

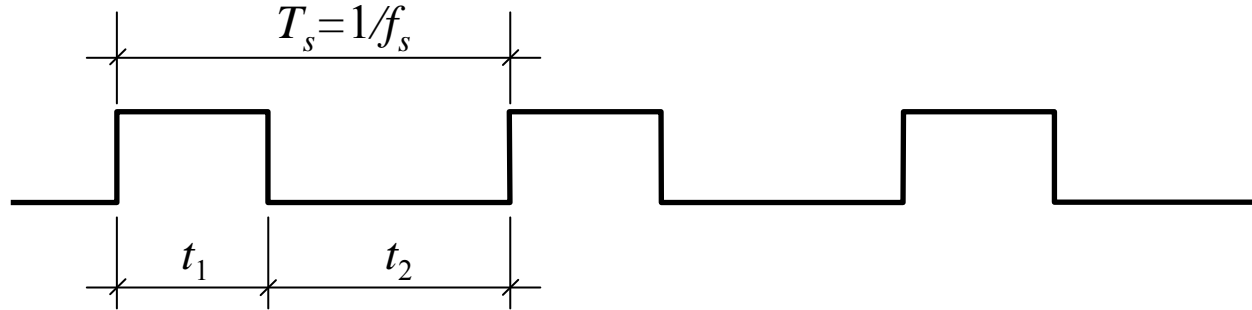
## Notas para las prácticas con el motor de corriente continua y con el servomotor

### Motores de corriente continua:

Los motores de corriente continua (CC) están pensados para que su rotor gire continuamente. Su velocidad de giro se puede controlar de 2 formas distintas:

1ª opción: Aplicando a los terminales de alimentación del motor una tensión continua cuyo valor varíe en función de la velocidad a la que se quiere que gire el rotor del motor. Esta solución no funciona bien con velocidades de giro bajas ( $\equiv$  con tensiones de alimentación pequeñas).

2ª opción: Aplicando a los terminales de alimentación del motor una señal PWM (*pulse width modulated*) como la que se indica en la página siguiente. Cumpliéndose que cuanto mayor es el ciclo de trabajo, mayor es la corriente que circula por el rotor del motor y, por lo tanto, mayor es su velocidad de giro. En la práctica, el uso de una señal PWM proporciona mejores resultados a bajas velocidades de giro que el uso de una señal continua (a altas velocidades de giro ambas soluciones funcionan bien).



$$T_s = t_1 + t_2 \quad \equiv \text{periodo de la señal (es constante)}$$

$$t_1 = DT_s \quad \text{siendo } D \text{ el ciclo de trabajo (duty cycle)} \quad D \in [0,1]$$

$$t_2 = (1 - D)T_s$$

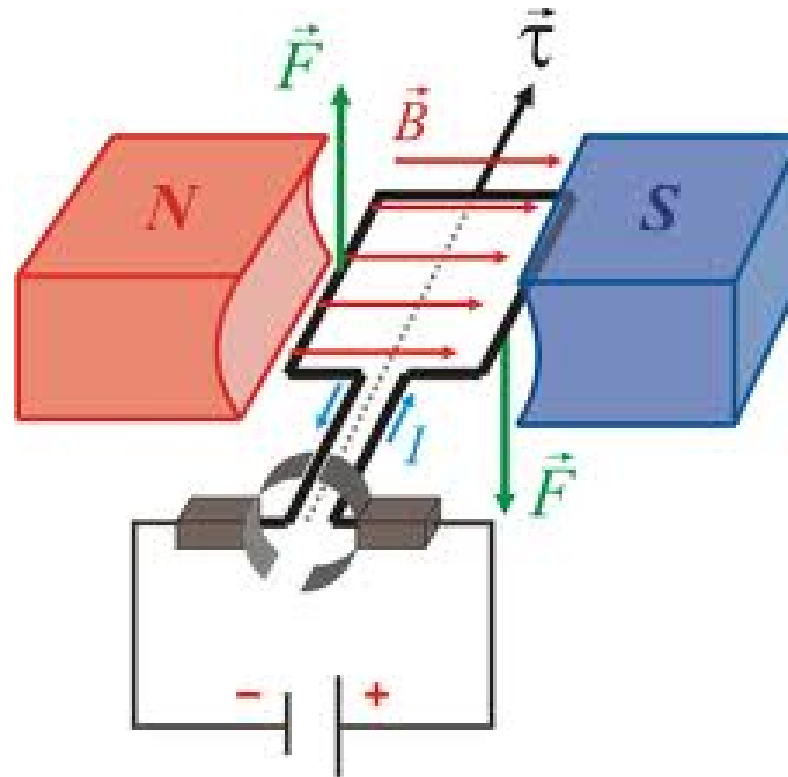
Nota: la relación entre la tensión de alimentación o el ciclo de trabajo y la velocidad de giro no es lineal. Por lo que si se desea tener una regulación razonablemente precisa es necesario implementar un sistema de control en bucle cerrado.

