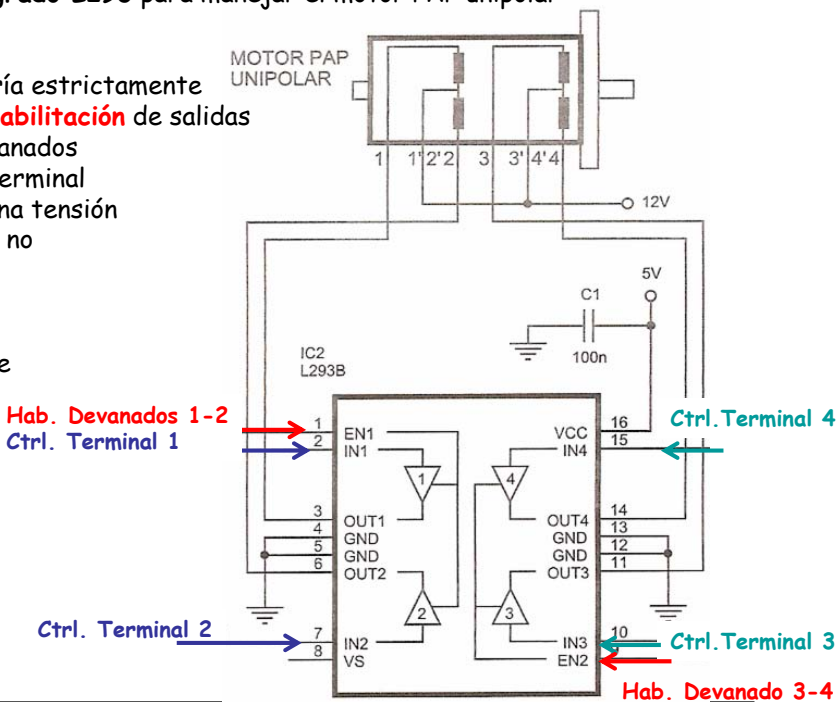


### CONTROL DE MOTORES PAP UNIPOLARES

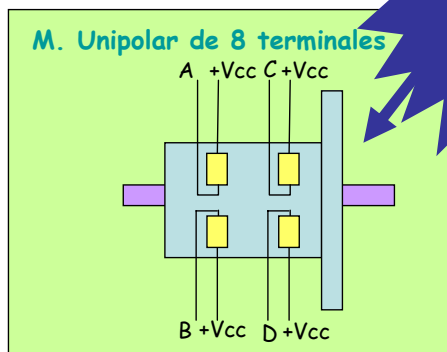
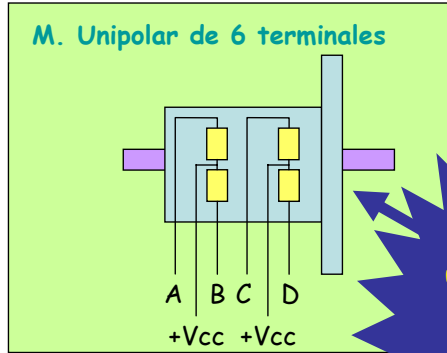
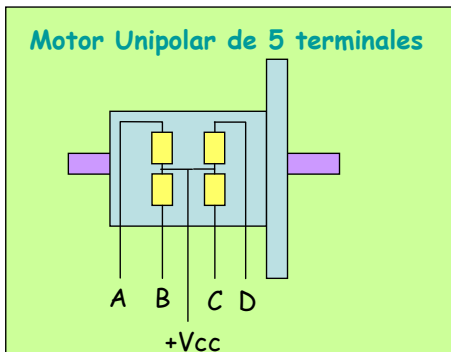
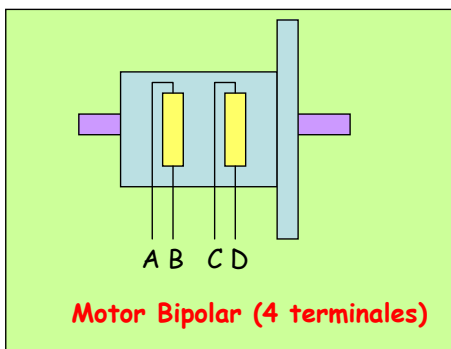
• También se podría utilizar el **integrado L293** para manejar el motor PAP unipolar

• Para un motor unipolar no resultaría estrictamente necesario **utilizar las señales de habilitación** de salidas para anular la corriente por los devanados en el caso de **medio paso**. Si en el terminal controlable del devanado se sitúa una tensión igual a la del terminal medio común, no circularía corriente

• Tanto para **medio paso** como para **paso completo** sería suficiente con utilizar **4 pines de salida** de un microcontrolador y se podrían dejar las señales de habilitación permanentemente activadas a "1"



### MOTORES PASO A PASO: N° de terminales



Pueden usarse como Bipolares si no se conecta la toma media

## MOTORES PAP: ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

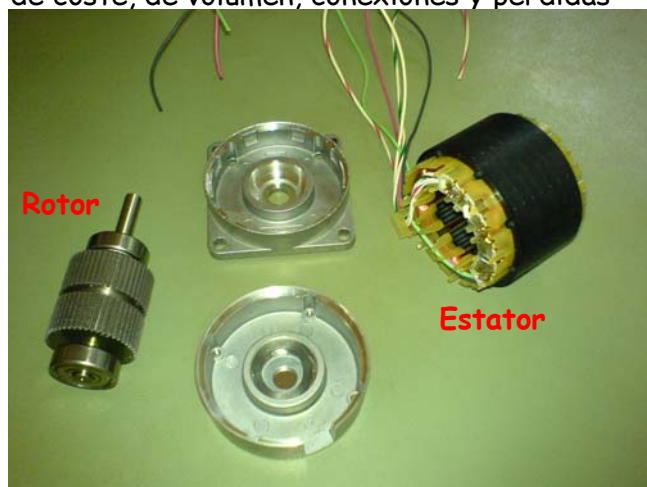
### Constitución interna:

