Temporizadores I

Ángel Grover Pérez Muñoz
Manuel Nieto

Informática Industrial

30 de diciembre de 2023

datsi

ETSIInf – Informática Industrial – T6. Temporizadores

Contenido original del Prof. Juan Zamorano

Índice

- Temporizadores/contadores hardware
  - Relojes
  - Alarmas
  - Watchdog timers
  - Pulse Width Modulation (PWM)
- Temporizadores en el ATmega32U4
- Programación de temporizadores para el ATmega32U4
- Casos de uso: Control de motores y servomotores
- Control automático: Filtros Proporcional Integral Derivativo (PID)

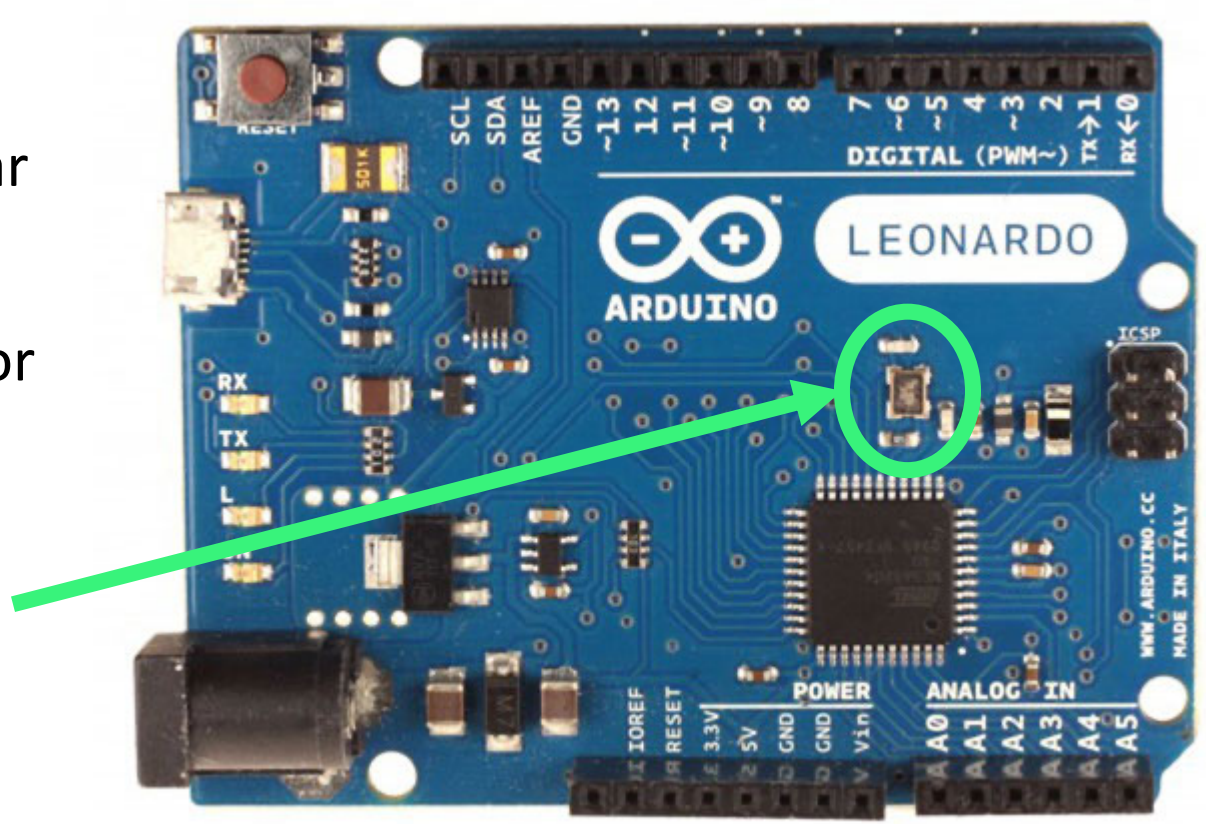
Temporizadores y contadores hardware

Componentes del Microcontrolador

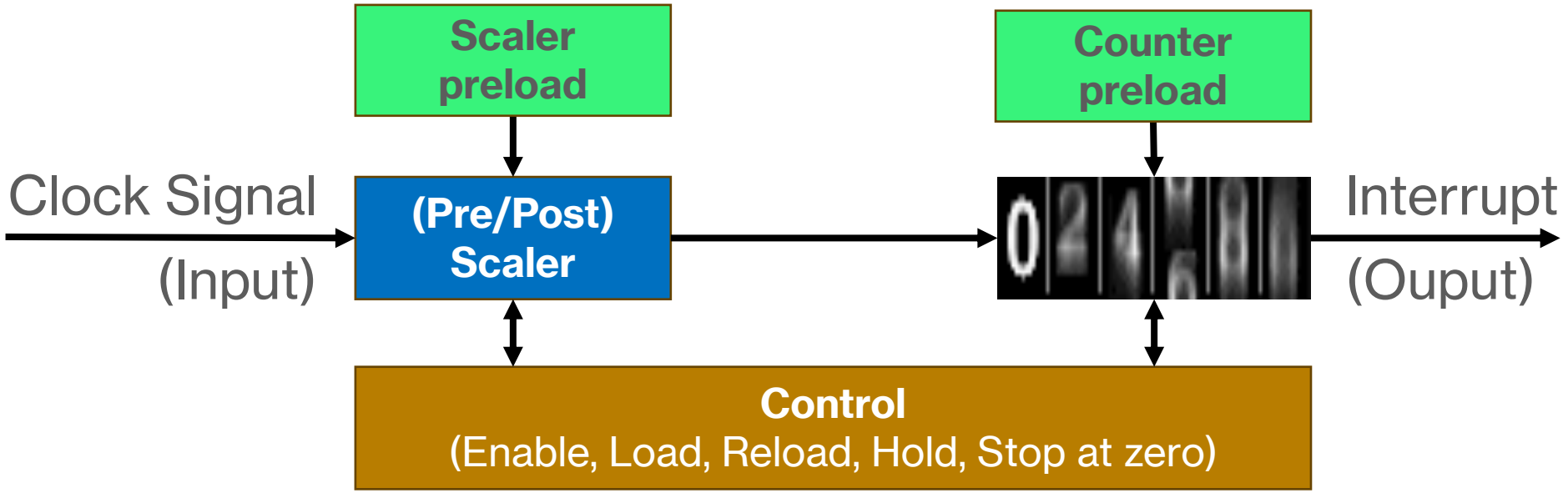
- Los microcontroladores son computadores “completos”, incluyen CPU, memoria, puertos de entrada salida, **osciladores** y **temporizadores**, entre otros “periféricos” en un único circuito integrado.
- ¡Si los componentes periféricos y memoria están ausentes, estamos ante un microprocesador!

Generador de señal de reloj

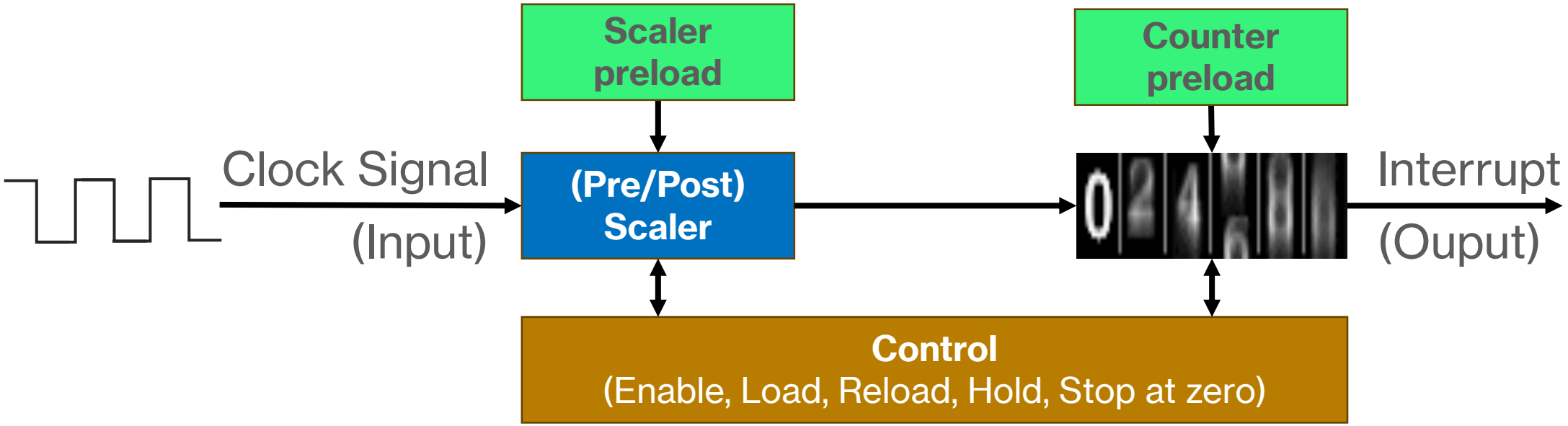
- El µControlador necesita una señal de reloj para su funcionamiento.
- Existen diversas alternativas, la más popular son los “**cristales de Quarzo**”.
- Arduino LEONARDO cuenta con un oscilador de cristal de **16 MHz** montado en la superficie (SMD).



Contador/Temporizador Hardware

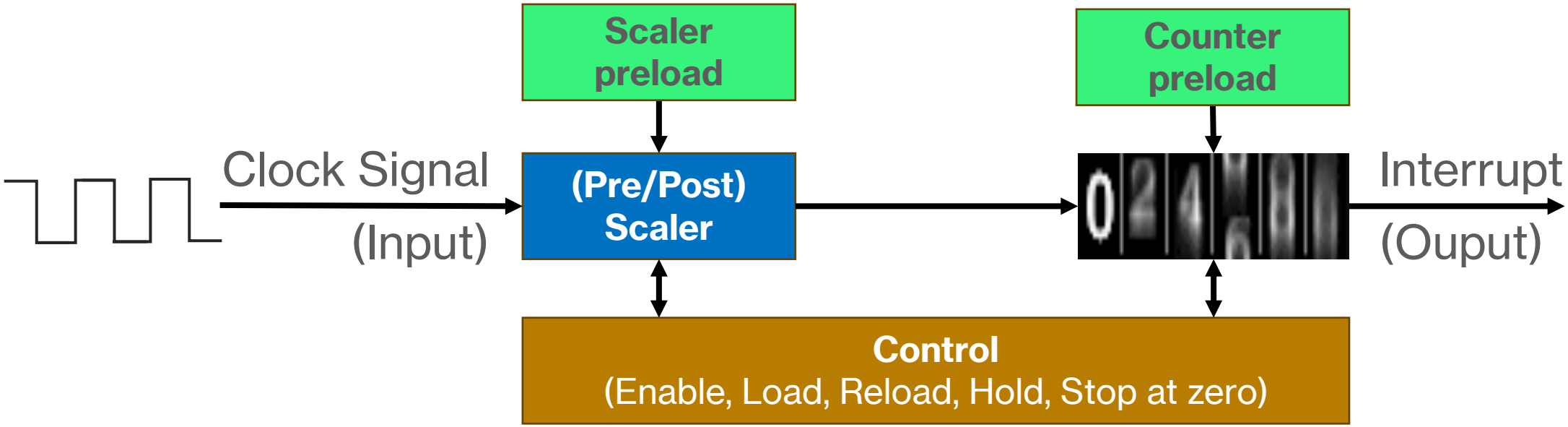


Contador/Temporizador Hardware



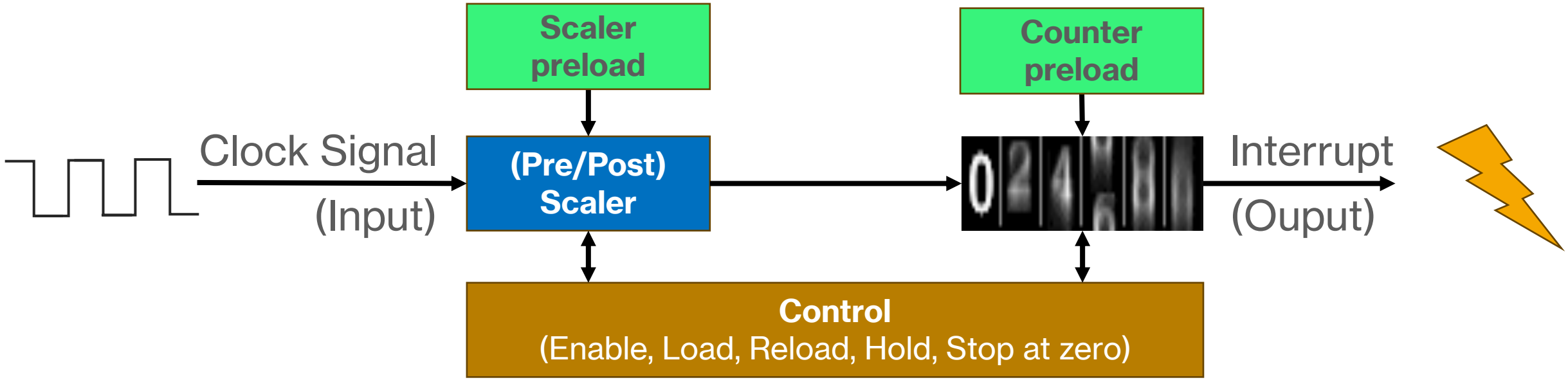
- Un temporizador hardware es un dispositivo que recibe una señal de reloj como entrada.
- Equipado con un contador, que cuenta los pulsos (o flancos) que llegan por su entrada.