Nota: en este curso se va a utilizar una señal PWM para controlar la velocidad de giro de los motores de corriente continua (control en bucle abierto).

Curiosidad: dado un conductor en el seno de un campo magnético  $B$ , por el que circula una corriente de electrones de intensidad  $I$ , se cumple que sobre el conductor se ejerce una fuerza  $F$  definida por:

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} = ILB\sin\theta$$

siendo  $\vec{L}$  un vector que tiene la misma dirección y sentido que la corriente que circula por el conductor



$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

## Motores de corriente continua



- El PIC18F452 dispone de 2 módulos *CCP*. Cada módulo, configurado para funcionar en *modo PWM*, genera una señal PWM con un ciclo de trabajo *D* que puede tomar 256 valores distintos. En el caso de utilizar ambos módulos en modo PWM, las señales PWM generadas tendrán el mismo periodo/frecuencia.

Se cumple lo siguiente:

\_ La señal PWM generada por el modulo CCP1 está disponible en el terminal RC2, mientras que la señal generada por el módulo CCP2 está disponible en el terminal RC1.

\_ El periodo  $T_s$  de la señales PWM generadas se controla con el *Timer 2*, cumpliéndose que:

$$T_s = 4 \cdot T_{osc} \cdot prescaler_{Timer2} \cdot (PR2 + 1) \quad \Leftrightarrow \quad f_s = \frac{f_{osc}}{4 \cdot prescaler_{Timer2} \cdot (PR2 + 1)}$$

Nota:

\_ los valores que puede tomar el *prescaler* del *Timer 2* son: 1, 4 ó 16

\_ *PR2* es un registro de 8 bits (sólo puede guardar un valor entre 0 y 255)

De la expresión anterior se deduce lo siguiente:

\_ Para un  $f_{osc} = 1/T_{osc}$  dada, el número de valores distintos de  $f_s = 1/T_s$  que se pueden conseguir es igual a  $256 \times 3 = 768$  ( $\Rightarrow$  no se puede generar una señal PWM con cualquier valor de  $f_s$ )

\_ Los valores concretos que puede tomar  $f_s = 1/T_s$  dependen del valor guardado en el registro *PR2*, del valor del *prescaler* del *Timer 2* y del valor de  $f_{osc} = 1/T_{osc}$

\_ Para que la señal PWM generada tenga una frecuencia  $f_s$  dada, en el registro *PR2* hay que guardar el siguiente valor:

$$PR2 = \frac{T_s}{4 \cdot T_{osc} \cdot prescaler_{Timer2}} - 1 = \frac{f_{osc}}{4 \cdot f_s \cdot prescaler_{Timer2}} - 1 \in [0, 255]$$

- El valor correspondiente a  $t_1 = DT_s$  (10 bits) se guarda en los registros:

