



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



ICAR

Sistemas con Microprocesadores

Control de motores

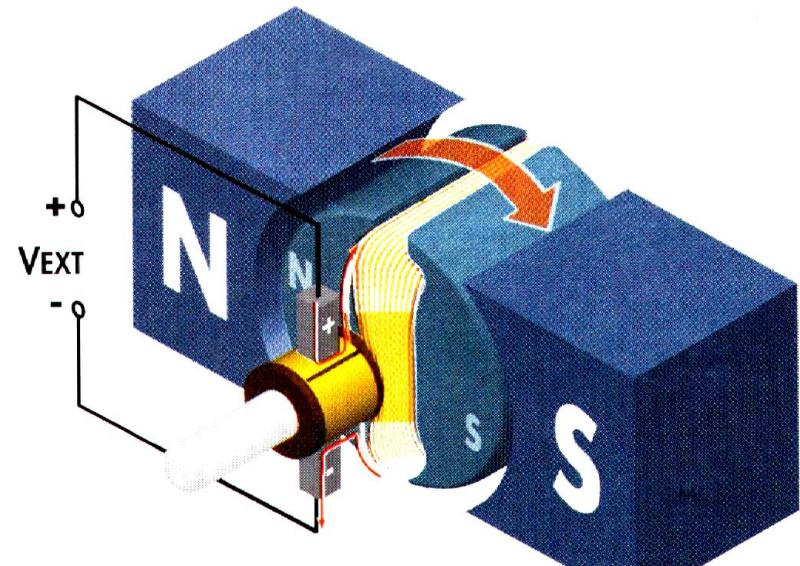
Alimentación de circuitos

Control de motores

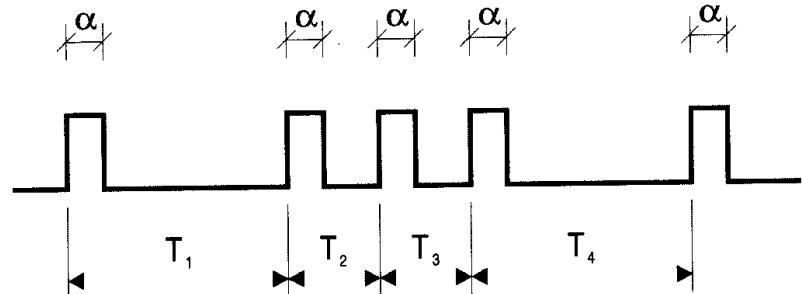
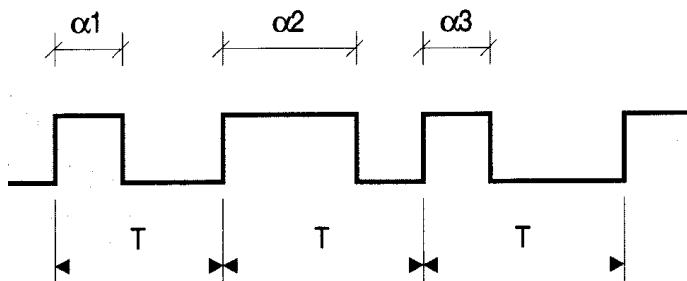
- Motores C.C. o de corriente continua (en inglés DC, *direct current*). Pueden incluir engranajes reductores para aumentar el par y reducir/estabilizar la velocidad de giro:
 - Velocidad de giro (y el par motor) \approx proporcional a la tensión continua aplicada. Sentido de giro definido por la polaridad de la tensión aplicada.
 - Regulación digital de velocidad mediante modulación de anchura de pulsos (PWM) o de frecuencia de pulsos (PFM).
 - No poseen de por sí control preciso de la posición del eje o de la velocidad: para esto se utilizaría un control en lazo cerrado (con algún tipo de realimentación) procedente de sensores. Por ej. disco con ranuras, potenciómetro en servomotores, etc.

Control de motores de C.C.

- Fundamento: movimiento del rotor (inducido) en el campo magnético del estator (bloque inductor), debido a fuerzas de atracción y repulsión magnéticas.



- Control de velocidad de giro:
 - Por nivel de tensión: velocidad proporcional al voltaje aplicado.
 - Por señal pulsante: **PWM** (*pulse-width modulation*) y **PFM** (*pulse-frequency modulation*).



Control de motores DC

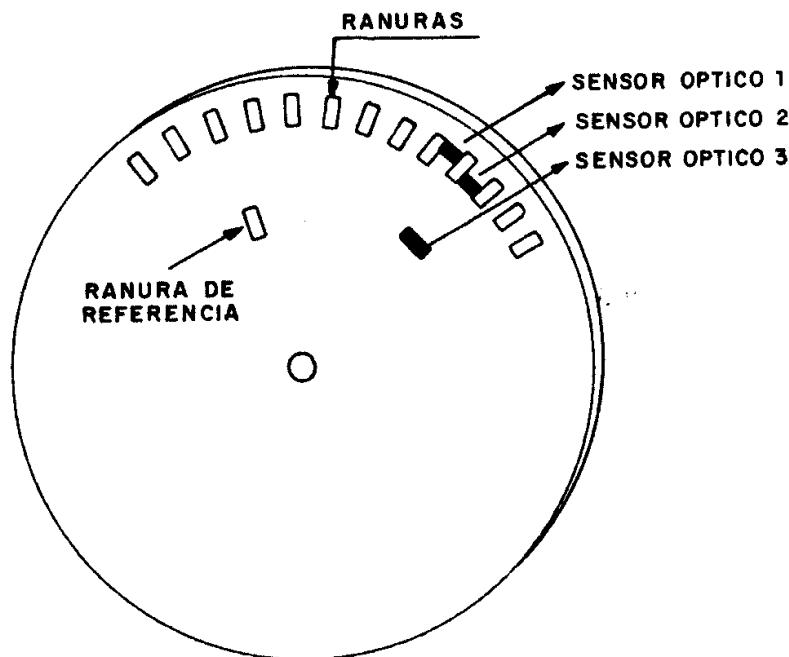
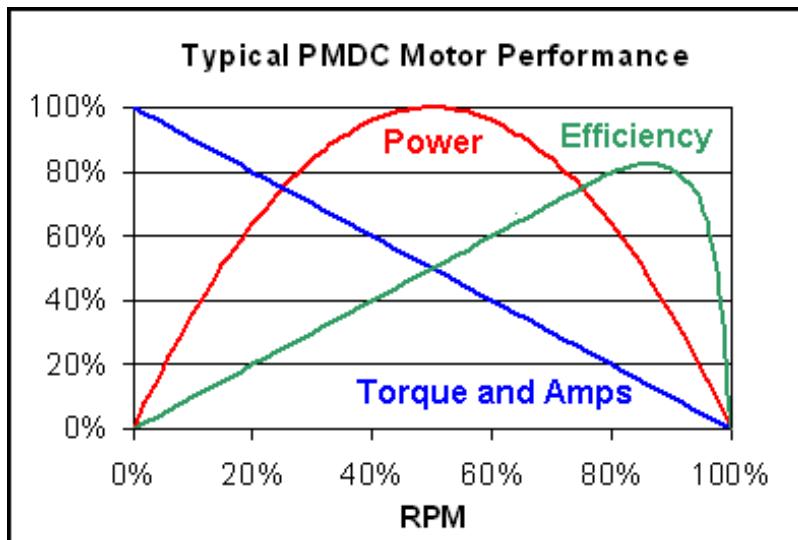
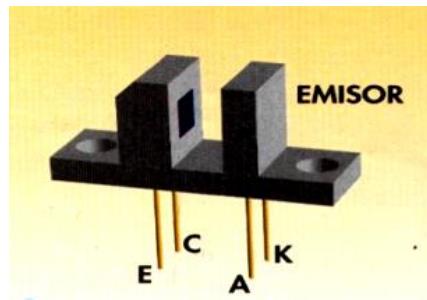
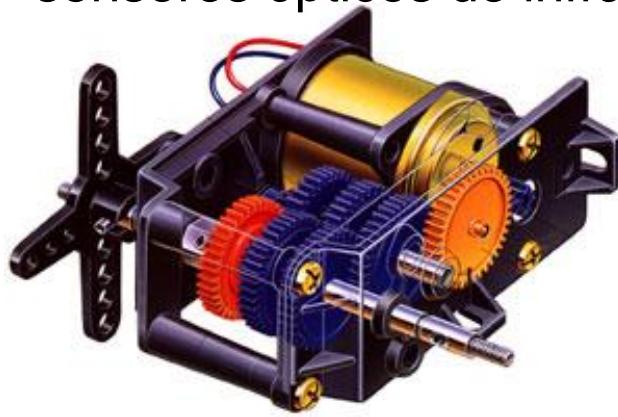
$$\text{PAR_MOTOR (torque)} = \text{FUERZA} * \text{RADIO_GIRO}$$

$$\text{POTENCIA} \propto \text{PAR_MOTOR} * \text{VELOCIDAD_GIRO}$$

Un motor de baja potencia, acoplado con un grupo de engranajes reductores permite obtener un elevado par motor y una velocidad de giro bastante estable.

Para un control de desplazamiento más preciso podemos emplear un control en lazo cerrado.

Ejemplo: codificador de posición con sensores ópticos de infrarrojos.