Contador/Temporizador Hardware



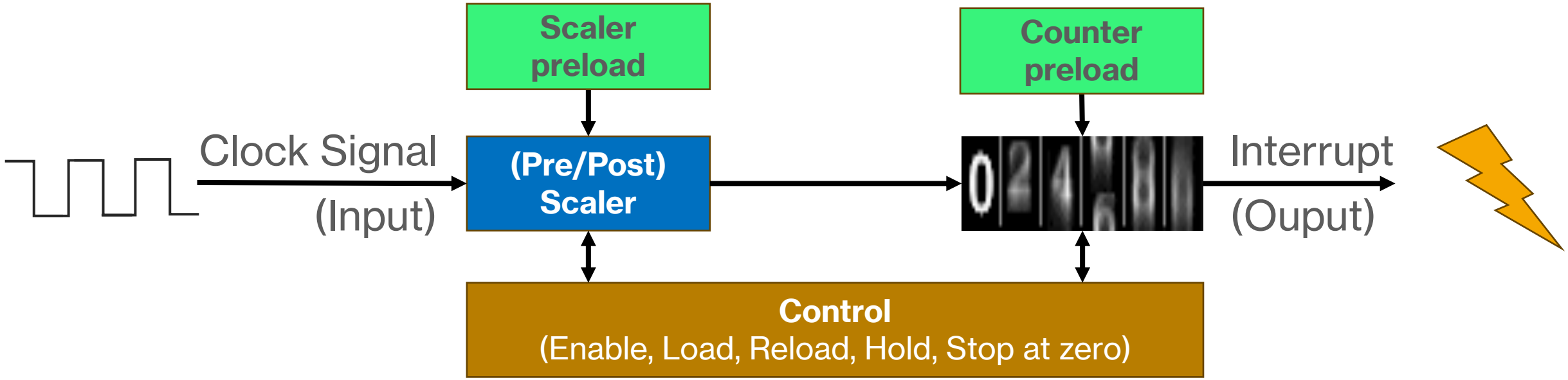
- Incluye un escalador (scaler) que permite decrementar la frecuencia del oscilador dividiéndola por un número entero configurable.
  - Es decir, el scaler actúa como un divisor de frecuencia.
  - Permite al programador elegir una variedad de frecuencias sin modificar el hardware.

Contador/Temporizador Hardware



- La señal de reloj resultante del escalador decrementa en cada pulso (o flanco) un registro de cuenta-atrás. Cuando este registro llega a 0, se genera una interrupción.
- Permitiendo así, que el programador sea notificado de dicho suceso.

Contador/Temporizador Hardware

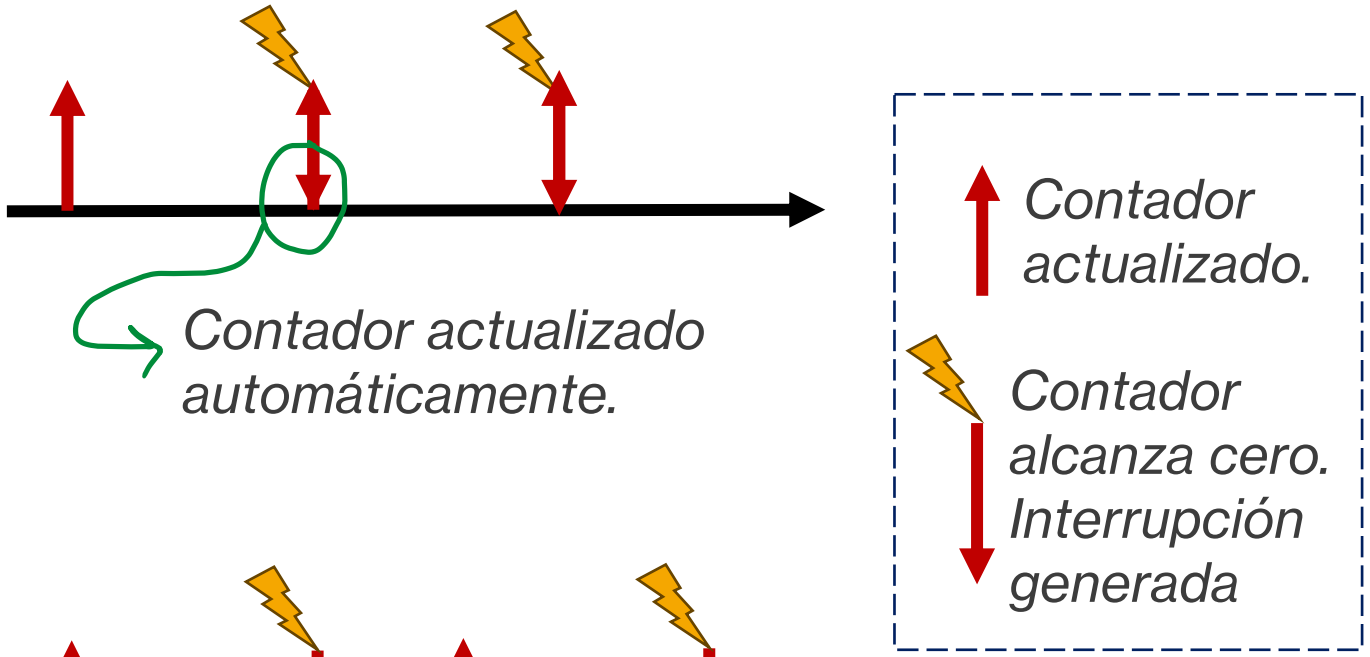


- El divisor entero del escalador, la cuenta atrás, etc. son registros configurables y mapeados en memoria principal.
  - El programador puede escribir y leer estos registros. Por ejemplo, para disminuir la frecuencia (escritura) o leer el valor de un contador (lectura).

Contador/Temporizador Hardware

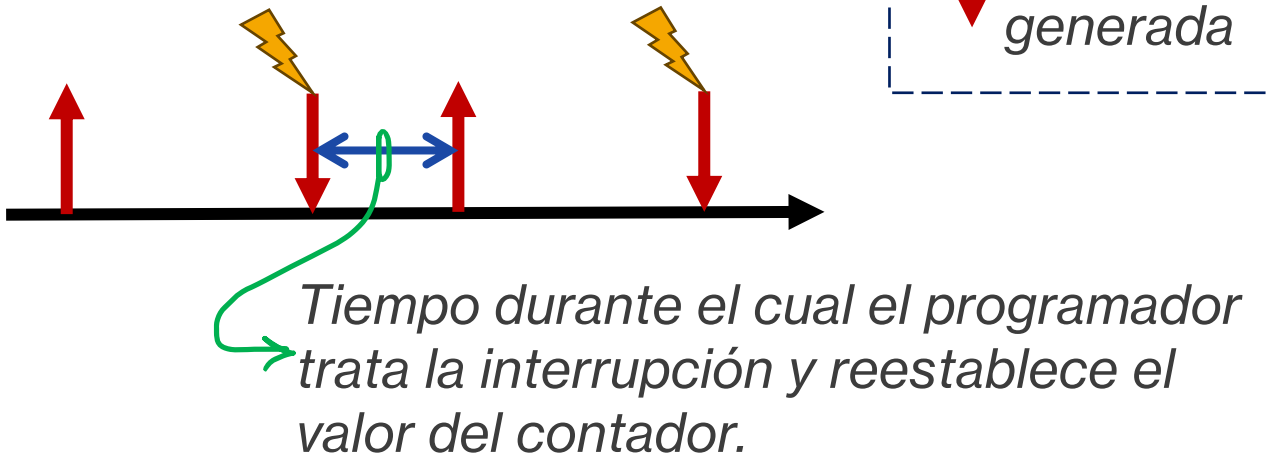
1. Modo Contador Periódico:

Cuando el contador alcanza el cero, vuelve a tomar el valor inicial del contador (counter-preload) automáticamente.

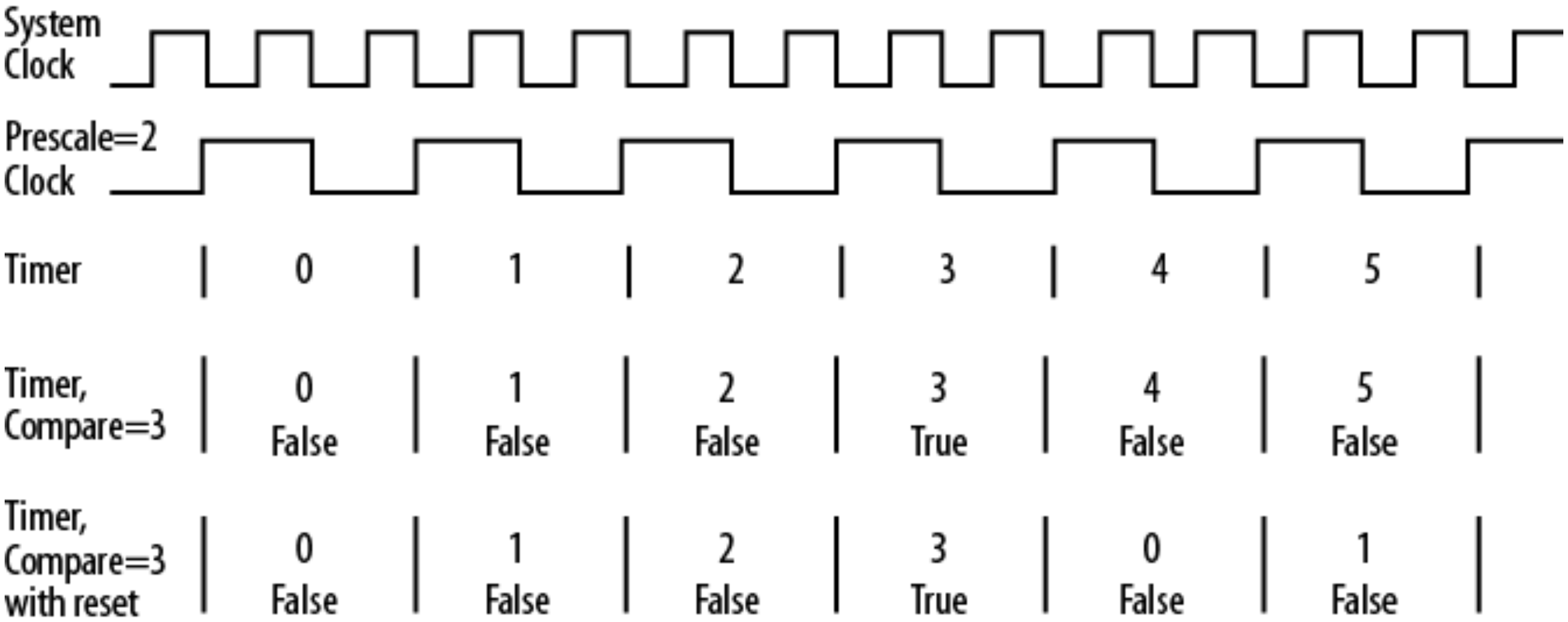


2. Modo Contador de Intervalos:

Cuando contador alcanza el cero, no actualiza su valor, permaneciendo con el valor cero.