\_módulo CCP1: CCPR1L<7:0> y CCP1CON <5:4>

\_módulo CCP2: CCPR2L<7:0> y CCP2CON <5:4>

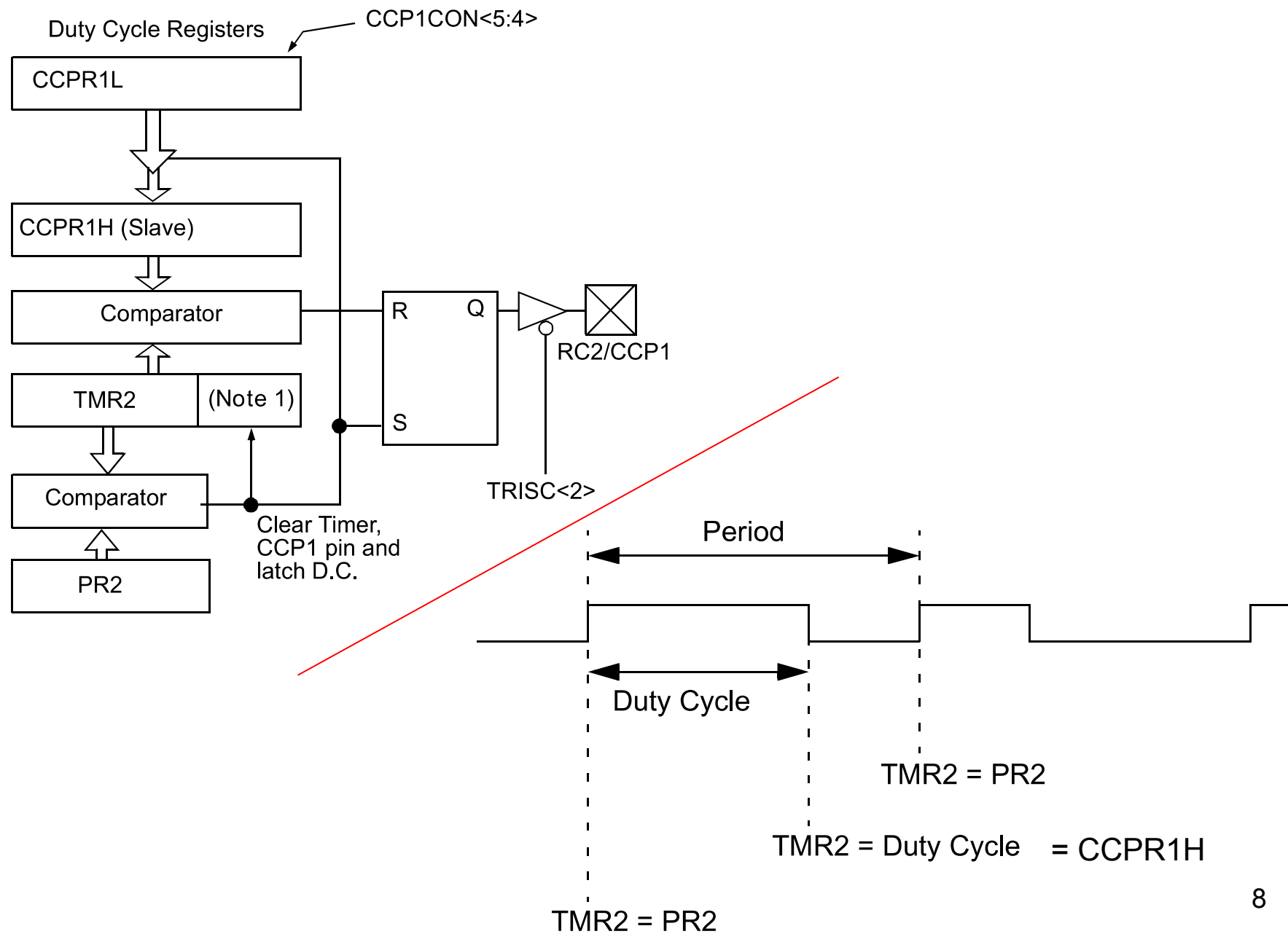
En los registros CCPR1L<7:0>/CCPR2L<7:0> se guardan los 8 bits más significativos, mientras que en los bits CCP1CON<5:4>/CCP2CON<5:4> se guardan los 2 bits menos significativos, cumpliéndose que:

$$t_1 = DT_s = [CCPRxL<7:0>, CCPxCON<5:4>] \cdot T_{osc} \cdot prescaler_{Timer2}$$

de donde se deduce que:

$$\begin{aligned} [CCPRxL<7:0>, CCPxCON<5:4>] &= \frac{DT_s}{T_{osc} \cdot prescaler_{Timer2}} = \frac{D \cdot f_{osc}}{f_s \cdot prescaler_{Timer2}} = \\ &= 4 \cdot D \cdot (PR2 + 1) \end{aligned}$$