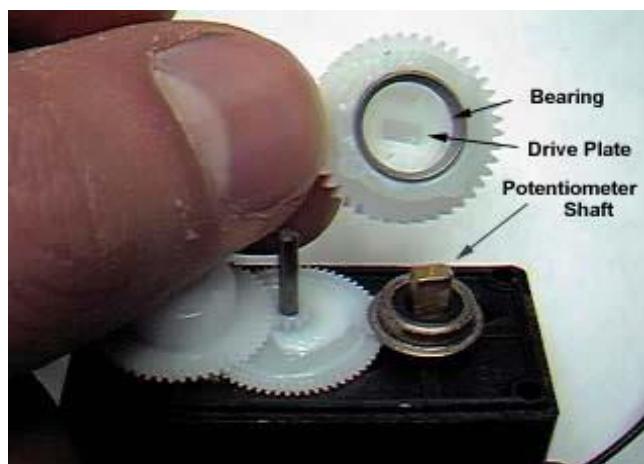
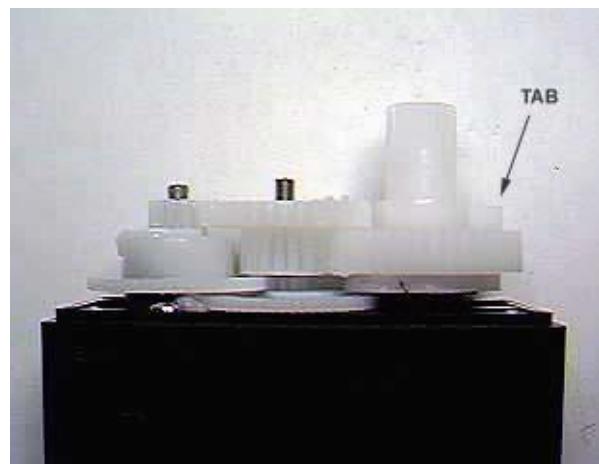


Servomotores

Ejemplo clásico de sistema de control realimentado: motor de C.C. + grupo reductor + sensor de posición (potenciómetro) + electrónica de control y *driver* de corriente.

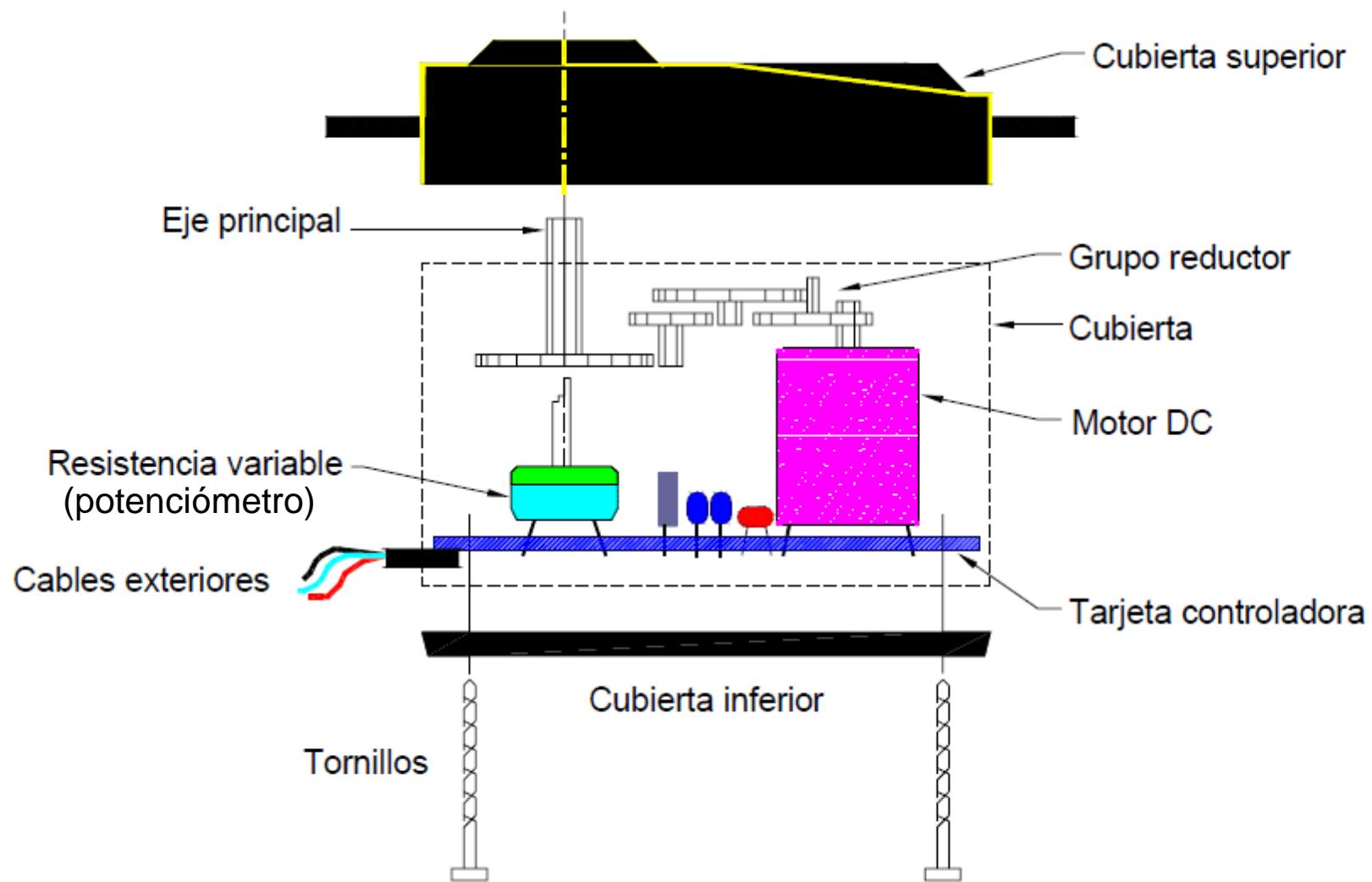
Giro máximo de 180 grados. El motor gira hasta compensar la diferencia entre el ángulo de consigna y la posición sensada por el potenciómetro.

Muy empleados en radiocontrol (R/C), principalmente para el control de la dirección.



Servomotores

Despiece de un servomotor sencillo:

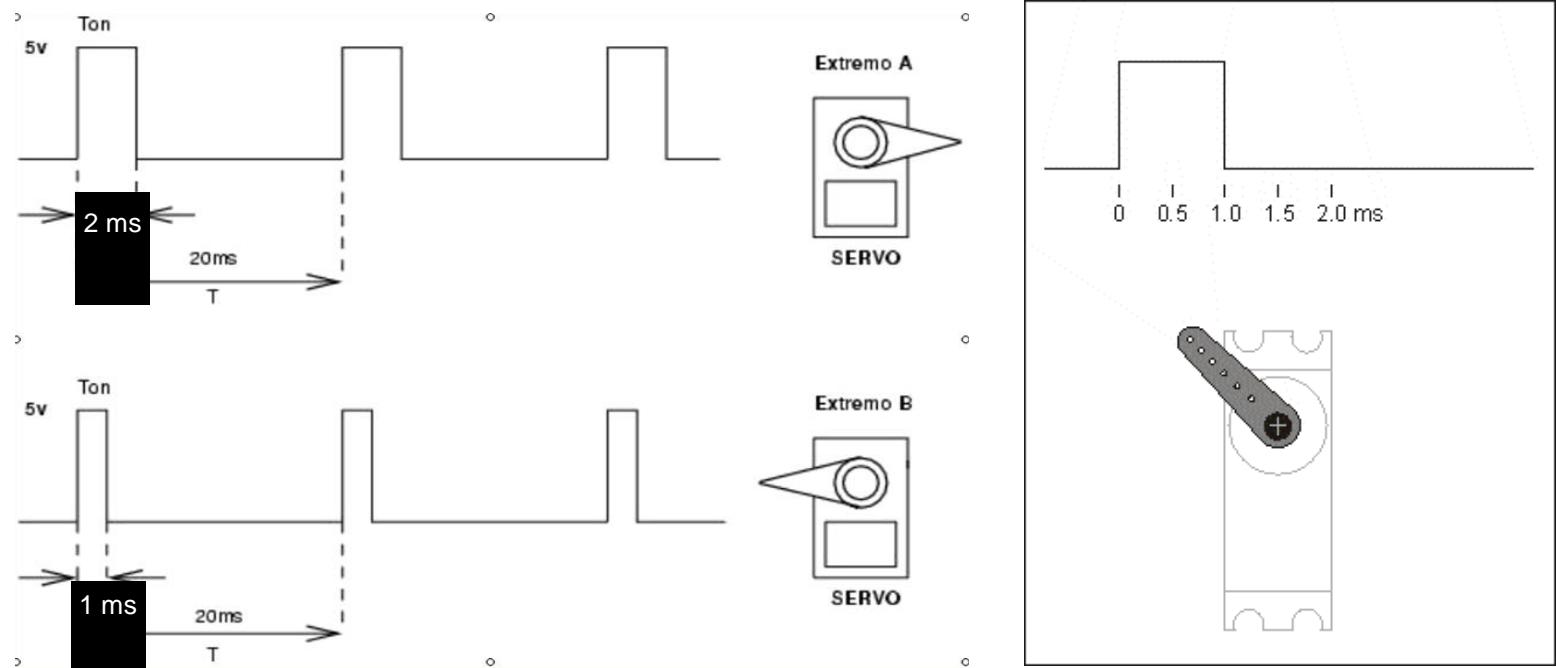


Servomotores

Control externo mediante un tipo particular de señal PWM, en ocasiones denominada PCM (*pulse code modulation*):

Cada 20 ms, el servo necesita recibir en su entrada de control al menos un pulso, cuyo tiempo en alta le indica el ángulo donde situarse. La anchura concreta depende del fabricante. En los Futaba, 1,5 ms corresponde a 90° (posición central), y el rango completo está entre 1 y 2 ms.

Si la electrónica no recibe algún pulso en aproximadamente 50 ms, el servo deja de funcionar (pasa a modo de ahorro de energía y no mantiene el ángulo).