Contador/Temporizador Hardware



Usos del temporizador/contador hardware

Dependiendo de estos modos de operación, y su conexionado al computador se pueden implementar:

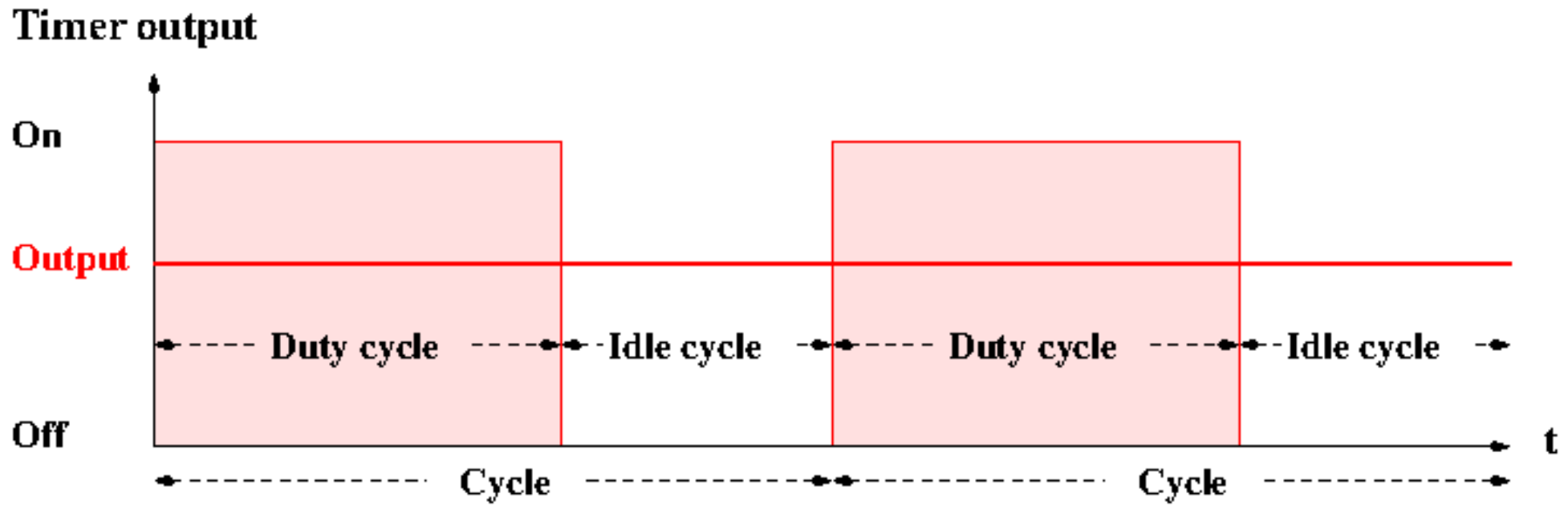
- Temporizadores “watchdog”. Configurado en modo “intervalos” y la interrupción se conecta a la línea de reset.
- Temporizadores periódicos. Configurado en modo “periódico” y la interrupción se conecta a una línea de petición de interrupción.
- Temporizadores “single-shot”. Configurado en modo “intervalo” y la interrupción se conecta a una línea de petición de interrupción. P. Ej: función delay(int ms).
- Generación de señales analógicas. Configurado en modo “periódico” y la interrupción se conecta a un dispositivo analógico. P. Ej: PWM.

Temporizadores Watchdog

- La salida del teporizador está conectada a una línea de reset del procesador.
- El programador debe “resetear” el contador vía software de forma periódica antes de que se genera la interrupción, evitando así el reinicio del procesador.
- Si el software se queda “colgado” no resetea el contador y el procesador se reinicia.
- Se usa en sistemas con poca accesibilidad, es decir, en casi todos los sistemas empotrados.
- ATmega32U4 incluye un temporizador watchdog y Arduino Leonardo cuenta con una línea de RESET.

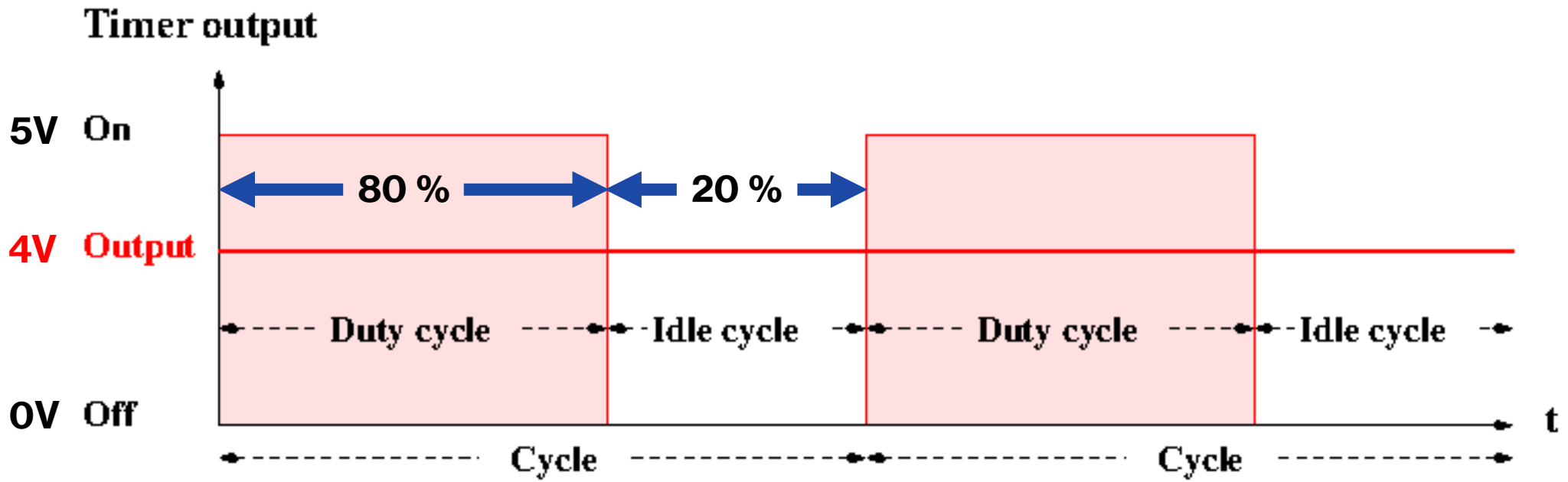
Modulación por ancho de impulso (PWM)

- Permite generar salidas analógicas cambiando (modulando) el ancho de una onda cuadrada.
- La proporción de tiempo en que la onda está a nivel alto se conoce como **Duty Cycle**. Por contra, el **Idle Cycle** es la proporción de tiempo en que está a nivel bajo**.**



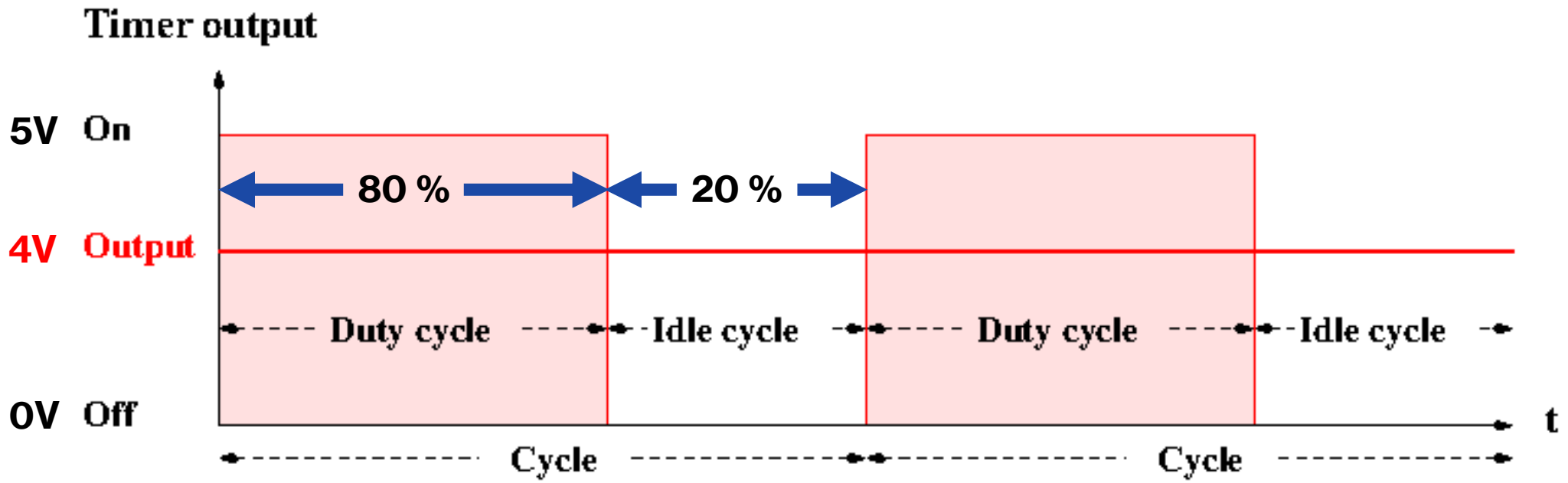
Modulación por ancho de impulso (PWM)

- Por ejemplo, en un sistema cuya salida a nivel alto es de 5 V y tiene programada un PWM con un Duty Cycle al 80%, tendrá una salida promedio de **4 V** = 5 V * 0.8.



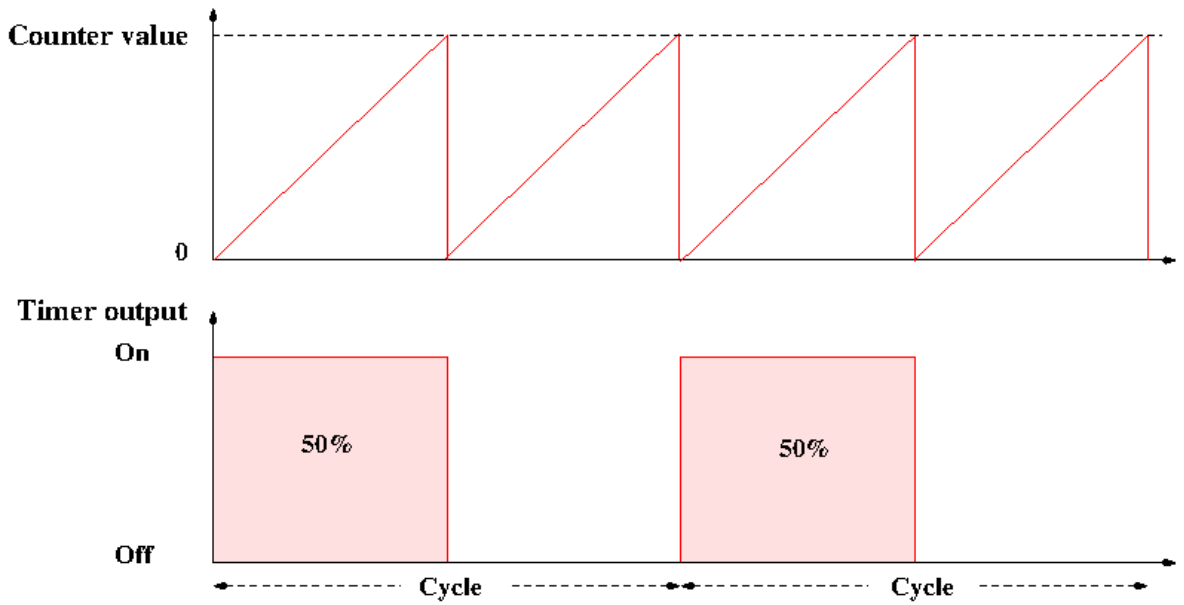
Modulación por ancho de impulso (PWM)

- Por ejemplo, en un sistema cuya salida a nivel alto es de 5 V y tiene programada un PWM con un Duty Cycle al 80%, tendrá una salida promedio de **4 V** = 5 V * 0.8.
  - ***NOTA**: Este valor medio (4 V) es independiente de la frecuencia del pulso. Sin embargo, la frecuencia debe configurarse de acuerdo a la carga que controle.*



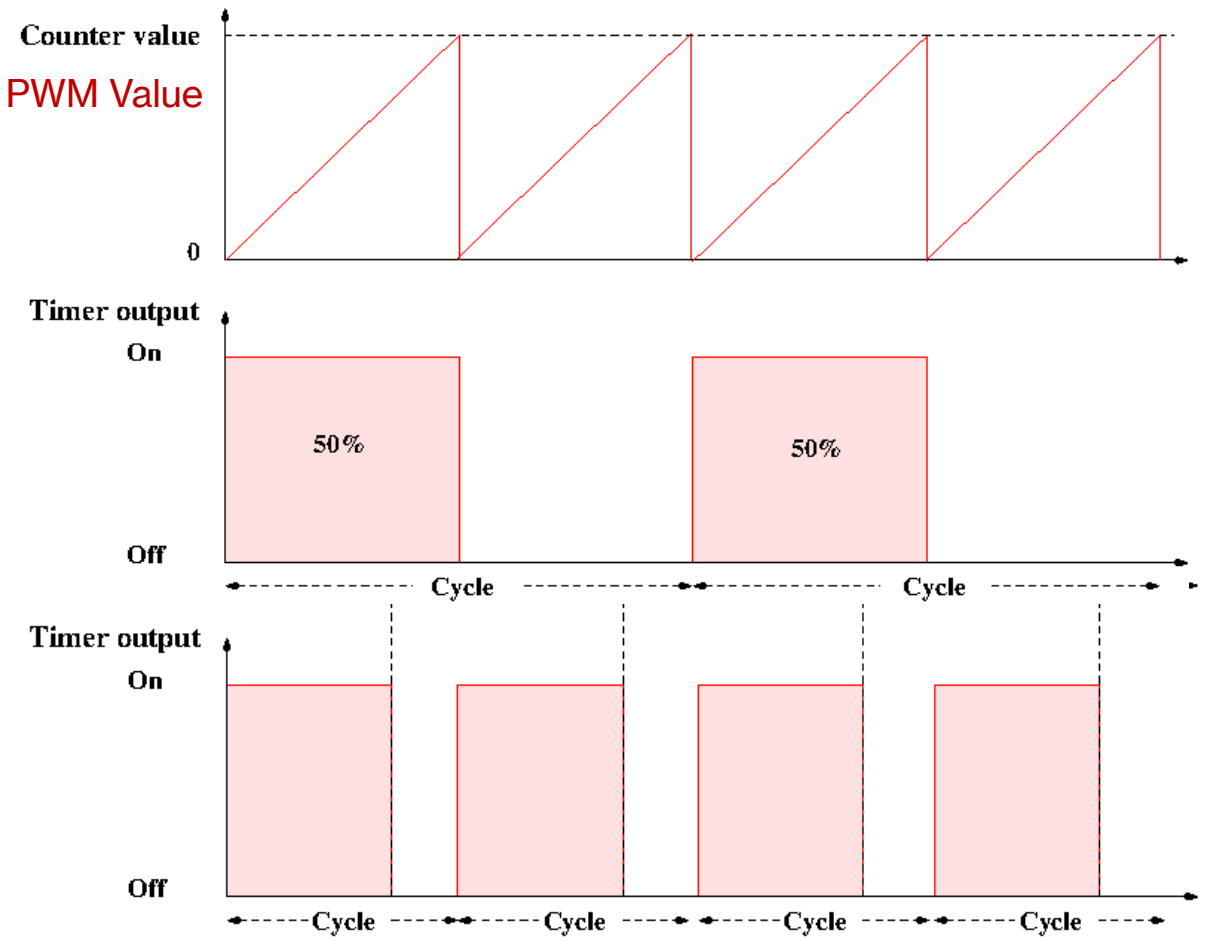
Temporizadores PWM

- Los temporizadores básicos reciben a su entrada pulsos con un duty-cycle del 50%.
  - En cada IRQ, se invierte el valor de la salida (de ON a OFF y viceversa).
  - **PROBLEMA**: El programador está limitado a un PWM del 50%.
- La PWM requiere que el ancho de los pulsos sea variable.