Nota: si el valor de  $t_1 = DT_s$  es mayor que el periodo  $T_s$  entonces la señal generada estará siempre a nivel alto. Por lo que debe cumplirse que:  $[CCPRxL<7:0>, CCPxCON<5:4>] < 4 \cdot (PR2 + 1)$





- Los pasos a dar para configurar un módulo CCP en modo PWM son:

1º: Guardar en el registro PR2 el valor correspondiente al periodo de conmutación  $T_s$

2º: Guardar en los registros CCPRxL<7:0> y CCPxCON<5:4> el valor de  $DT_s$  correspondiente al siguiente periodo de conmutación.

3º: Configurar el terminal RC2 (CCP1) o el terminal RC1 (CCP2) como salida

4º: Configurar el *prescaler* del Timer 2 y habilitar el Timer 2 escribiendo los valores adecuados en el registro T2CON

5º: Configurar el módulo CCPx en modo PWM (CCPxCON)

**Nota:** de los datos indicados en las diapositivas anteriores debería resultar evidente que no es posible generar una señal PWM de cualquier frecuencia/periodo, ni de cualquier ciclo de trabajo.

*Ejemplo:* Se desea generar una señal *PWM* con una frecuencia de 2kHz y un ciclo de trabajo  $D = 0.4$ , siendo la frecuencia de reloj del microcontrolador de 8MHz

$$PR2 = \frac{8 \cdot 10^6}{4 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 4} - 1 = 249 \quad (<256)$$

$$\begin{aligned} [CCPRxL<7:0>, CCPxCON<5:4>] &= \frac{D \cdot f_{osc}}{f_s \cdot prescaler_{Timer2}} = \frac{0.4 \cdot 8 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^3 \cdot 4} = 400 \\ &= 4 \cdot D \cdot (PR2 + 1) = 400 \end{aligned}$$

*Funciones de librería de MikroC:*

1º: PWM1\_Init(3000); //se indica que  $f_s = 3000\text{Hz}$  (hay que comprobar que es posible  
//generar dicha frecuencia)

2º: PWM1\_Set\_Duty(192); //se indica que el ciclo de trabajo vale  $D = 192/255 \in [0, 1]$

3º: PWM1\_Start(); //se pone en funcionamiento el módulo CCP1, modo PWM

4º: PWM1\_Stop(); //se apaga el módulo CCP1 (deja de generarse la señal PWM)

## Servomotores:

- Un servomotor está formado por:

- un motor de corriente continua

- un tren de engranajes que a partir de la velocidad de giro del eje del motor genera una velocidad de giro inferior (a la vez que un par mayor)

- un sensor de la posición angular del eje de giro (suele ser un potenciómetro)

- un sistema de control que compara la *señal de referencia* ( $\equiv$  indica la posición angular deseada del eje de giro) con la *posición real* medida con el potenciómetro. La diferencia entre la posición deseada y la real es amplificada y utilizada para mover el eje del motor en el sentido adecuado con el fin de que la posición del eje de giro coincida con la posición indicada por la señal de referencia.



- En general, el eje de giro de los servomotores puede girar  $180^\circ$ . Aunque se puede modificar el sistema de sensado y el mecanismo interno para que gire  $360^\circ$  o incluso para que pueda girar continuamente.