Servomotores

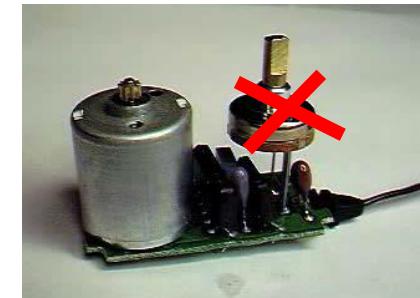
Uso normal (el eje solo puede girar en un rango):

- Para control de brazos, palancas, ejes móviles, etc. en los que se requiere efectuar un giro o desplazamiento controlado, y mantener la posición.

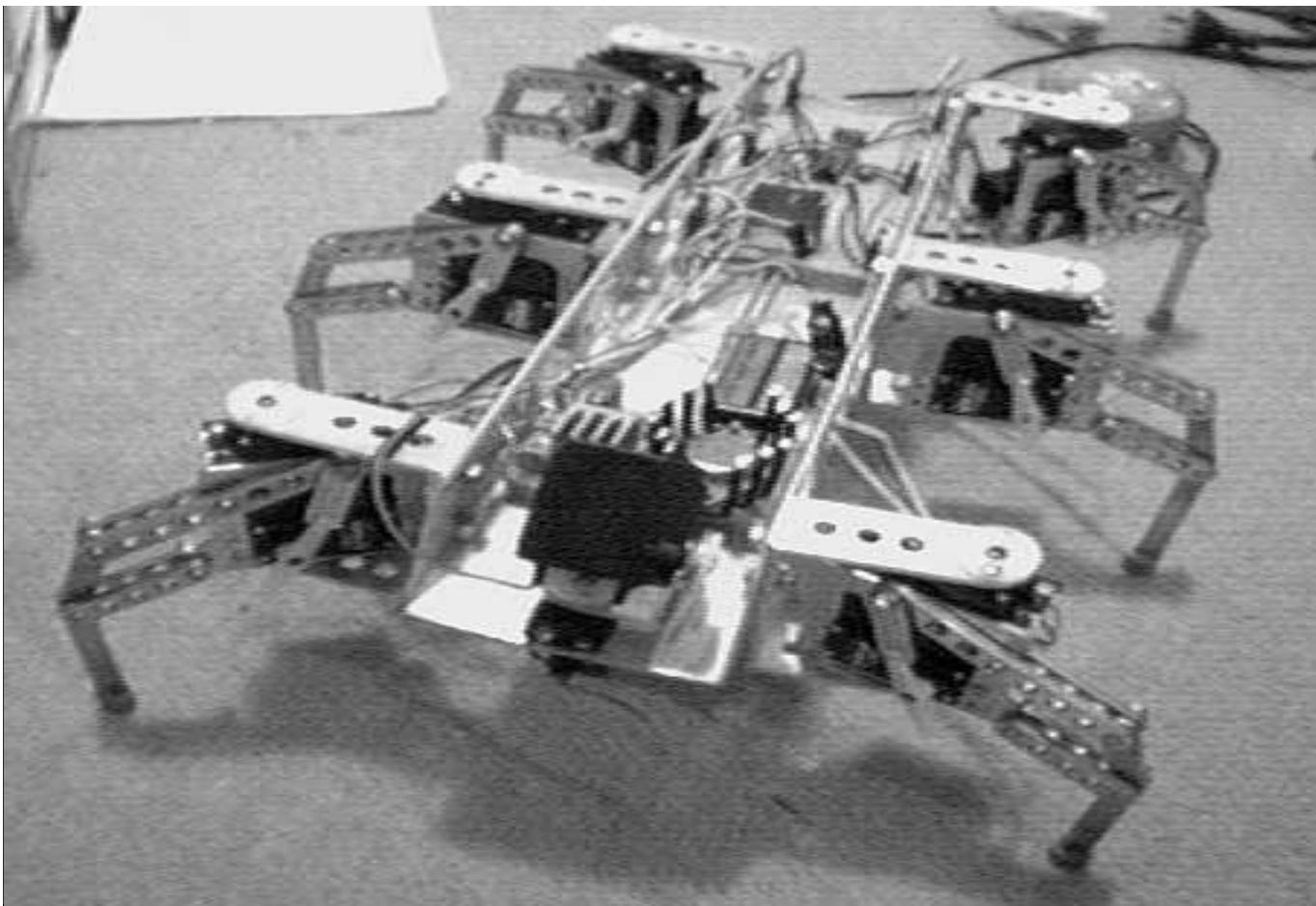


Uso trucado (el giro del eje no está limitado):

- Eliminando el *driver* del servo: Se usa como motor de C.C. con grupo reductor, necesitando *driver* de corriente externo: se anula el tope de giro, el potenciómetro y el resto de la electrónica.
- Conservando el *driver* del servo: Se usa como motor de C.C. con control mediante PCM, no se necesita *driver* de corriente externo: se fija el potenciómetro en posición central o se sustituye por dos resistencias iguales.



Servomotores



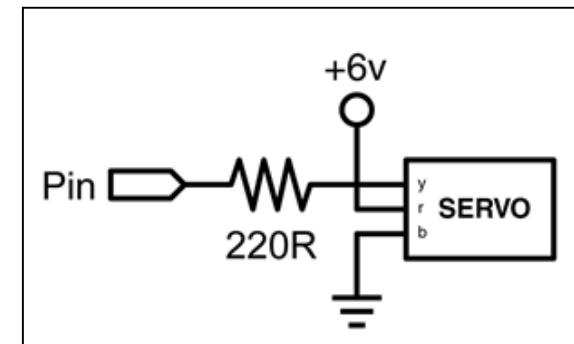
Ejemplo: Hexápodo “Big-Brother”:

Servomotores (Arduino): Señal PWM generada por software

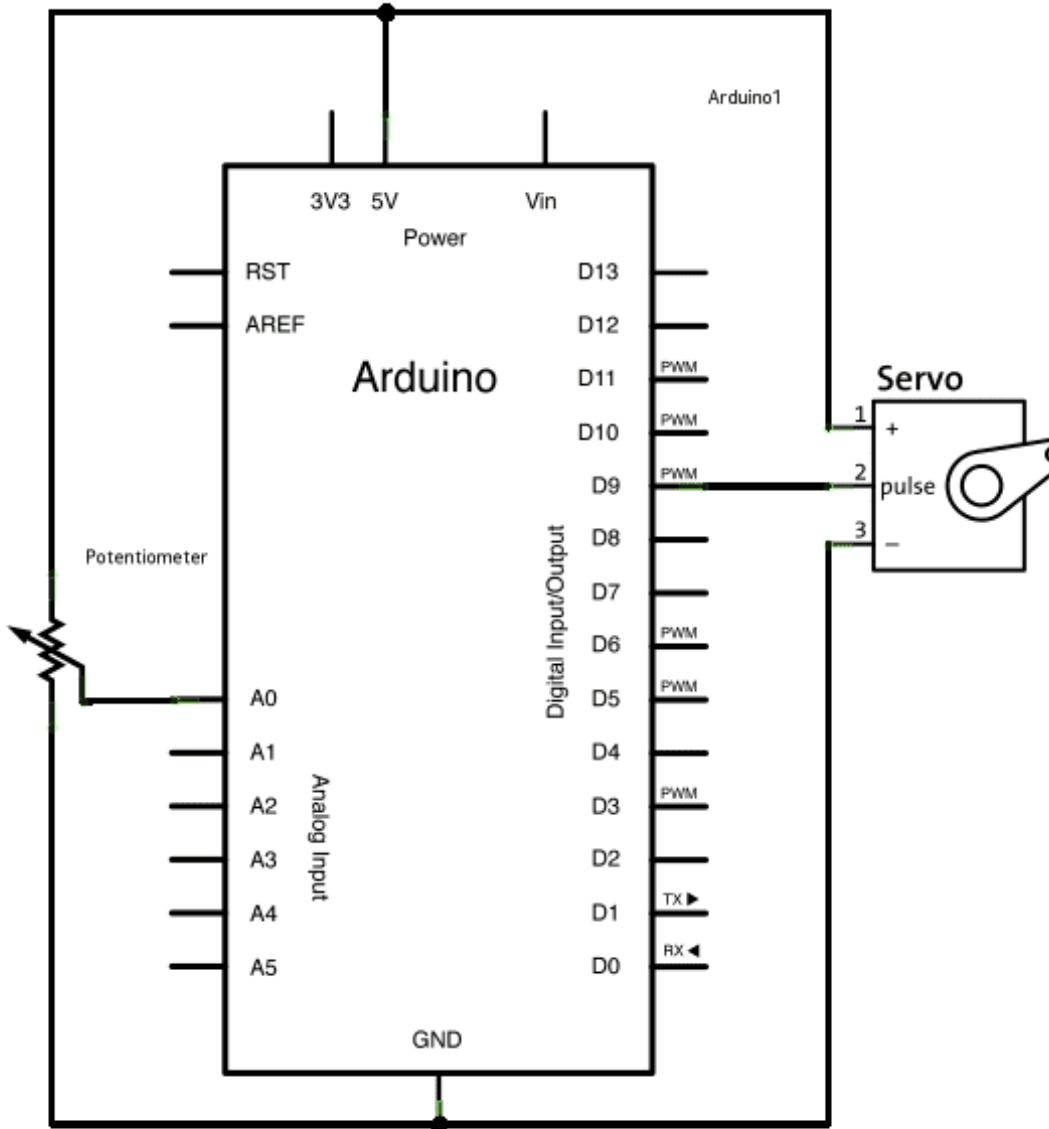
```
#define SERVO_PIN 2 // servo conectado al pin digital 2
void setup()
{
    pinMode(SERVO_PIN, OUTPUT); // configura pin 2 como salida
}

void servoPulse(uint8_t servoPin, uint8_t myAngle)
{
    unsigned int pulseWidth; // anchura del pulso
    pulseWidth = ((unsigned int)myAngle * 10) + 600; // determina retardo en us
    → digitalWrite(servoPin, HIGH); // activa el servo
    delayMicroseconds(pulseWidth); // pausa
    → digitalWrite(servoPin, LOW); // desactiva el servo
    delayMicroseconds(20000-pulseWidth); // 20 ms aprox.
}

void loop()
{ // inicia su recorrido en 10° y gira hasta 170°
    uint8_t myAngle;
    for (myAngle=10; myAngle<=170; myAngle++) // ángulo del servo de 0-180
        servoPulse(servoPin, myAngle);
    for (myAngle=170; myAngle>=10; myAngle--) // el servo vuelve hasta 10°
        servoPulse(servoPin, myAngle);
}
```