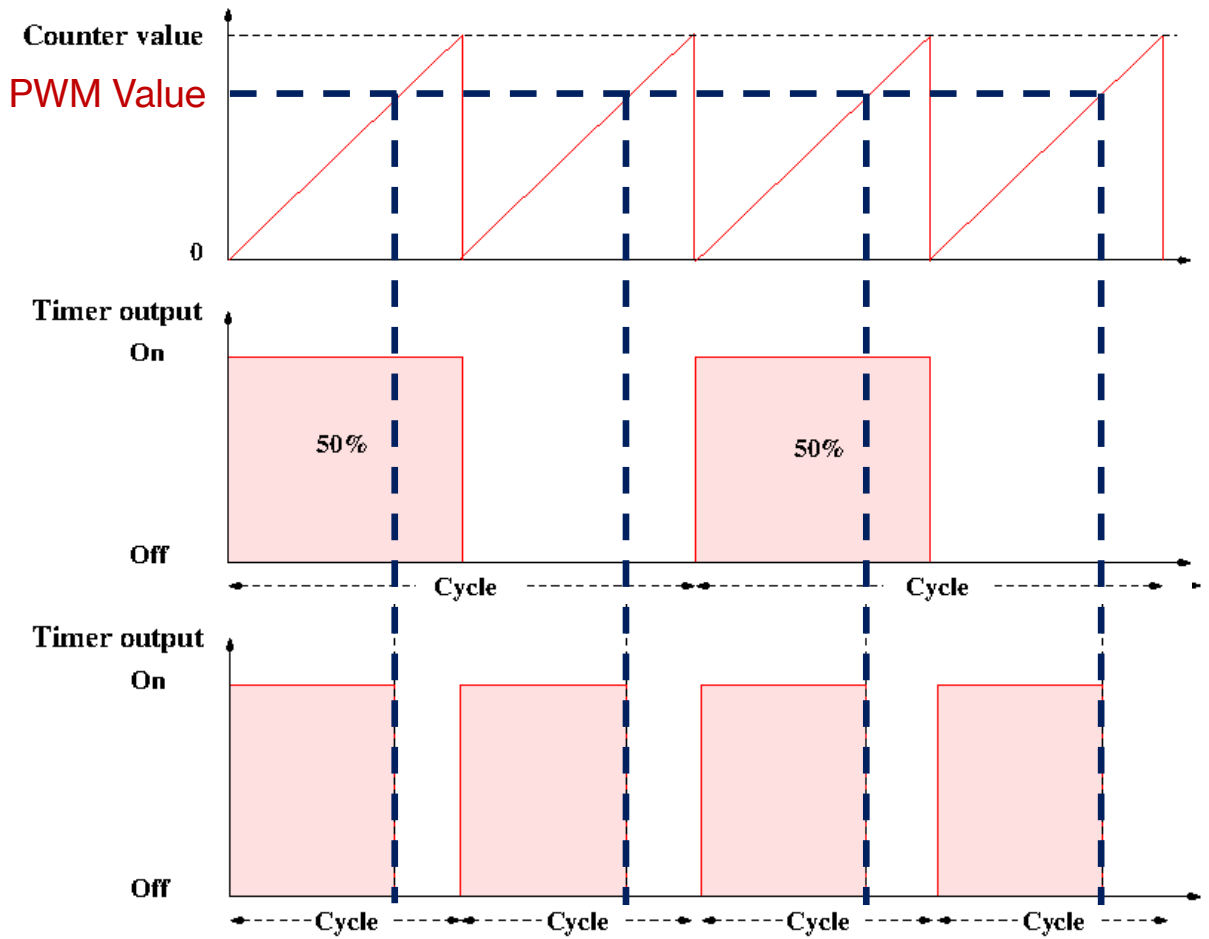
Temporizadores PWM

- Los “PWM Timers” incluyen registros adicionales que permiten configurar el duty cycle del PWM.



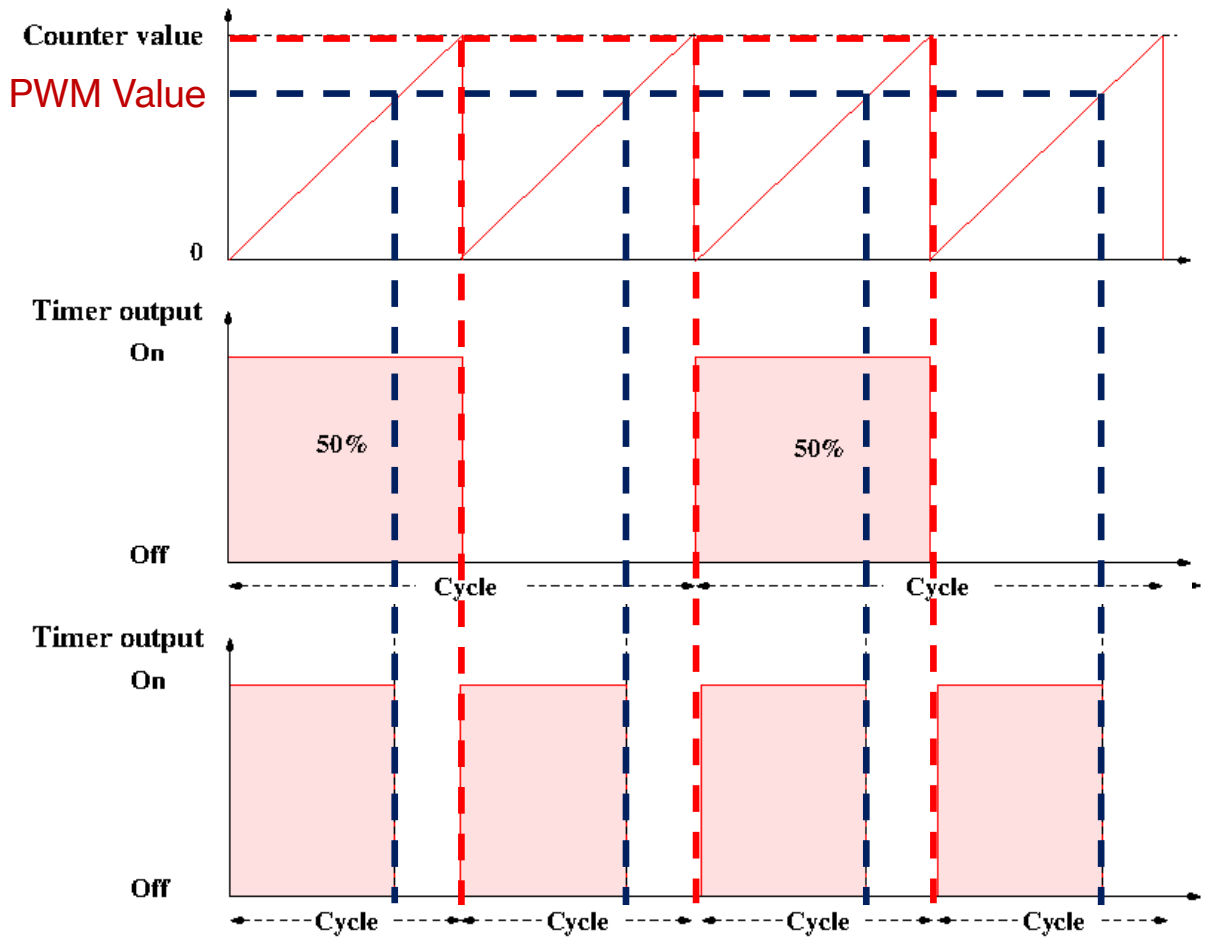
Temporizadores PWM

- Los “PWM Timers” incluyen registros adicionales que permiten configurar el duty cycle del PWM.
- Cuando el contador alcanza el valor del PWM, la salida se invierte.



Temporizadores PWM

- Los “PWM Timers” incluyen registros adicionales que permiten configurar el duty cycle del PWM.
- Cuando el contador alcanza el valor del PWM, la salida se invierte.
- Cuando el contador alcanza su valor máximo, la salida se vuelve a invertir



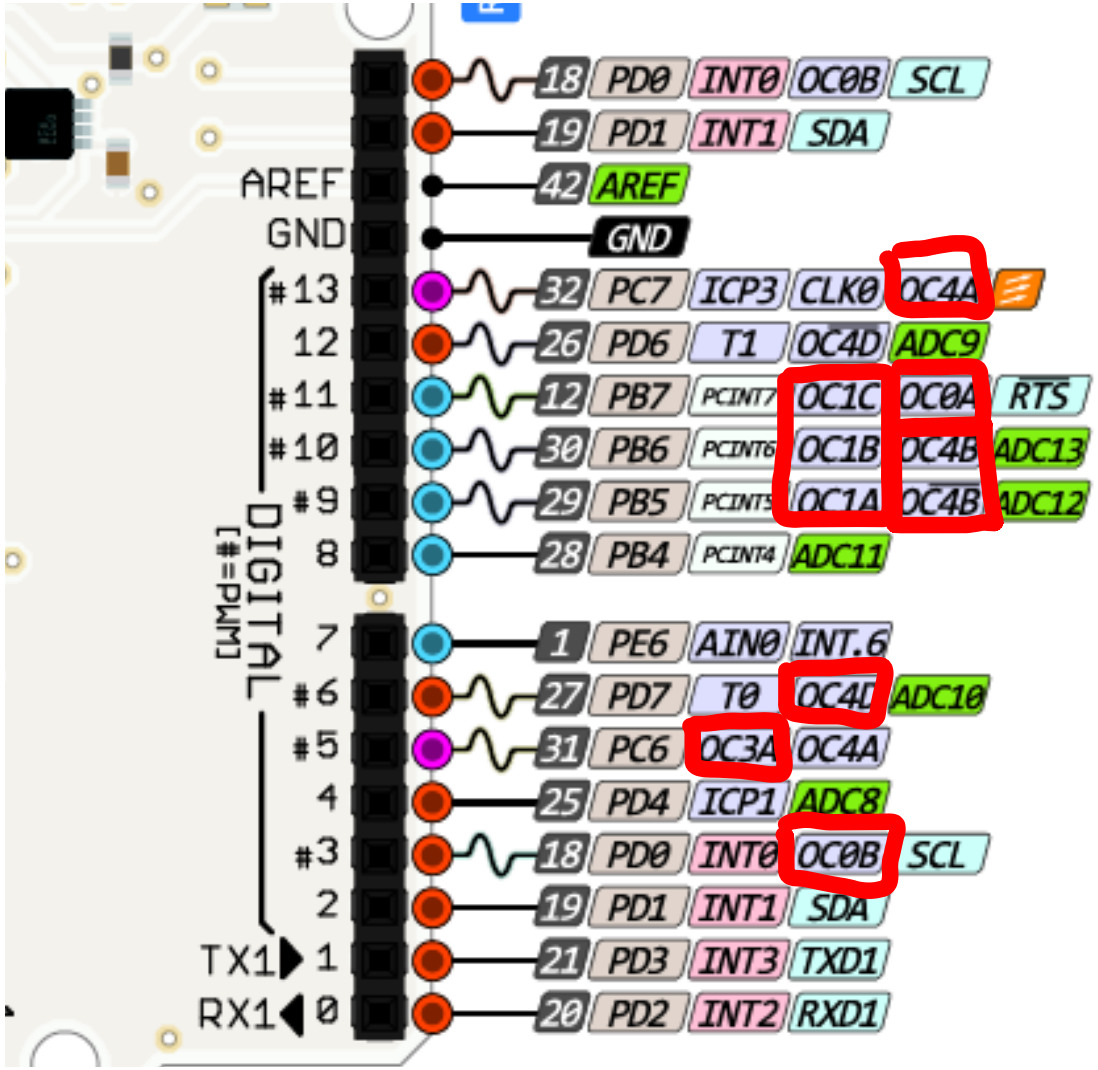
Programación en ATmega32U4

Temporizadores/Contadores en el ATmega32U4

- El µControlador ATmega32U4 cuenta con cuatro temporizadores:
  - **T0**: Timer/Counter0 (8-bit, PWM, fast PWM, compare mode)
  - **T1**: Timer/Counter1 (16-bit, PWM, fast PWM, compare & capture mode)
  - **T3**: Timer/Counter3 (16-bit, PWM, fast PWM, compare & capture mode)
  - **T4**: Timer/Counter4 (8/10-bit, PWM, fast PWM, compare mode, High-Speed)
- Los T0, T1 y T3 pueden ser configurados con distintos valores de prescaler (divisores de frecuencia).
  - Reciben reloj CLK_I/O (16 MHz) con un factor de scaler de /8, /64, /256, y /1024.
- El T4 (High-Speed Timer) alcanza un máximo de 64 MHz @ 5V.
  - Recibe el reloj PLL (96 MHz) con un factor de scaler de /1, /1.5 y /2.