- La posición del eje de giro se controla aplicando una señal PWM de frecuencia constante, comprendida típicamente entre 50Hz y 200Hz (según el servomotor de que se trate). De modo que, por ejemplo:

- \_ con  $DT_s \cong 0.9 \text{ mseg}$  el eje de giro está en la posición de  $-90^\circ$  (ver siguiente diapositiva)

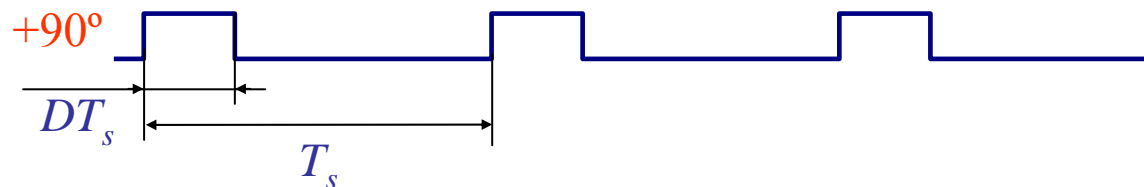
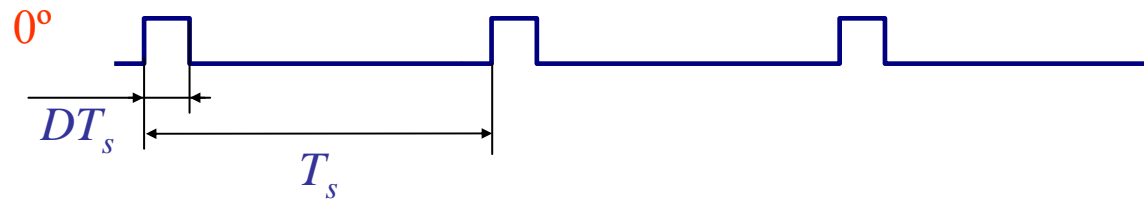
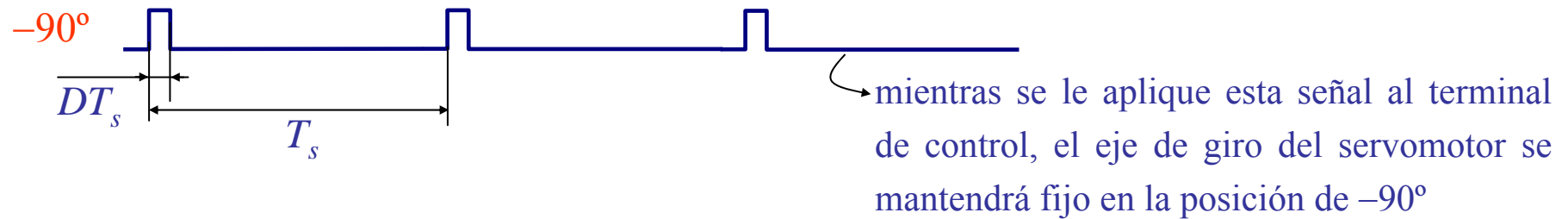
- \_ con  $DT_s \cong 1.5 \text{ mseg}$  el eje de giro está en la posición de  $0^\circ$

- \_ con  $DT_s \cong 2.1 \text{ mseg}$  el eje de giro está en la posición de  $+90^\circ$

- \_ las posiciones intermedias entre  $-90^\circ$  y  $+90^\circ$  se consiguen aplicando una señal PWM con un tiempo  $DT_s$  comprendido entre los valores correspondientes a las posiciones extremas del eje de giro (entre 0.9 y 2.1 *mseg.* en el ejemplo anterior)

**Nota:** los valores de los tiempos  $DT_s$  correspondientes a las posiciones extremas del eje de giro (entre  $-90^\circ$  y  $+90^\circ$ ) varían según el servomotor que se considere. Por lo que conviene consultar las hojas de datos del servomotor antes de ponerlo a funcionar.

Los servomotores tienen 3 terminales: dos son de alimentación y el tercero es el terminal de control al que se le aplica una señal PWM con la que se establece la posición del eje de giro. A continuación se pueden ver ejemplos de varias señales de control.



Nota: si se deja de aplicar una señal PWM a la entrada de control del servomotor, su eje de giro girará libremente sin oponer resistencia alguna al giro.

Nota: la tensión de alimentación típica de un servomotor suele estar comprendida entre 4.5 y 6v