Servomotores (Arduino): Ejemplo de control con potenciómetro



Servomotores (Arduino): Biblioteca Servo: Control con potenciómetro

```
#include <Servo.h>

#define POTEN_PIN 0 // analog pin used to connect the potentiometer
#define SERVO_PIN 9 // servo connected to pin 9
Servo myservo; // create servo object to control a servo

void setup()
{
    myservo.attach(SERVO_PIN); // attaches servo pin to the servo object
}

void loop()
{ // read potent. value from analog pin (value between 0 and 1023)
    int val = analogRead(POTEN_PIN);
    // scale it to use it with the servo (value between 0 and 180)
    val = map(val, 0, 1023, 0, 180);
    // sets the servo position according to the scaled value
    myservo.write(val);
    delay(15); // waits for the servo
}
```

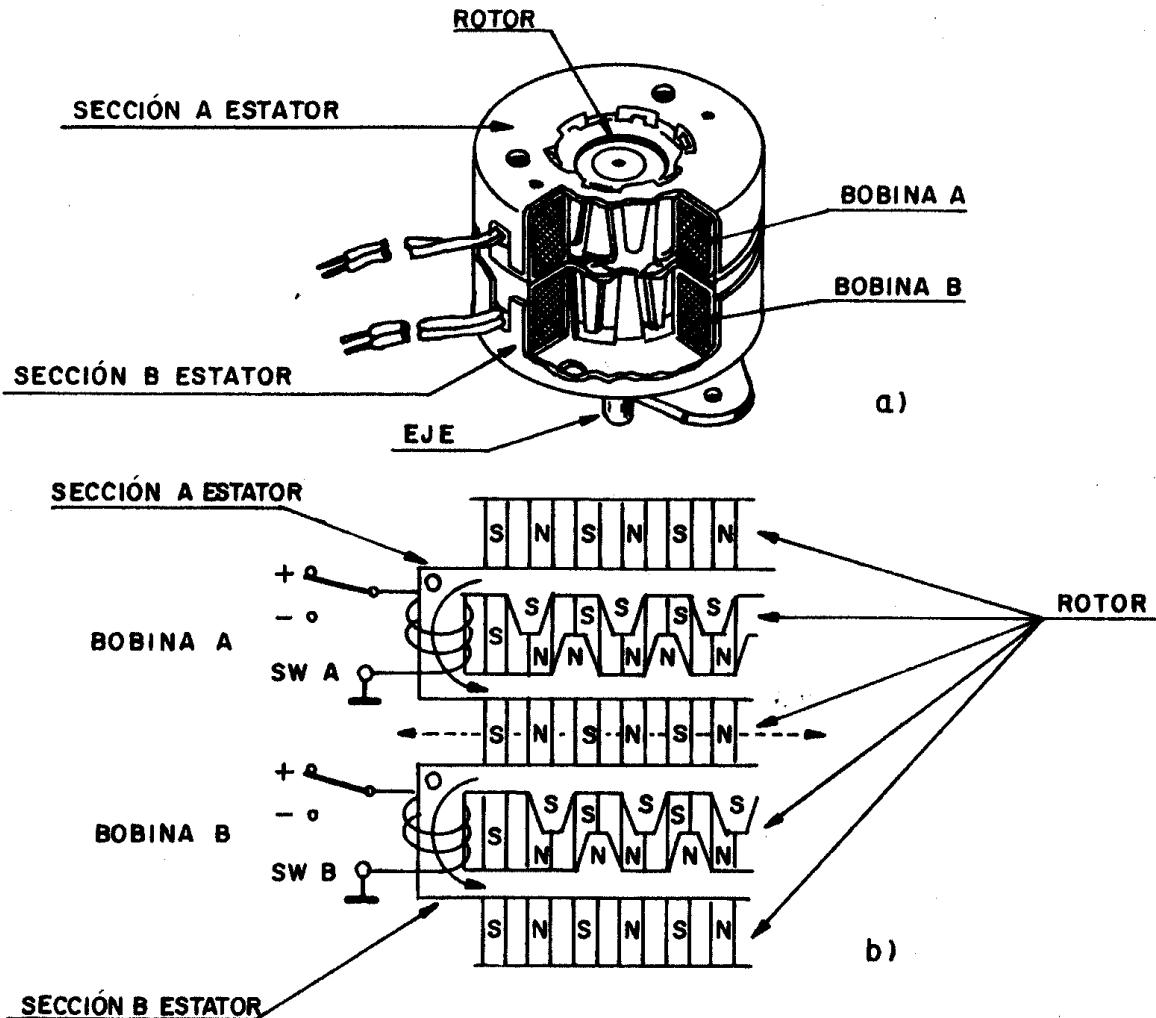
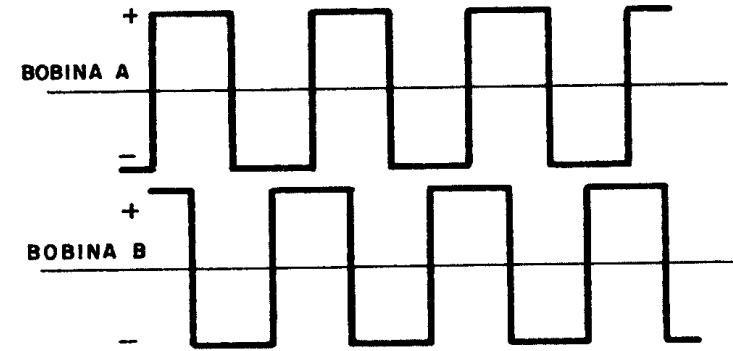
Control de motores

- Motores de pasos (o motores paso a paso, P. a P.):
 - Gira un número de grados (paso) al recibir una secuencia de pulsos de excitación. Sentido de giro gobernado por el orden de aplicación de la secuencia. Velocidad de giro definida por la frecuencia con que se aplican secuencias de impulsos.
 - Par de fuerza considerable de por sí sin necesidad de un grupo reductor.
 - Control directo del giro producido (resolución limitada por el número de pasos por vuelta).

Motores de pasos

A diferencia del motor de corriente continua, el giro de un motor PaP no es continuo, sino que se realiza a saltos o pasos de un cierto ángulo.

Parámetro característico: número total de pasos por revolución (o ángulo por paso).

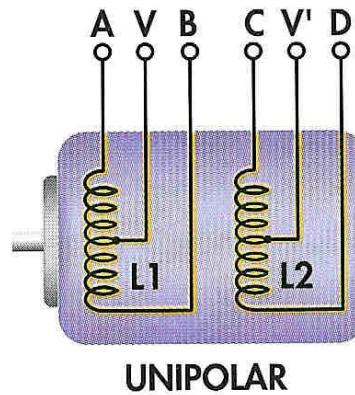
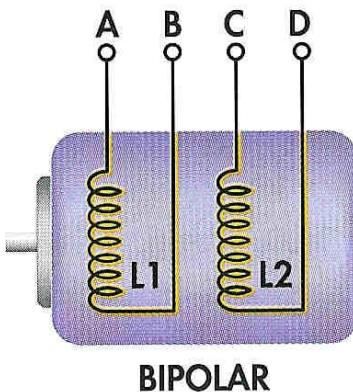


Motores de pasos

Modalidades:

PaP Bipolar: 4 terminales para los dos bobinas de estator. El *driver* debe poder conectar los terminales a masa y alimentación.

PaP Unipolar: incorpora tomas intermedias que se conectan directamente a la alimentación (por ej. a 12 V). El *driver* solo tiene que conectar a masa.



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

Secuencia de bobinas a activar para mover motores unipolares

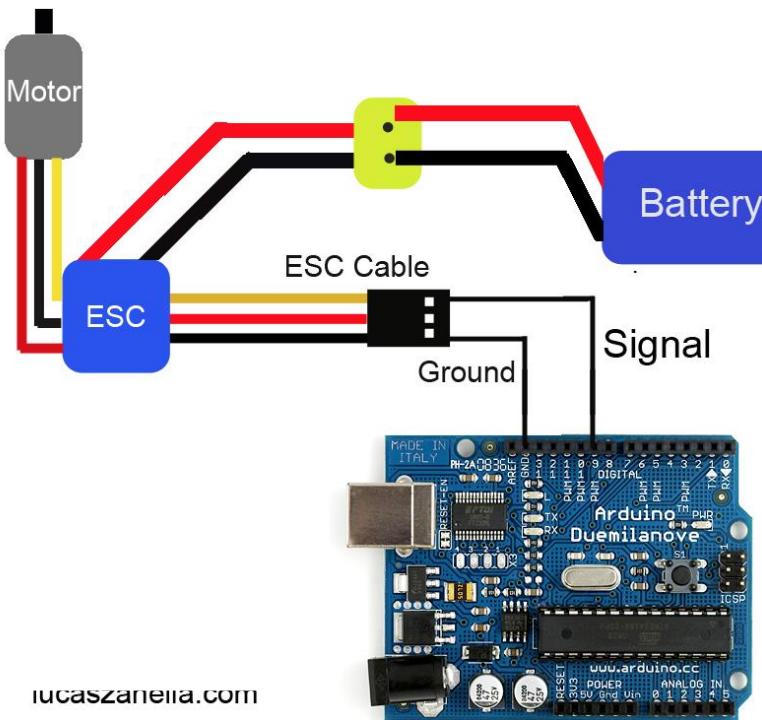
Características generales:

Control preciso de giro aplicando secuencias de impulsos (control de posición en lazo abierto).