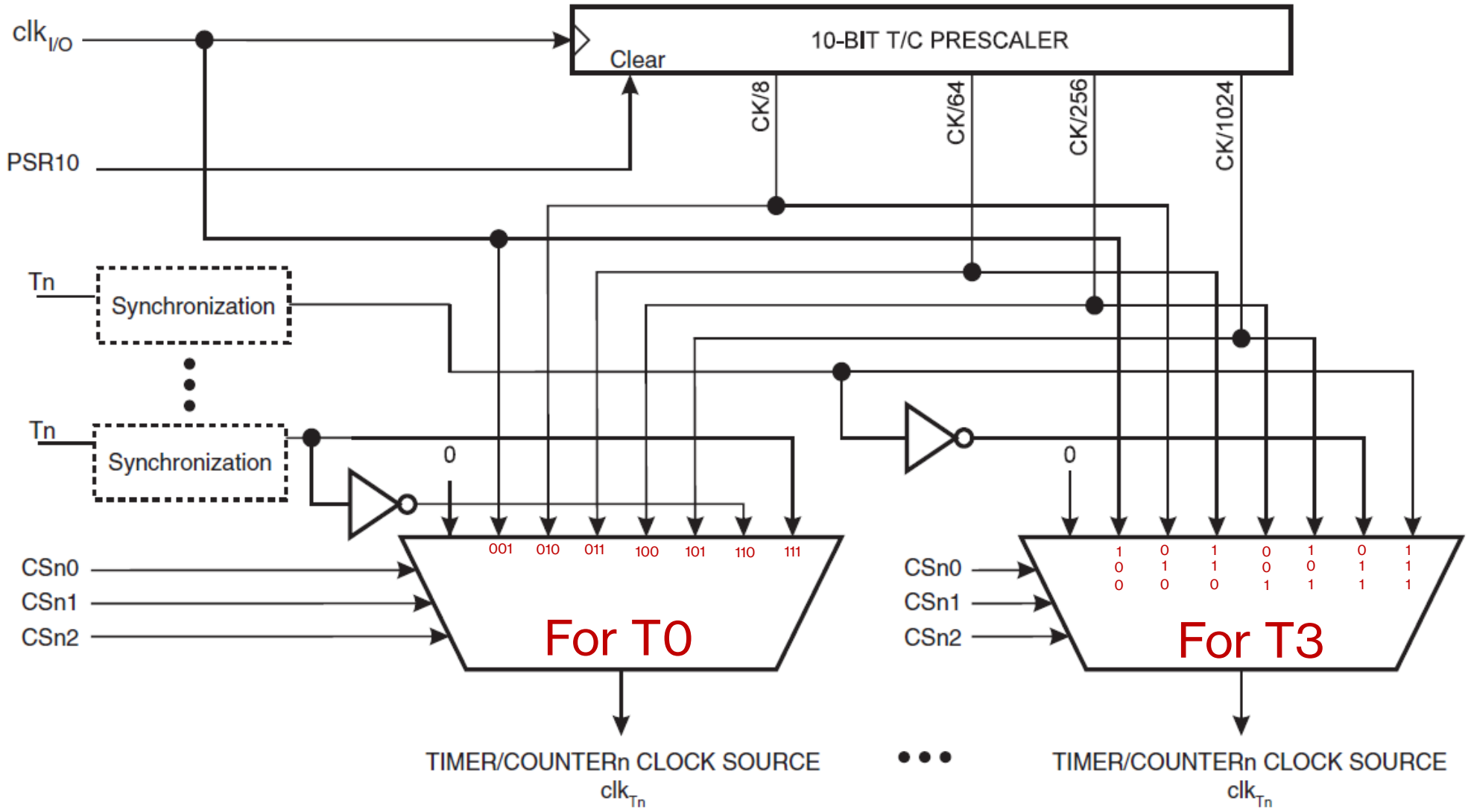
Timer/Counter Pins

- T0
  - OC0A: D11
  - OC0B: D3
- T1
  - OC1A: D9
  - OC1B: D10
  - OC1C: D11
- T3
  - OC3A: D5
- T4
  - OC4A: D13
  - OC4B: D10
  - OC4B: D9
  - OC4D: D6



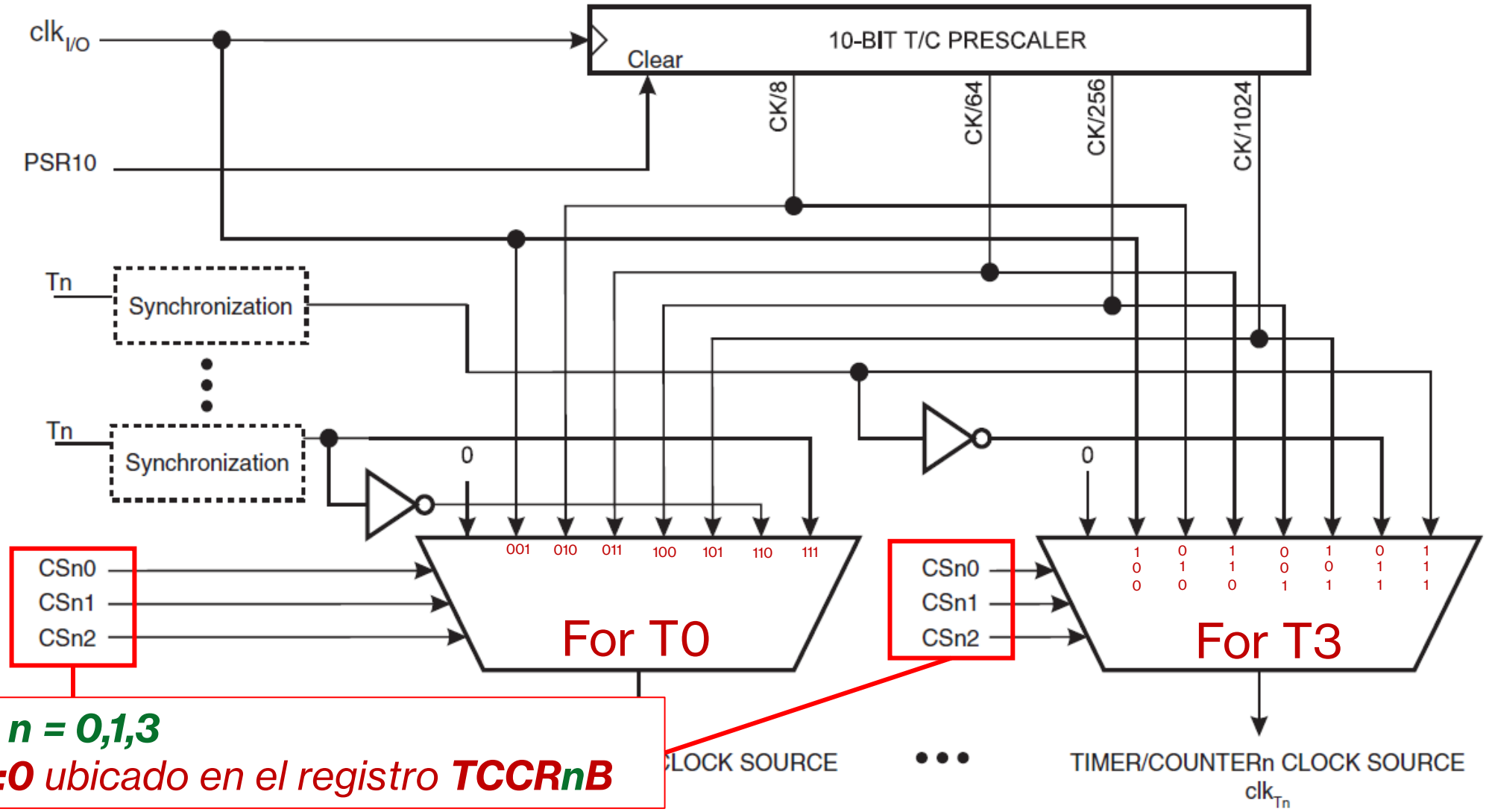
Timer/Counter T0, T1 y T3

Figure 12-2. Prescaler for synchronous Timer/Counters



Timer/Counter T0, T1 y T3

Figure 12-2. Prescaler for synchronous Timer/Counters



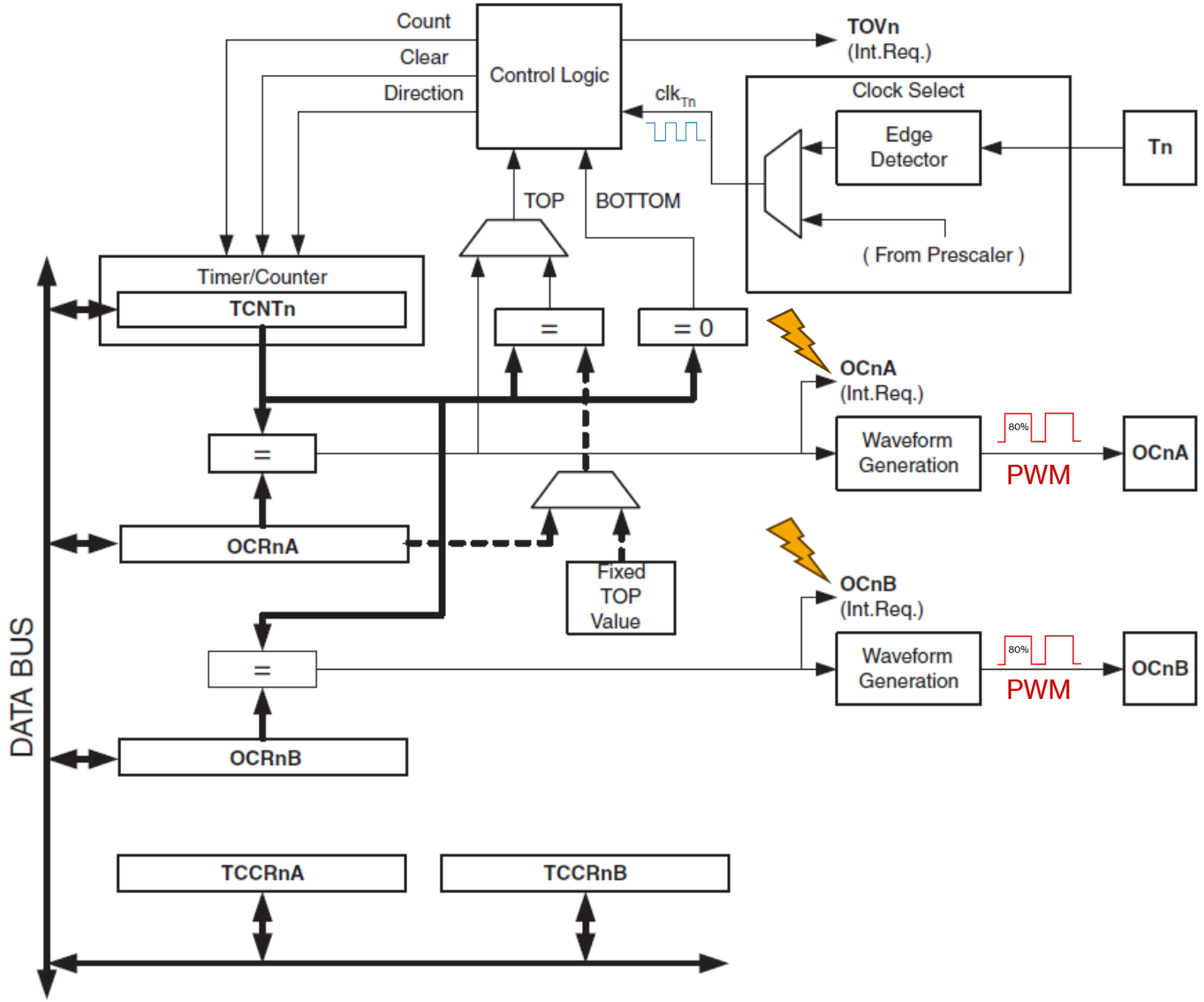
*Timer **n = 0,1,3***
CSn2:0** ubicado en el registro **TCCRnB