- Para conseguir motores de paso más reducido según las ideas anteriores se debería aumentar el número de bobinas = aumento de coste, de volumen, conexiones y pérdidas

- Para lograr mejores soluciones, se realiza el mecanizado de los núcleos de las bobinas y del **rotor** en forma de hendiduras o dientes.

- Se crean tanto polos magnéticos como dientes y se establecen situaciones de equilibrio magnético **con avances mucho menores**

- Los motores PAP **no tienen escobillas** lo que los convierte en fiables y duraderos



- A partir de las configuraciones anteriores se pueden deducir los terminales de cada bobinado de motores PAP "recuperados" de discos duros, impresoras, etc. mediante un simple ohmetro

## CONTROL DE MOTORES PAP vs MOTORES DE CONTINUA

- El circuito y la lógica de control de un motor PAP **resultan más complejos** que el de un motor de continua

- El posicionamiento en un ángulo determinado **es más fácil en un motor PAP** que en un motor de continua:

- ❖ Un motor de continua necesitaría forzosamente de un "encoder" para conocer el ángulo de giro actual y sería necesario implementar un bucle cerrado de regulación

- ❖ Un motor paso a paso podría prescindir del "encoder" y conocer la posición contando los pasos dados en la secuencia de avance, (conociendo el par resistente y la dinámica del sistema mecánico acoplado al eje)

- La velocidad de giro de un motor PAP se controla **a partir de la frecuencia** a la que se ejecutan los pasos de la secuencia de control y la dirección de giro del sentido de dicha secuencia. Se consigue un excelente **control de velocidad y posición sin necesidad de realimentación**. Existe una limitación de velocidad debida al parámetro **frecuencia de paso máximo** que es el máximo n° de pasos/s que puede ejecutar el motor con un funcionamiento adecuado (*maximum pull-in/out*)

## CONTROL DE SERVOMOTORES

- Son motores de corriente continua con una electrónica interna de control que permite situar el eje en una posición de giro determinada. **Están pensados para posicionar**, no para rodar de manera continua. Dispone además un par de topes físicos que impiden el giro completo, limitándolo de 0° a 180°.

- Mecánicamente, dispone de un conjunto de ruedas dentadas acopladas al eje de giro que trabajan como **reductoras** y que hacen que aumente de manera considerable el par en el eje de salida

- Disponen **sólo de 3 terminales**, dos de alimentación (rojo y negro) y otro de control (blanco)

- Para el desarrollo de pequeños robots y para aprovechar la presencia de los engranajes de reducción, se les suele "trucar" eliminando el circuito de control y los topes físicos.

Pasan a convertirse así en simples **motores de continua** (solo dos terminales) **con reductora**



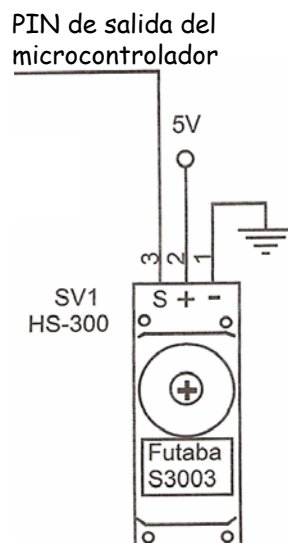
## CONTROL DE SERVOMOTORES

- La tensión de alimentación de los servos suele estar comprendida entre 4V y 8V y entre esos niveles se debe situar la tensión de los terminales rojo y negro y **de esa fuente se extrae la energía necesaria** para provocar el movimiento del motor.

- En el otro terminal, el de control (normalmente blanco) se debe situar una señal TTL (referida al terminal negro) periódica y modulada en anchura de pulso (PWM).

- El periodo de la señal no es excesivamente crítico, pudiendo variar entre 10ms y 30ms

- La **demanda de corriente** del terminal de control es **muy reducido**, por lo que no resulta necesario incluir ningún circuito de amplificación o "driver" y se puede realizar una **conexión directa** a un pin de salida de un microcontrolador.



## CONTROL DE SERVOMOTORES

• El **tiempo que dura la señal de control en nivel alto indica la posición** donde queremos situar el eje del motor. El eje del motor tiene unido un potenciómetro que indica al circuito de control interno si se ha llegado a la posición deseada dentro de un lazo de realimentación.

• Cada servomotor tiene **sus márgenes de operación** que se corresponde con el ancho de pulso máximo y mínimo que el servo "entiende" y que no puede sobrepasar por limitación mecánica

P.e. para servomotor Futaba S3003 los límites se sitúan entre 0,3 ms y 2,1 ms, el valor 1,2 ms lo situaría en la posición central.

Si se **sobrepasan** los límites aparecen vibraciones.

Para que un servo se mantenga en la misma posición **es necesario enviarle un pulso de anchura constante**. Si se dejan de enviar pulsos o **el intervalo entre pulsos supera el máximo permitido**, el servo dejará de intentar mantener la posición y cualquier fuerza externa lo desplazaría