Velocidad de giro proporcional a la frecuencia de los impulsos.

Motores sin escobillas (*brushless*): motores para drones

- ESC: *Electronic Speed Control*
- Control para motores sin escobillas, con 3 cables
- Control mediante PWM



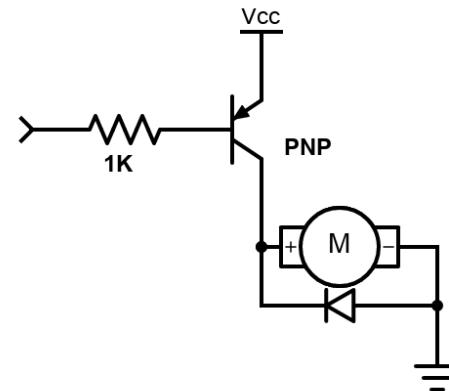
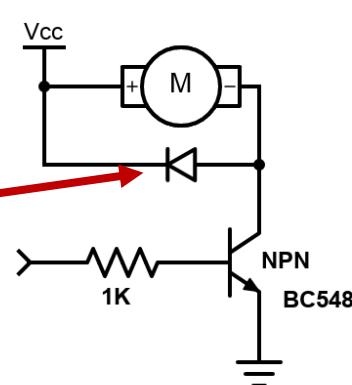
Circuitos de excitación y control de motores

- ❑ Transistores
- ❑ Relés
- ❑ Específicos para motores de pasos
- ❑ *Drivers* de corriente integrados

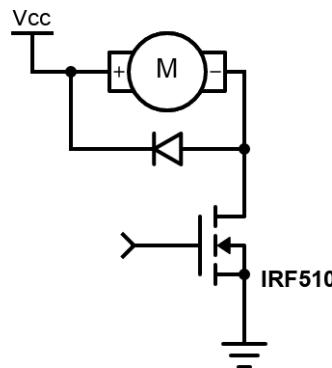
Control con transistores

□ Salida con transistores bipolares (NPN y PNP)

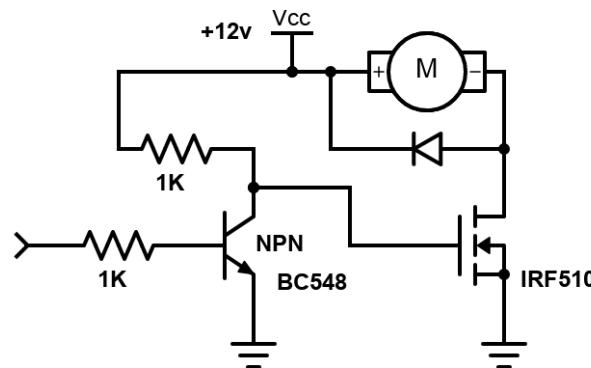
Diodo de libre circulación:
protege al transistor de
picos de tensión



□ Salida con transistor MOSFET



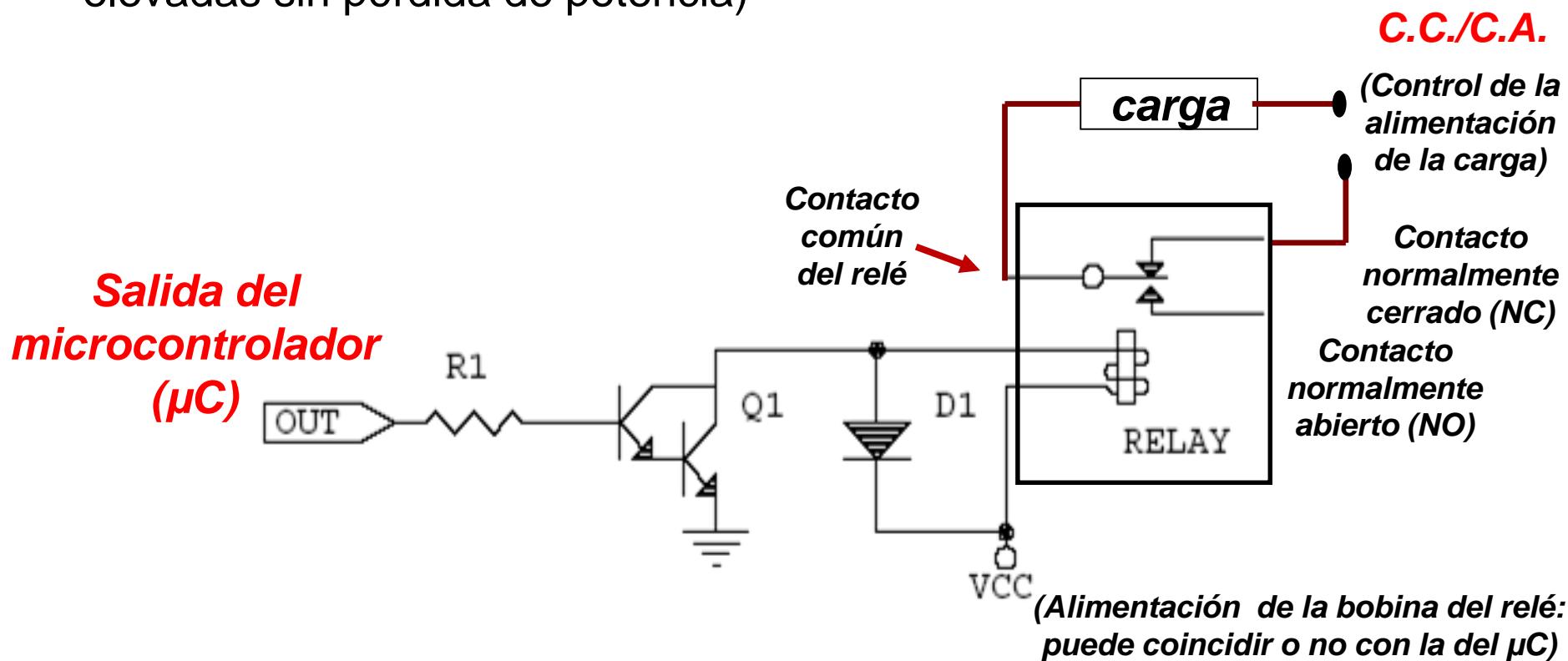
Control < 2,6 A



Control hasta 27A

Relés

- Son dispositivos electromecánicos de respuesta lenta (no aptos para regulación mediante PWM)
- Conmutan igualmente corriente continua o alterna, en circuito eléctricamente aislado del de control.
- Los contactos metálicos del circuito que conmuta la corriente no producen caída apreciable de tensión (pueden conmutar corrientes elevadas sin pérdida de potencia)

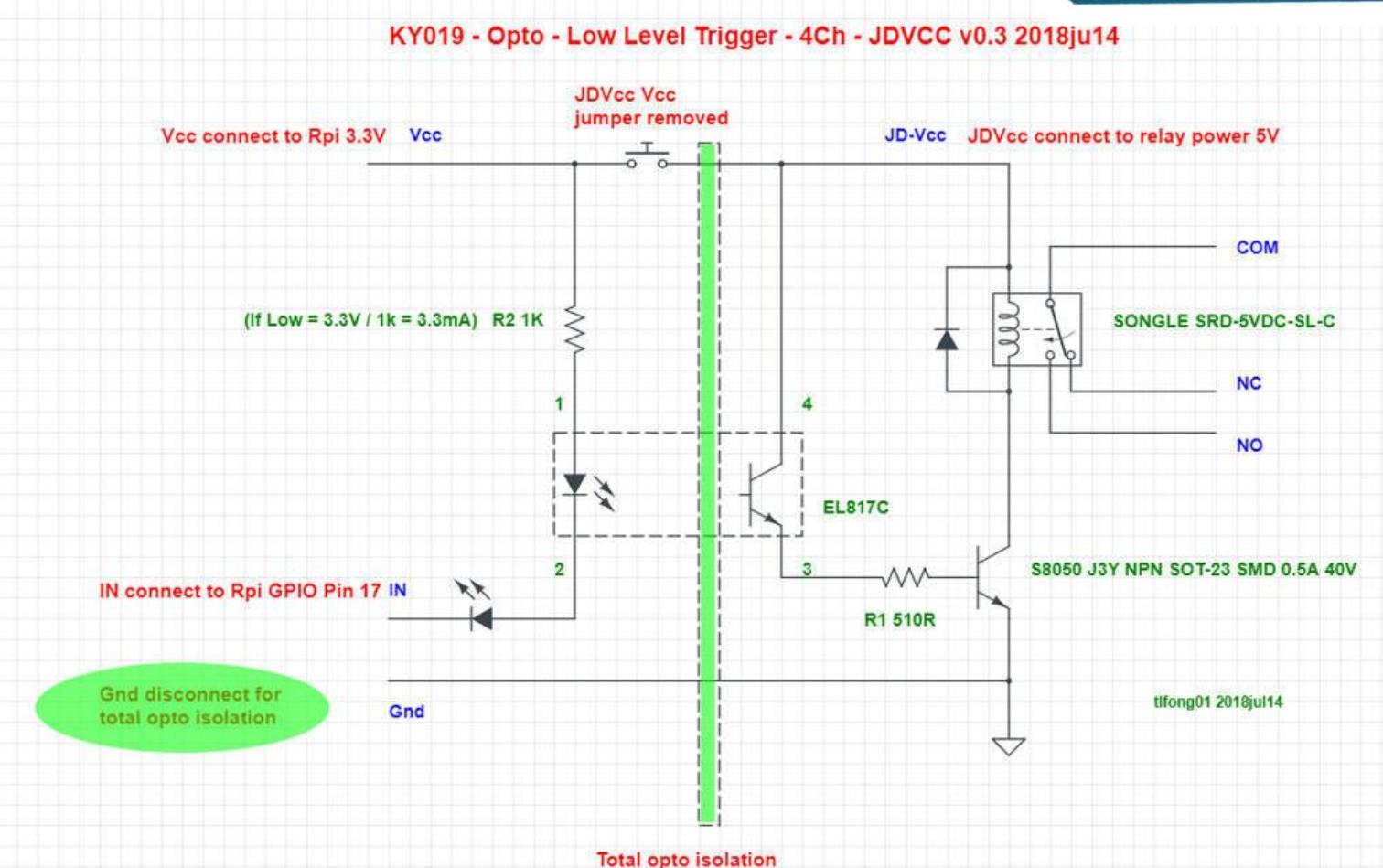


Placa relés

- Placa con 4 relés y sendos optoacopladores. Se alimentan a 5 V y pueden usar lógica de 5 V o 3,3 V (3V3).
- Activa en baja (*active low*)