Timer/Counter T0

Registros (n = 0):

- **TCNT0**:
  Contiene el valor del contador.
- **OCR0A** y **OCR0B**:
  "Output compare registers"
- **TCCR0A** y **TCCR0B**:
  "Timer/Counter control registers".
- **TIMSK0**:
  "Timer/Counter Interrupt Mask Register"
- **TIFR0**:
  "Timer/Counter Interrupt Flag Register"

Figure 13-1. 8-bit Timer/Counter Block Diagram



Timer/Counter T0

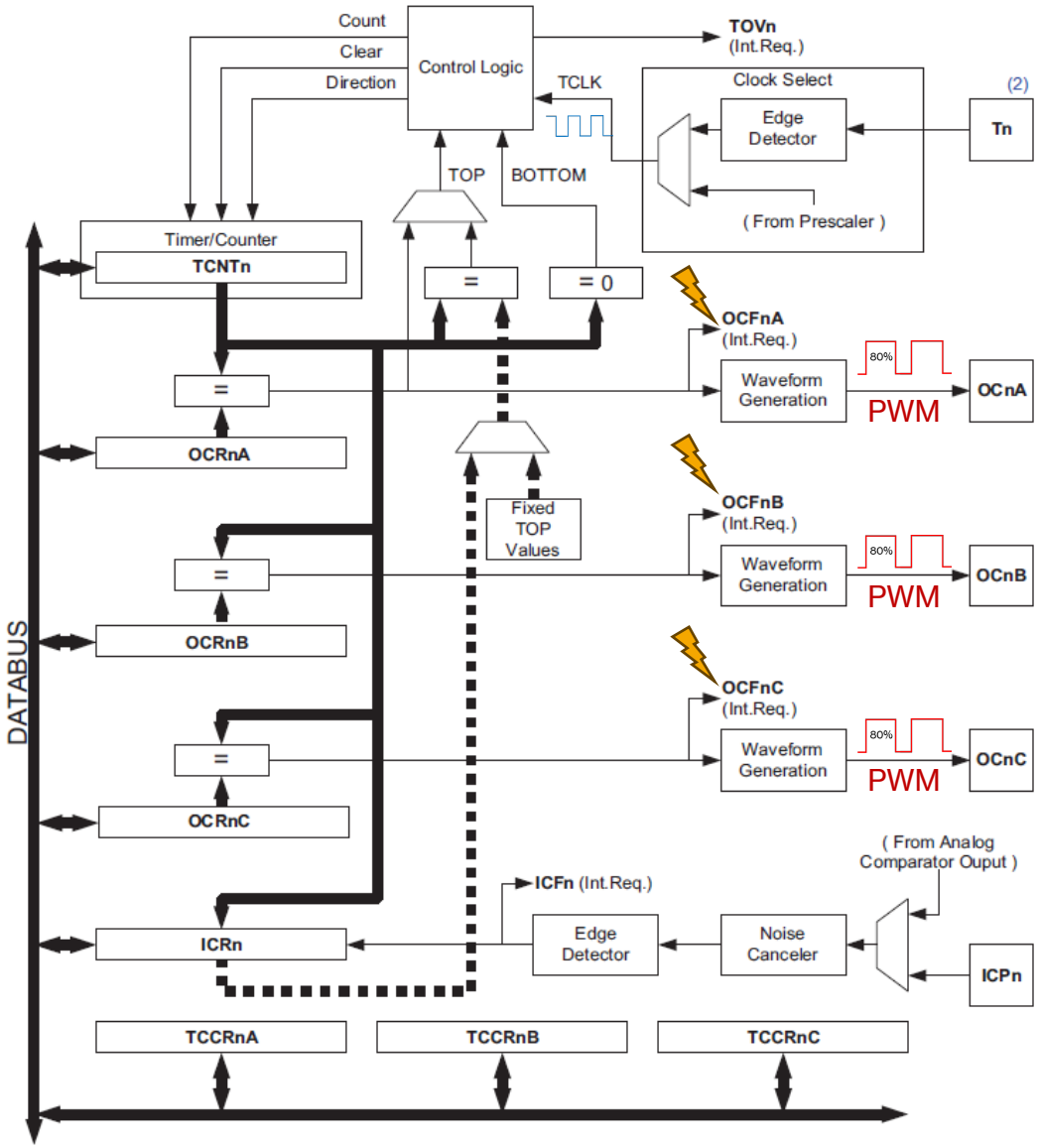
- Modos de operación:
  - **Normal mode**: El contador tiene como valor de comparador el máximo valor: 0xFF. Véase la entrada “Fixed TOP Value” al multiplexor.
  - **Clear Timer on Compare Match Mode**: El contador es periódico y admite “cualquier” frecuencia.
  - **Fast PWM mode**: El contador PWM incrementa y baja a 0 de inmediato.
  - **Phase Correct PWM Mode**: El PWM incrementa y decrementa para bajar a 0.
- Modos configurables mediante los bits
  - WGM0[2:0], repartidos en los registros TCCR0A y TCCR0B.
  - COM0A[1:0] para el contador A. Ubicado en el registro TCCR0A.
  - COM0B[1:0] para el contador B. Ubicado en el registro TCCR0A.

Timer/Counter T1 y T3

Registros (n = 1, 3):

- **TCNTn[H:L]**:
  Contiene el valor del contador.
- **OCRnA[H:L]**, **OCRnB[H:L]** y **OCRnC[H:L]**:
  "Output compare registers"
- **ICRn[H:L]**:
  "Input Capture unit Register".
- **TCCRnA**, **TCCRnB** y **TCCRnC**:
  "Timer/Counter control registers".
- **TIMSK0**:
  "Timer/Counter Interrupt Mask Register"
- **TIFR0**:
  "Timer/Counter Interrupt Flag Register"

Figure 14-1. 16-bit Timer/Counter Block Diagram[(1)]



Ejemplo: Fast PWM (modo 14)

```
void setup() {
  // OC1A (PB5) salida:
  DDRB = DDRB | 0x20;

  // Inicializa el Timer 1
  TCCR1A = 0; // Pone el registro TCCR1A a 0
  TCCR1B = 0; // Lo mismo para TCCR1B
  TIMSK1 = 0; // Lo mismo para TIMSK1

  ICR1 = 0xFFFF; // En modo 14, TOP es igual a ICR1
  // Carga en el registro “set compare match” del canal A,
  // lo pone a la mitad del TOP (Duty Cycle = 50%)
  OCR1A = 0x7FFF;
 // Continúa …
```

```
  // ... continuación:
  //Activa el modo Fast PWM en modo 14.
  sbi(TCCR1B, WGM13);
  sbi(TCCR1B, WGM12);
  sbi(TCCR1A, WGM11);
  cbi(TCCR1A, WGM10);
  sbi(TCCR1A, COM1A1);

  // Configura prescaler a 1024
  sbi(TCCR1B, CS10);
  sbi(TCCR1B, CS12);
} // Fin de setup
```

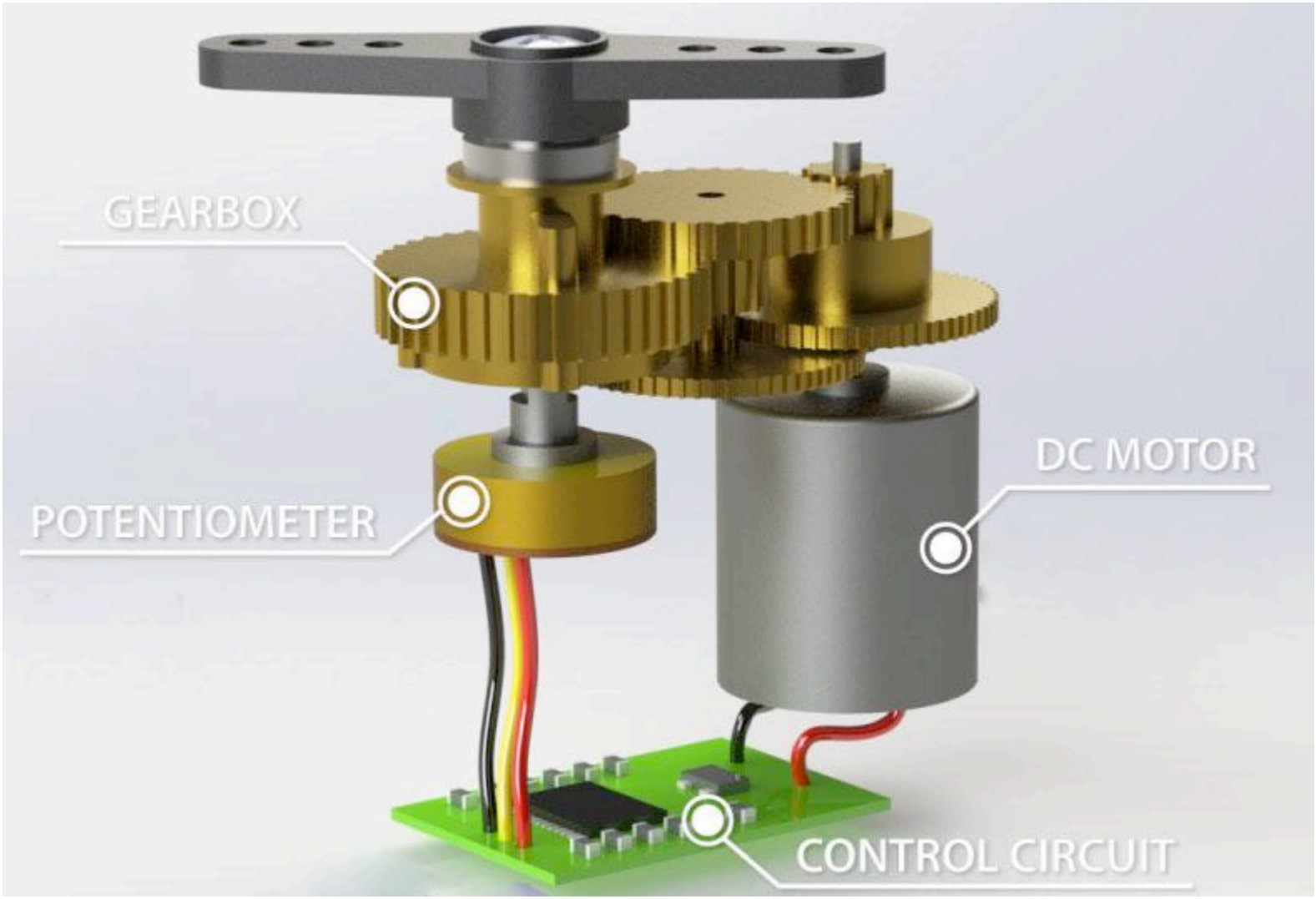
Ejemplo: Fast PWM (modo 7)

```
void setup() {
  // OC1A (PB5) salida:
  DDRB = DDRB | 0x20;

  // Inicializa el Timer 1
  TCCR1A = 0; // Pone el registro TCCR1A a 0
  TCCR1B = 0; // Lo mismo para TCCR1B
  TIMSK1 = 0; // Lo mismo para TIMSK1

  // En modo 10, TOP es igual a el valor fijo 0x03FF

  // Carga en el registro “set compare match” del canal A,
  // lo pone a la mitad del TOP (Duty Cycle = 50%)
  OCR1A = 0x1FFF;
 // Continúa …
```

```
  // ... continuación:
  //Activa el modo Fast PWM en modo 7.
  cbi(TCCR1B, WGM13);
  sbi(TCCR1B, WGM12);
  sbi(TCCR1A, WGM11);
  sbi(TCCR1A, WGM10);
  sbi(TCCR1A, COM1A1);

  // Configura prescaler a 1024
  sbi(TCCR1B, CS10);
  sbi(TCCR1B, CS12);
} // Fin de setup
```

Montaje y control del Servomotor

Servomotor de posición



Servomotor de posición

- Tienen un rango de giro de 90º.
- Concretamente, la posición se puede controlar desde los **-45º** hasta los +**45º**.
- Responden a una frecuencia de 50 Hz de PWM, es decir, con un periodo de 20 ms.
- El valor de duty cycle controla el ángulo del servomotor, valores orientativos:

Duty Cycle	Ángulo
0.5 ms	-90º
1 ms	-45º
1.5 ms	0º
2 ms	45º
2.5 ms	90º

Servomotor de rotación continua

- Tienen un rango de giro de 360º.
- Se controla la velocidad y dirección de giro, desde los X hasta los Y rpm (revoluciones por minuto).
- Responden a una frecuencia de 50 Hz de PWM, es decir, con un periodo de 20 ms.
- El valor de duty cycle controla la velocidad y dirección del giro, valores orientativos:

Duty Cycle	Velocidad [RPM]
1.40 ms	180
1.45 ms	90
1.50 ms	0
1.55 ms	-90
1.60 ms	-180

Servomotor de posición

- Cuenta con tres cables, típicamente:
  - Potencia (rojo)
  - Tierra (marrón)
  - Señal de control PWM (típicamente naranja, amarillo, blanco o azul)

- Conexiones:

Servomotor	Arduino
Power	5V
Ground	GND
PWM signal	Pin con soporte PWM

Servo Library

- Uso de esta librería para realizar pruebas de montaje, por ejemplo: que el servomotor está bien conectado.
- Los pines PWM están marcados con~ or #: 3, 5, 6, 9, 10, 11, 13
- La función attach(int pin, int min, int max) permite configurar un pin como PWM.
  - pin: Arduino digital pins with PWM support (9 or 10)
  - min: The pulse width, in microseconds, corresponding to the minimum (-90 degree) angle on the servo (defaults to 544)
  - max: The pulse width, in microseconds, corresponding to the maximum (90 degree) angle on the servo (defaults to 2400)
- **IMPORTANTE**: A diferencia de Arduino Library (AnalogWrite), admite frecuencias de 50 Hz (periodo de 20 ms).
- La función writeMicroseconds(int microsecs) permite controlar el servomotor:
  - microsecs: Valor de duty-cycle en la salida del pin configurado.