KY019 - Opto - Low Level Trigger - 4Ch - JDVCC v0.3 2018ju14



Específicos para PaP

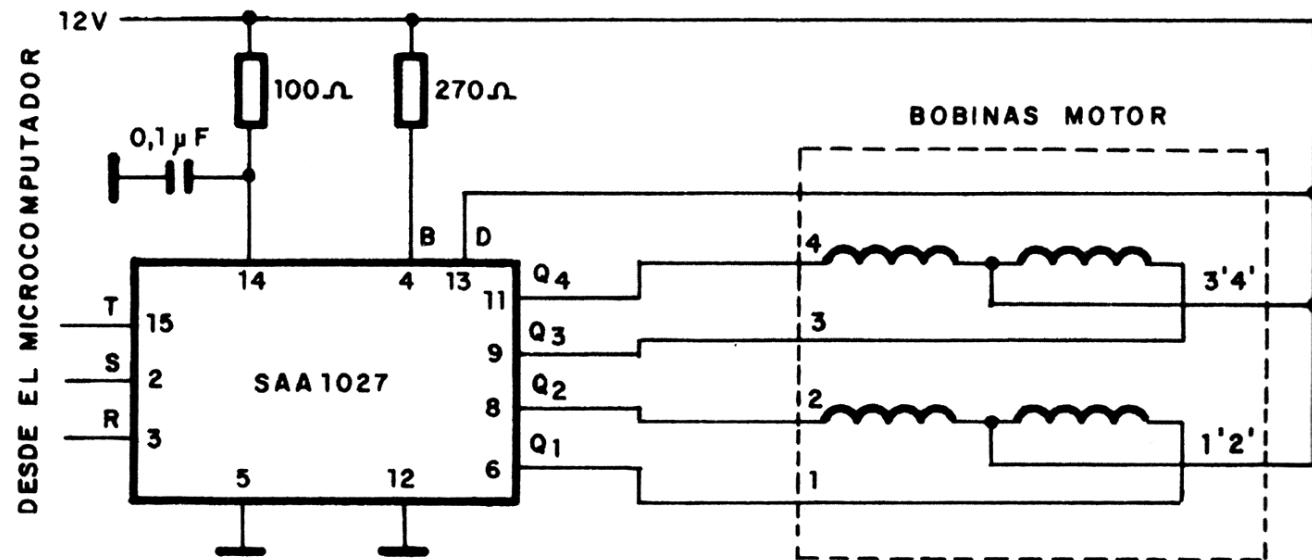
- Generan las secuencias de impulsos, con los niveles de corriente suficientes, a partir de las señales de control (habilitación, velocidad y sentido de giro):

Ejemplo: SAA1027

T: entrada de impulsos cuya frecuencia determina la velocidad del motor.

S: sentido de giro.

R: habilitación



Drivers de corriente con circuitos integrados

- Circuitos (integrados) con salidas de corriente elevada que permiten excitar motores, tanto de pasos, como de corriente continua.
- Implementados a partir de transistores (de potencia).

Driver ULN280x/ULN200x

- 8 transistores Darlington. Salida 500 mA: funcionan como interruptores que conectan las salidas a masa (es decir, la salida solo hacen *pull* cuando se activa).
- I_{max} = 600 mA (pico). V_{CE}=50V
- Diodos para la supresión de picos de cargas inductivas
- Los circuitos se pueden conectar en paralelo para soportar mayor intensidad
- Entradas compatibles TTL / CMOS
- ULN200x versión de 7 salidas

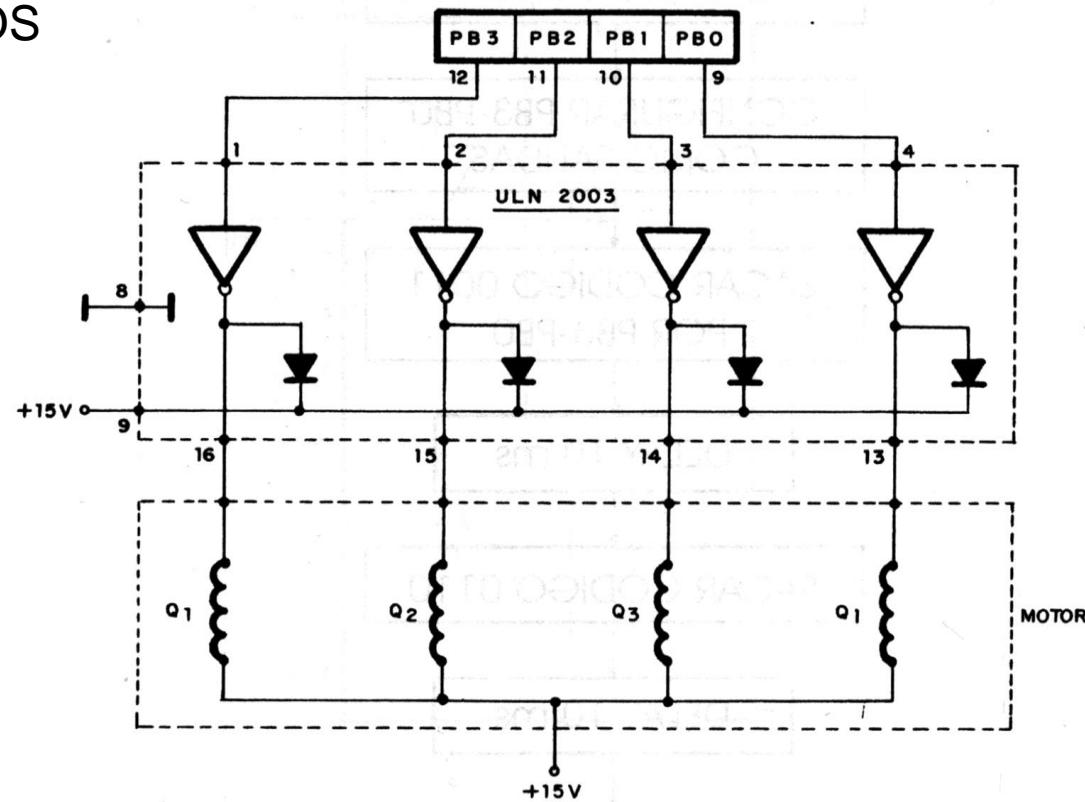
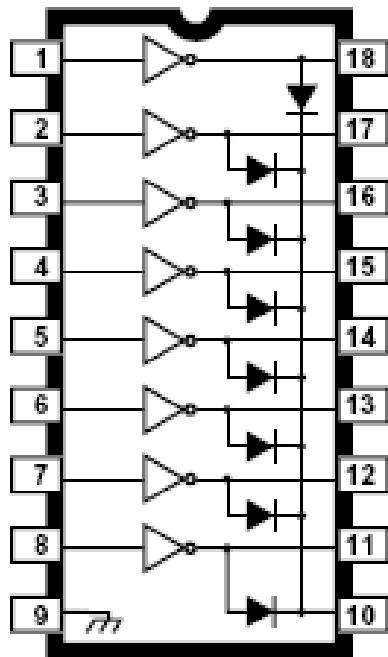
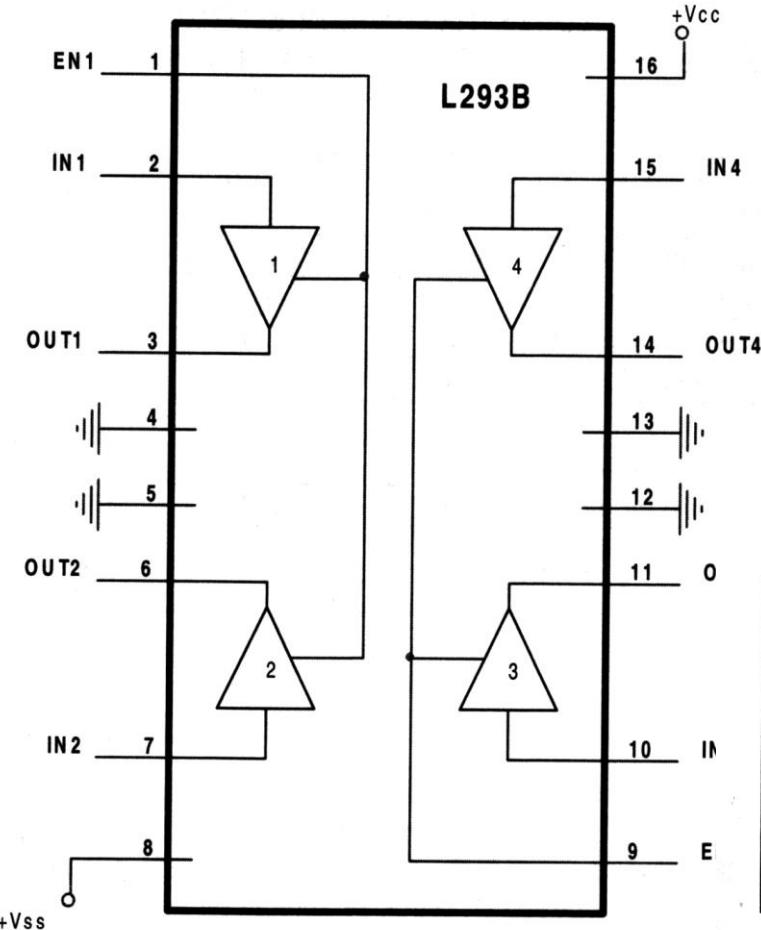


Diagrama ULN280x

Ejemplo de conexión de un motor PaP
al puerto B del microcontrolador

Puente en H L293B

- Contiene 4 drivers de corriente “push-pull” para cargas máximas de 1 A (picos de 2 A) y hasta 36 V. Señales de habilitación por parejas. Implementación de puente H para motores PaP o de C.C.: control de un PaP bipolar, o dos motores DC con doble sentido de giro.



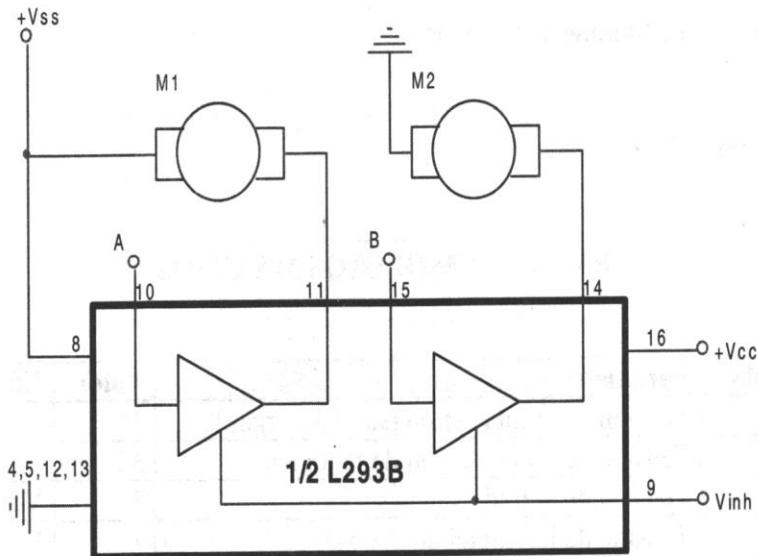
VINn	VOUTn	VENn
H	H	H
L	L	H
H	Z	L
L	Z	L

RANGOS ABSOLUTOS MÁXIMOS

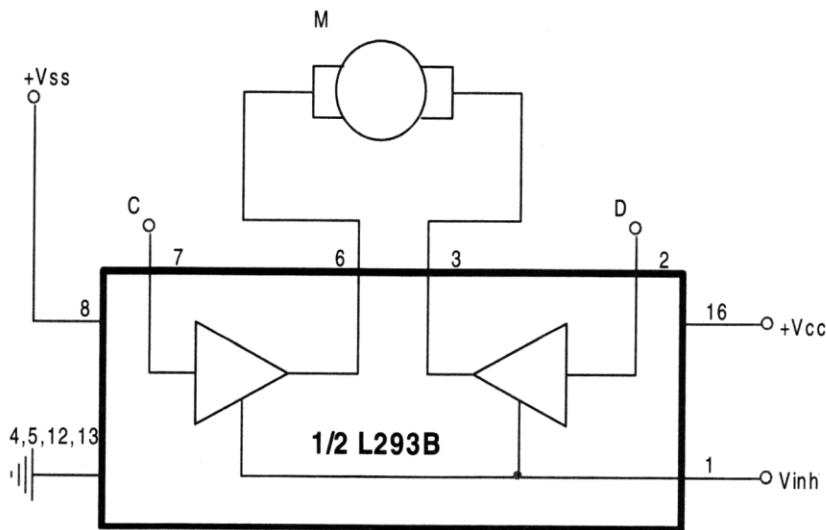
Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
V _{SS}	Tensión de alimentación para las cargas	36	V
V _{CC}	Tensión de alimentación de la lógica	36	V
V _i	Tensión de entrada	7	V
V _{inh}	Tensión de habilitación	7	V
I _{out}	Intensidad de pico de salida	2	A
P _{tot}	Disipación total de potencia	5	W

L293B: Esquemas de conexión típicos

Control de motores de C.C. con un sólo sentido de giro



Control de motores de C.C. con doble sentido de giro

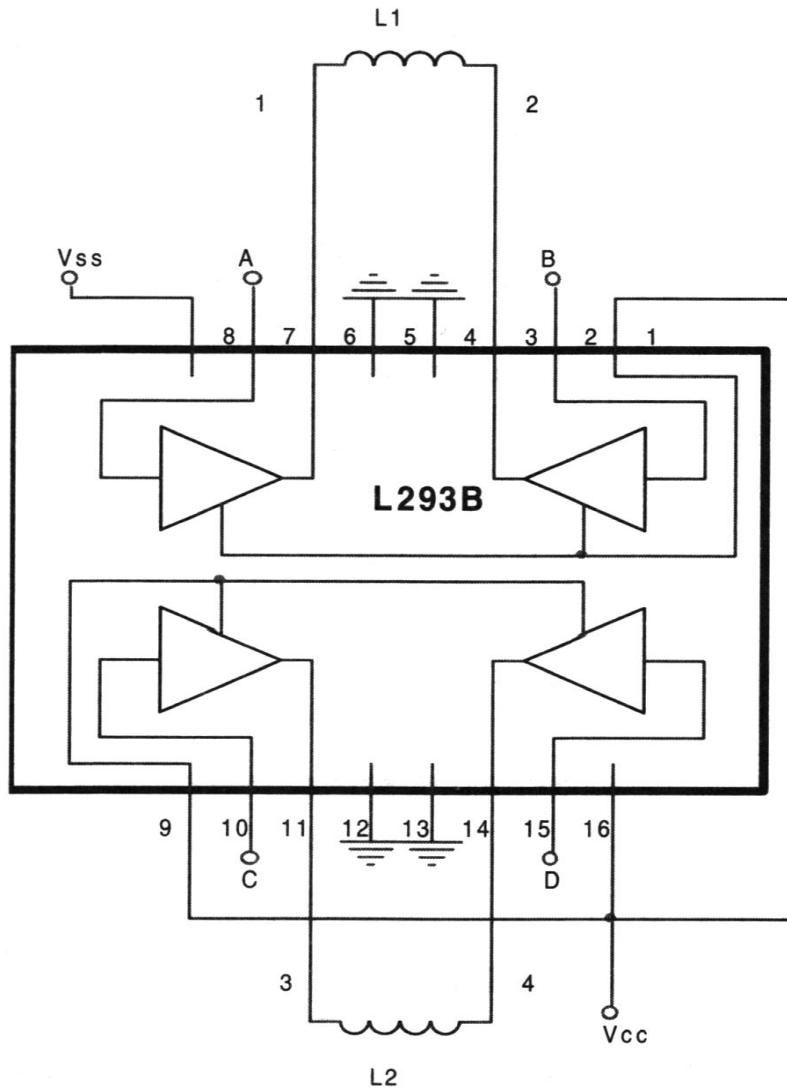


V _{inh}	A	M1	B	M2
H	H	Parada rápida del motor	H	Giro
H	L	Giro	L	Parada rápida del motor
L	X	Motor desconectado, giro libre	X	Motor desconectado, giro libre

L = Nivel “0”; H = Nivel “1”; X = irrelevante

V _{inh}	C	D	M
H	L	L	Parada rápida del motor
H	H	H	Parada rápida del motor
H	L	H	Giro a la izquierda
H	H	L	Giro a la derecha
L	X	X	Motor desconectado, giro libre

L293B: Esquema de conexión de un motor PaP bipolar



Ejemplo de tablas de excitación:

PASO	L1-1	L1-2	L2-3	L2-4
1	+	-	+	-
2	-	+	+	-
3	-	+	-	+
4	+	-	-	+

Giro en sentido horario

PASO	L1-1	L1-2	L2-3	L2-4
1	+	-	-	+
2	-	+	-	+
3	-	+	+	-
4	+	-	+	-

Giro en sentido anti-horario

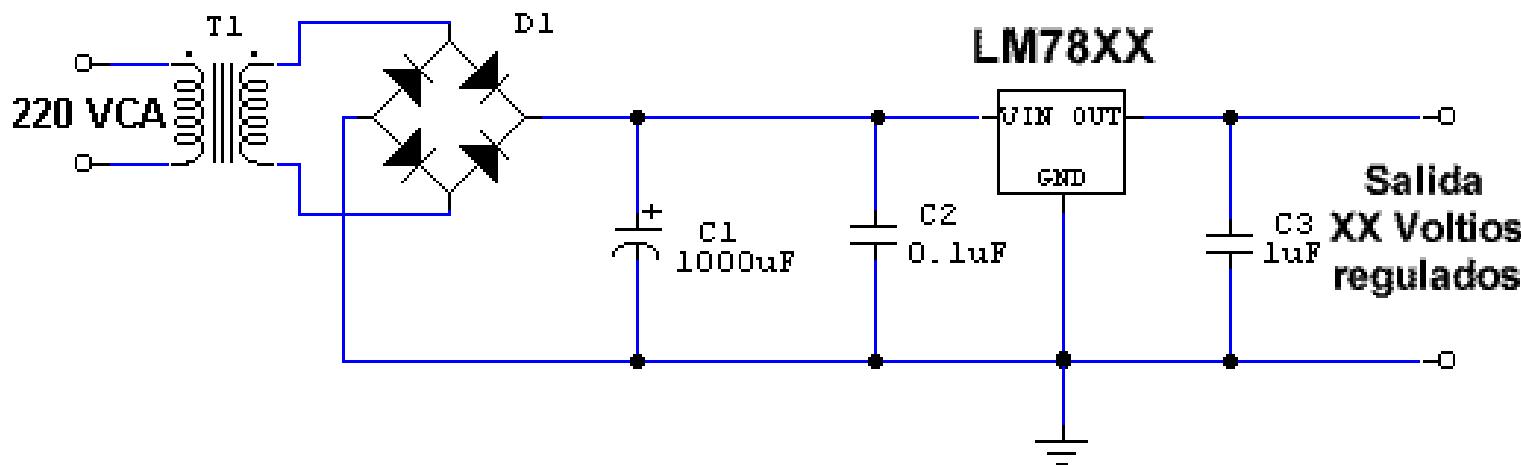
Controlador de motor MD03

- Implementa puente en H
 - Tensión en C.C. para el motor entre 5 y 50 V
 - Corriente hasta 20 A.
 - Distintas formas de controlarlo:
 - bus serie I2C, tensión analógica de 0 a 5 V, PWM...