Ejemplo de control con la librería Servo

1. Inicialización y configuración

```
#include <Servo.h>

Servo myservo; // Crea objeto servo
void setup() {
  // Configura objeto myservo al pin D9 y
  //    500us  (0.5ms) : -90º
  //    2500us (2.5ms) : +90º
  myservo.attach(9, 500, 2500);

  // Configura pin con duty-cycle de 1500us (1.5ms),
  // i.e.: centra el servo en la posición de 45º
  myservo.writeMicroseconds(1500);
}
```

Ejemplo de control con la librería Servo

- Ejemplo de funcionamiento con llamadas a la función writeMicroseconds.
- Los giros son bruscos.

```
void loop() {
  static bool left = true;
  if (left) {
    // Mueve a la Izqda: -90º
    // 500us de duty-cycle
    myservo.writeMicroseconds(500);
  } else {
    // Mueve a la Dcha:  +90º
    // 2500us de duty-cycle
    myservo.writeMicroseconds(2500);
  }
  left != left;

  delay(3000);
}
```

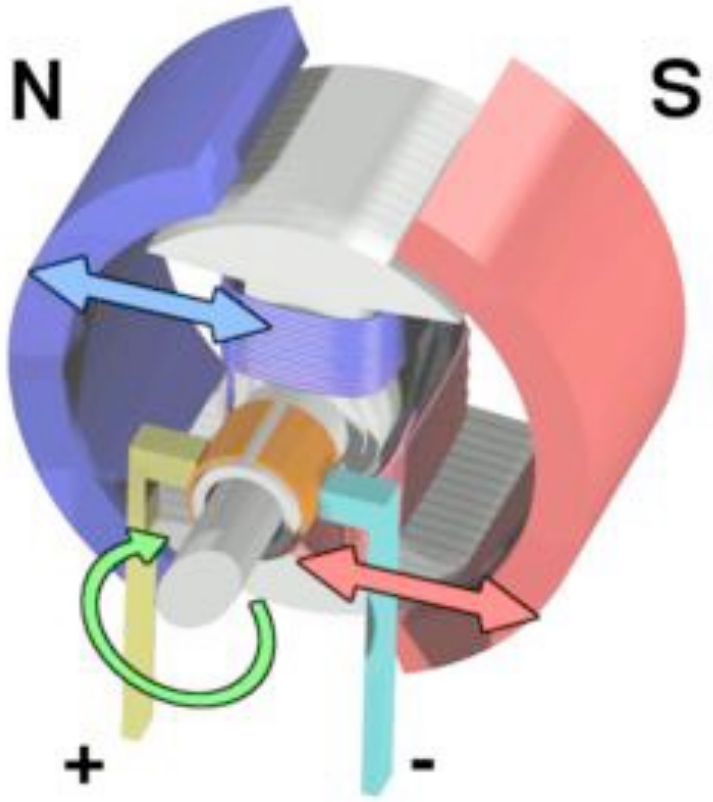
Ejemplo de control con la librería Servo

- Ejemplo de funcionamiento con llamadas a la función write, que recibe el ángulo como parámetro de entrada
- Los giros son escalados.

```
void loop() {
 static int pos = 0;
  for (pos = 0; pos <= 180; pos += 1) {// goes from 0 degrees to 180 degrees
    // in steps of 1 degree
    myservo.write(pos);                 // tell servo to go to ‘pos’ degrees
    delay(15);                          // waits 15 ms to reach position
  }
  for (pos = 180; pos >= 0; pos -= 1) {// goes from 180 degrees to 0 degrees
    myservo.write(pos);                 // tell servo to go to 'pos’ degrees
    delay(15);                          // waits 15 ms to reach the position
  }
}
```

Montaje y control PID del Motor DC

DC Motor



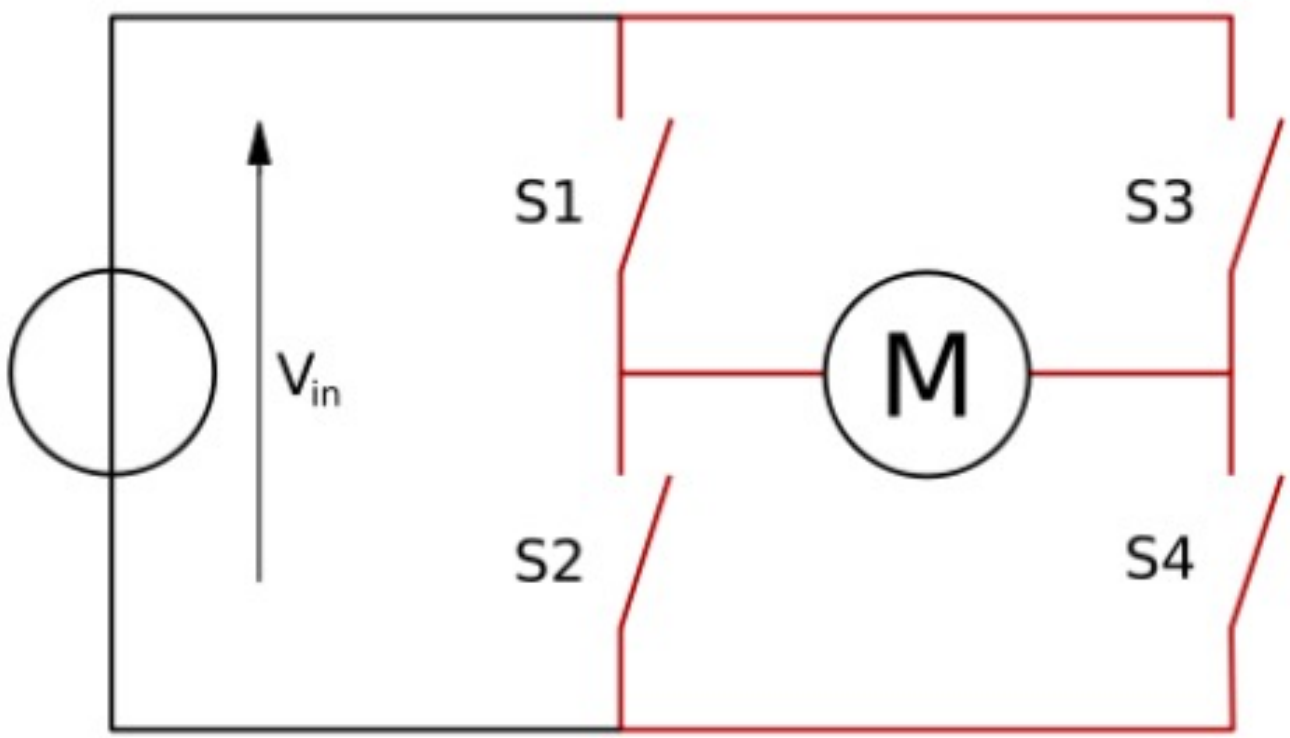
Giro en 2 direcciones:

Clockwise: VCC to + and GND to –
Counterclockwise: VCC to - and GND to +

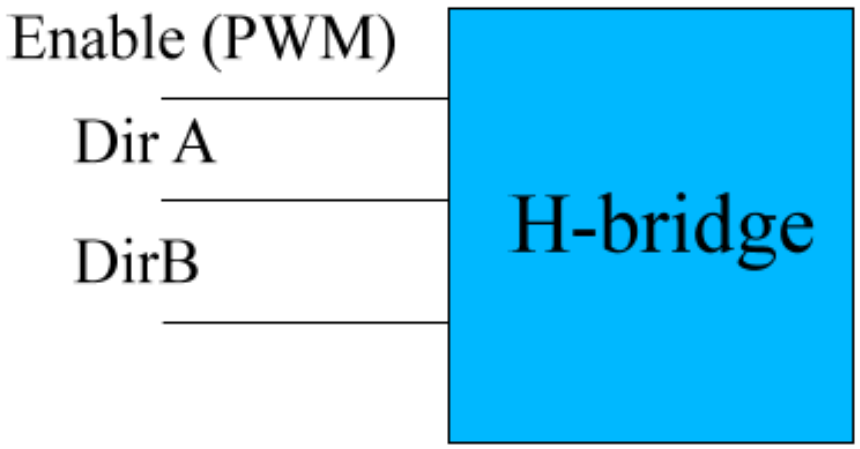
¿Cómo invertirlas?
Mediante un driver, como el Puente H.

¿Cómo establezco la velocidad actual del motor?
- Mediante un sensor de velocidad (rpm), o
- mediante la variación de la posición (leído del encoder en cuadratura) con respecto del tiempo.

Puente en H (H-Bridge)



H-Bridge



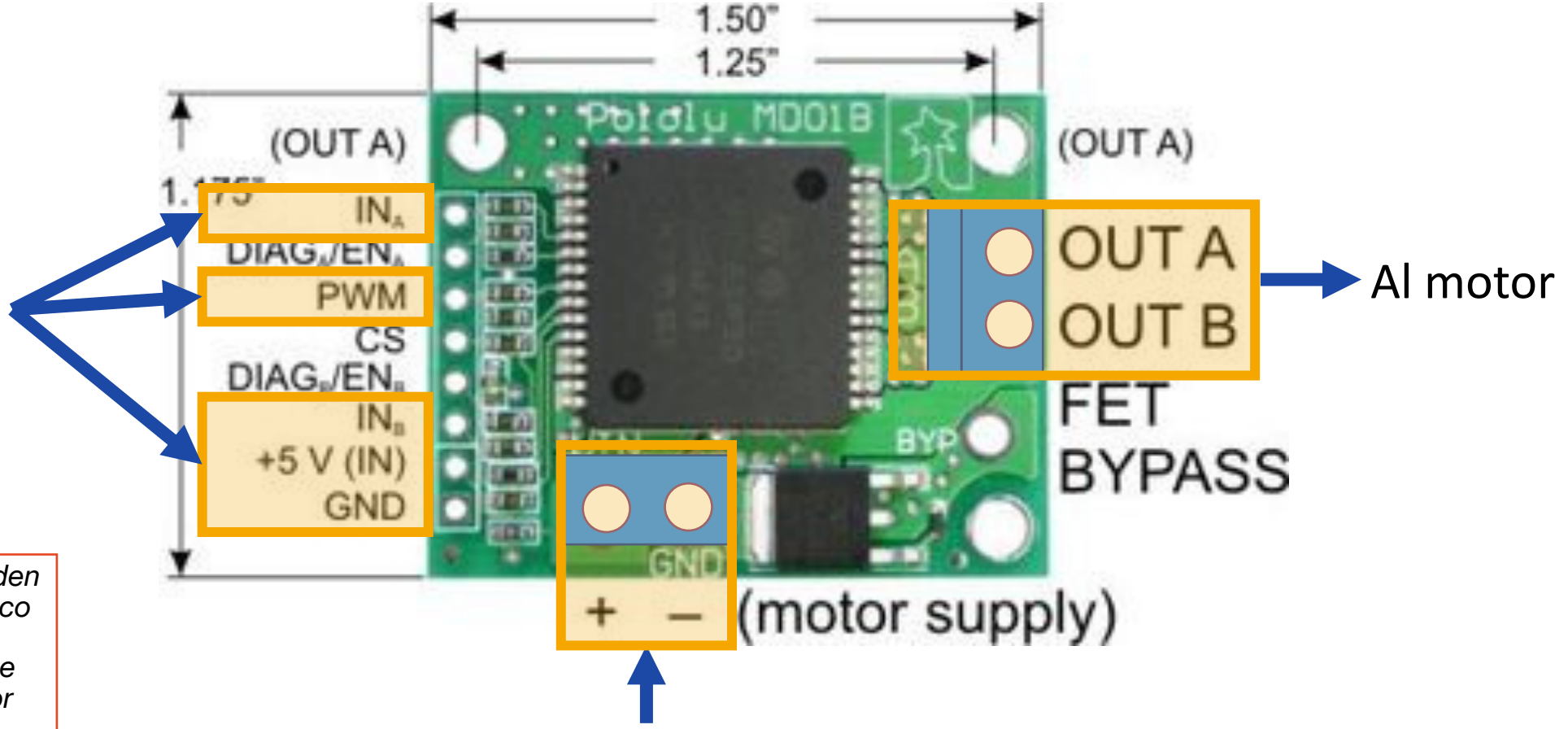
Enable	DirA	DirB	Action
0	X	X	None
1	0	1	DirB
1	1	0	DirA
1	0	0	Brake
1	1	1	Brake

Problems with electric motors:
Non linearity. i.e. duty cycles do not match with the "corresponding" motor speeds.
Electric motors need power to start. For instance, 50% duty cycles.