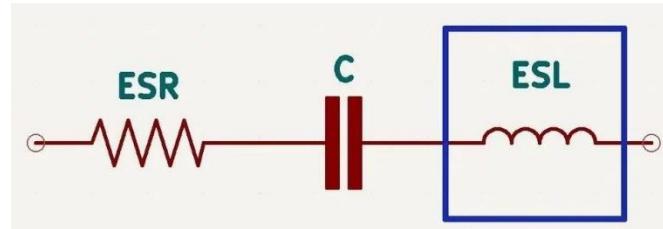
Fuentes de alimentación para microcontroladores con reg. de tensión

- Los reguladores de tensión tienen parámetros importantes:
 - Voltaje de salida
 - Intensidad de salida
 - Voltaje de caída: En los reguladores, el voltaje de entrada tiene que ser superior al de salida. A mayor caída de voltaje, mayor pérdida de energía por disipación de calor. También hay disponibles reguladores de baja caída.
 - Tolerancia del voltaje de salida: un 5%

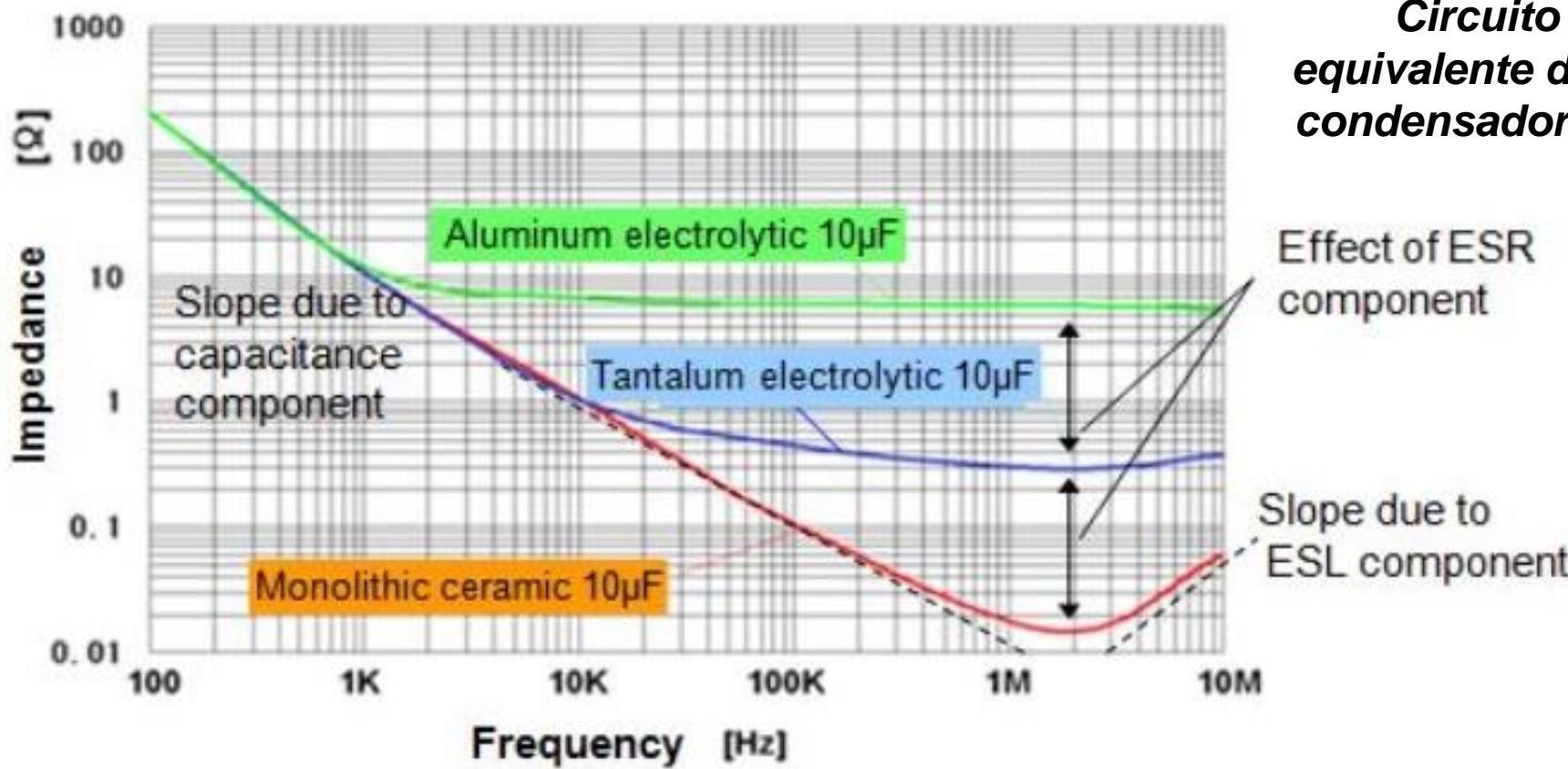


Alimentación de microcontroladores: Respuesta de condensadores reales

- Condensadores de aluminio (llamados electrolíticos): indicados para filtrar bajas frecuencias.
- Condensadores cerámicos: indicados para altas frecuencias.
- Condensadores de tántalo



Circuito equivalente de un condensador real

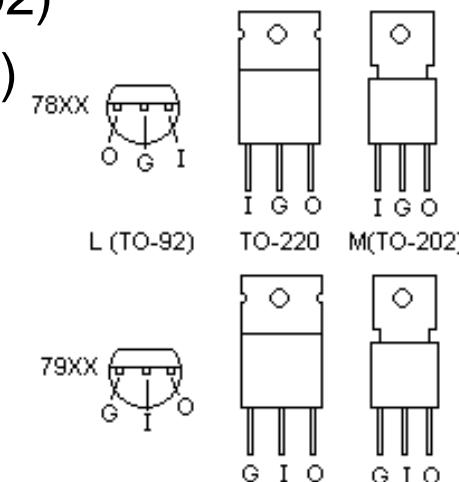


Fuentes de alimentación para microcontroladores con LM78xx

- Los reguladores más ampliamente conocidos son las series LM78XX. XX = 05, 06, 08, 09, 12, 15, 18, 24 y 30.
- El voltaje de caída es de unos 2 V (depende del modelo de regulador LM78XX) por lo que para un regulador LM7805 el voltaje mínimo de entrada será de unos 7V. Estos reguladores limitan la intensidad de salida frente a cortocircuitos y disponen de protección térmica por sobrecarga.

Otras características de los reguladores de tensión

- La serie LM79XX son reguladores de tensión negativa. Por ejemplo, para circuitos donde se requiere una alimentación simétrica (tanto alimentación positiva como negativa).
- Son de bajo coste y presentan diversos encapsulados en función de la intensidad máxima que pueden ofrecer. Los tres encapsulados son:
 - LM78LXX: Reguladores hasta 0,1 A. (Encaps:TO-92)
 - LM78XX: Regulación hasta 1,5 A. (Encaps:TO-220)
 - LM78MXX: Hasta 0,5 A. (Encaps:TO-202)



Otras características de los reguladores

- Estos reguladores ofrecen una tensión de salida estabilizada muy útil para muchos circuitos electrónicos. Pero a veces es necesario tener en cuenta otros factores importantes como son:
 - Regulación de carga: Cuánto varía el voltaje de salida frente a cambios bruscos de cambios de intensidad de salida. $\Delta V_o / \Delta I$
 - Regulación de línea: Cuánto varía el voltaje de salida frente a cambios bruscos en el voltaje de entrada. $\Delta V_o / \Delta V_i$
 - Rechazo al rizado: Relación entre el rizado de entrada y salida.
 - Intensidad de reposo: Cuánta intensidad circula por el regulador incluso aunque no haya una carga.

Conversores C.C./C.C. (D.C./D.C. converters)

- Pasan de un voltaje (de entrada) a otro. Son mucho más eficiente que reguladores de tensión por lo que resultan ideales en sistemas alimentados por baterías donde es importante aprovechar la energía:
 - Conversores *down-converters*: Convierten de mayor a menor voltaje
 - Conversores *up-converters*: Convierten de menor a mayor voltaje
 - Conversores *up/down*: Ambas posibilidades
- Implementado mediante: bobinas, transformadores, o con condensadores comutados.
- Según el aislamiento eléctrico entre la entrada y la salida:
 - Con aislamiento: Cuando se requiere alimentar un circuito cuyo potencial de masa es diferente al de entrada.
 - Sin aislamiento: Más sencillos. Solo se requiere una conversión de voltaje.

Conversores de C.C. de bajo coste ajustables

- *Step-down:* Entrada 4..35 V, Salida ajustable 1,2..30 V, 3 A, Eficiencia 92%

- <https://es.aliexpress.com/item/4000064597454.html>



- *Step-up:* Entrada 2..24 V, Salida ajustable hasta 28 V, 2 A, Eficiencia 95%

- <https://es.aliexpress.com/item/4000131087042.html>