Montaje (H-Bridge Pololu)

Desde el Arduino

(ver siguiente transparencia)



Al motor

NOTA: ***Opcionalmente*** *se pueden emplear los pines de diagnóstico (**DIAG/EN**) que permiten monitorizar las condiciones de fallo del controlador del motor*

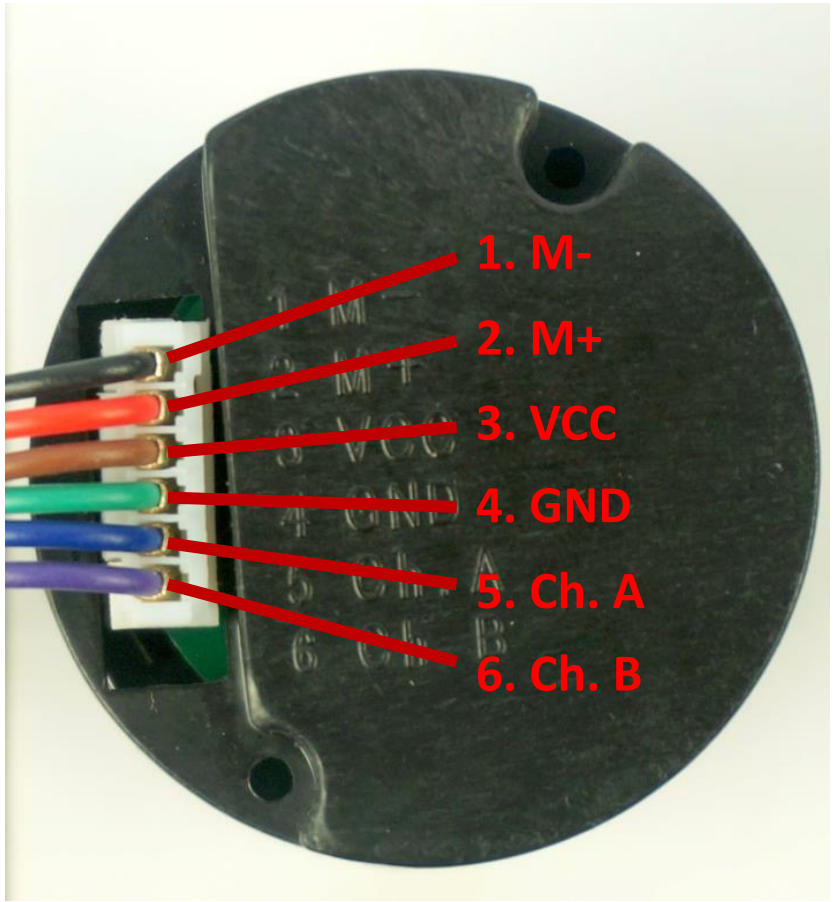
Alimentación externa del adaptador (6V o 12V para Roboshop)

Montaje (Encoder)

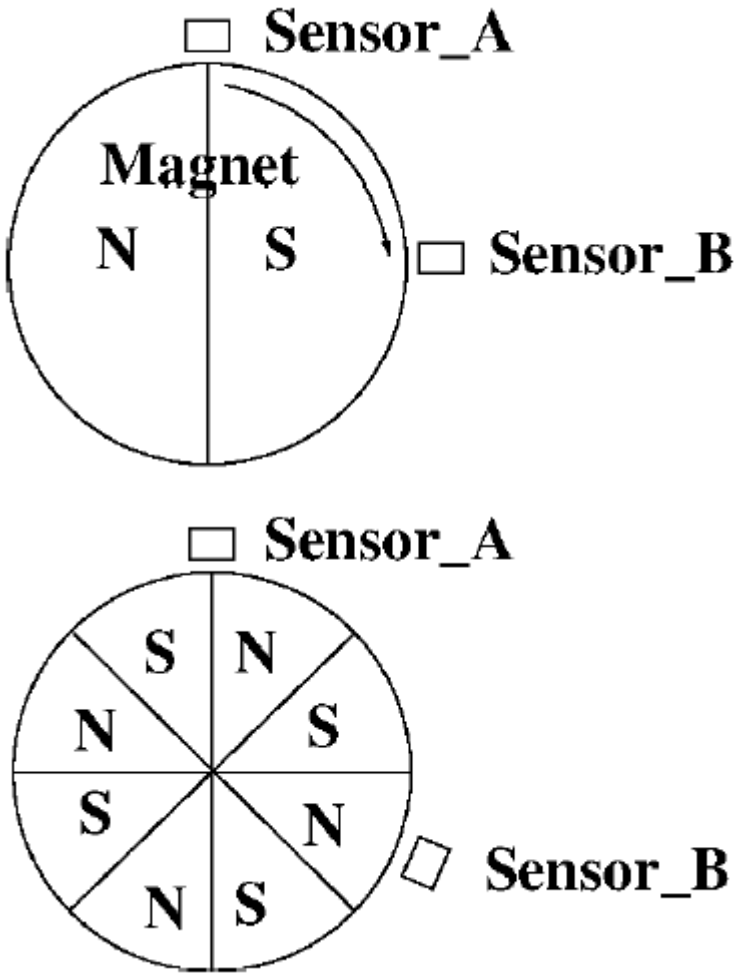
Bangood

1. M-
2. GND
3. Ch. A
4. Ch. B
5. 3V3
6. M+

Roboshop pins



ENCODER



An artifact that gives pulses as a function of a rotational speed of an axis.

Motors usually have gearboxes with a coefficient of reduction in order to augmenting the resulting torque on the secondary axes.

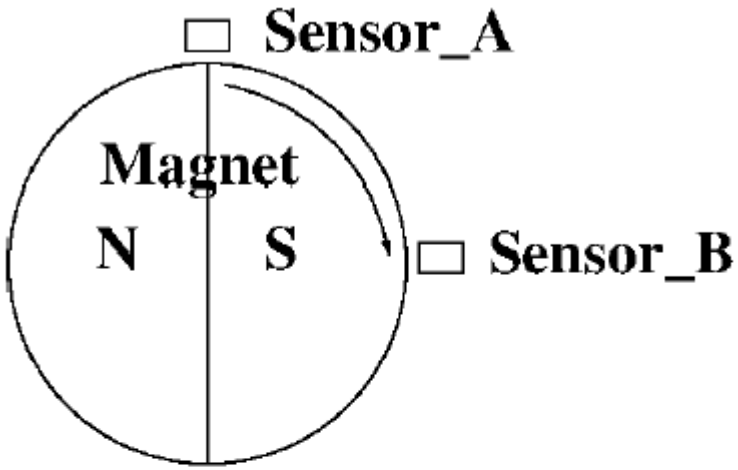
Encoders can be attached to secondary axes.

In this way the number of pulses per second is lowered:

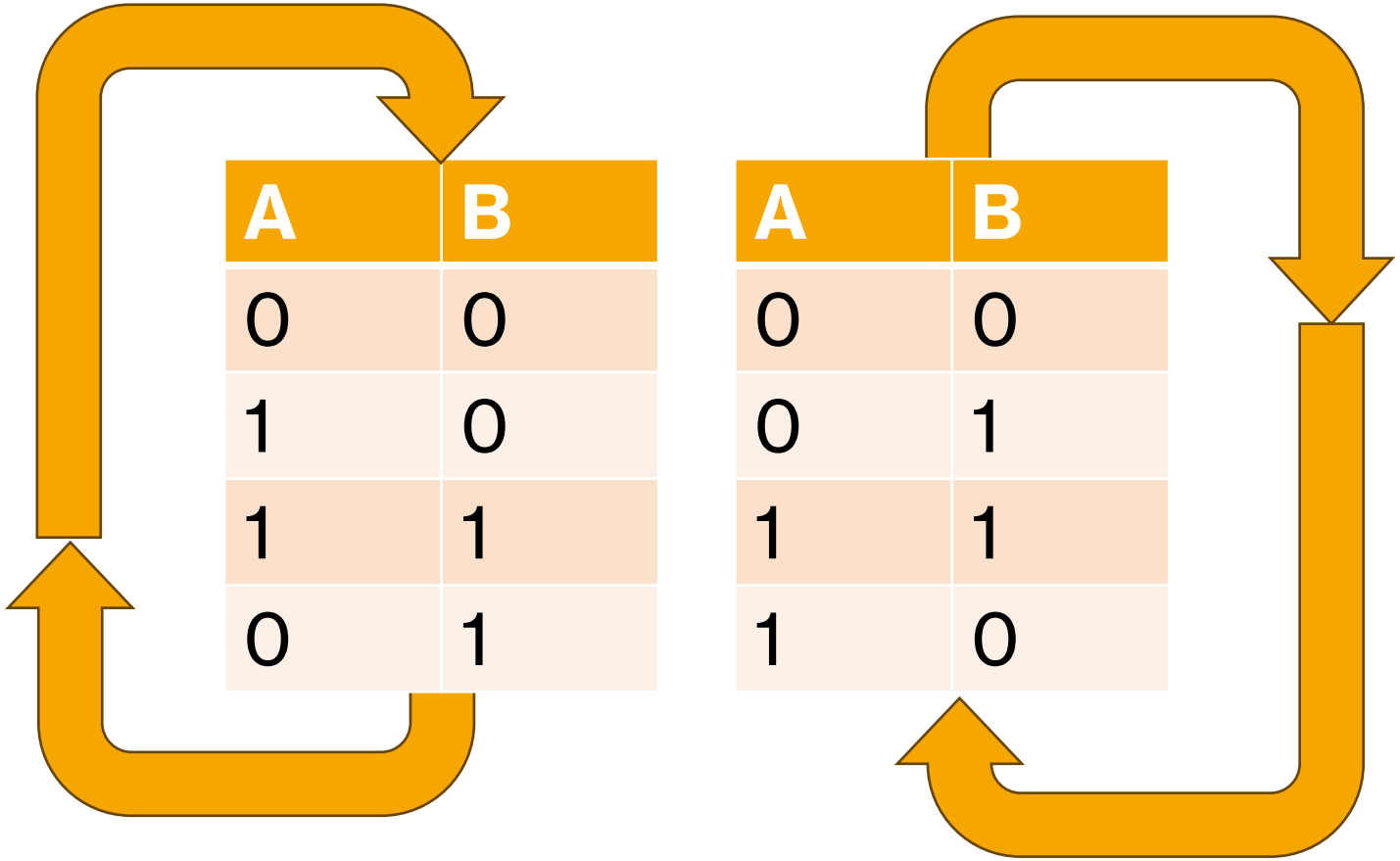
12V, 58RPM 60: 1 gear motor with encoder.

Encoders can be mechanical, optic, electronic or magnetic.

ENCODER



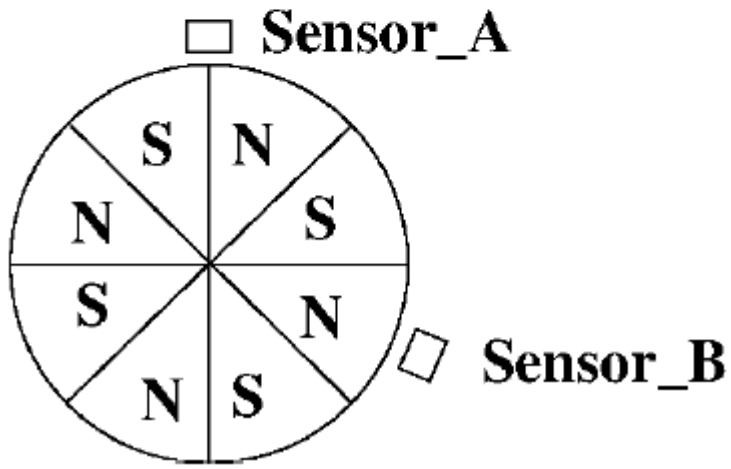
- **En ambos sentidos hay 4 cambios por revolución.**
  - *La resolución para medir la posición del eje es de 360º/4 = 90º.*



A	B
0	0
1	0
1	1
0	1

A	B
0	0
0	1
1	1
1	0

ENCODER



- **En ambos sentidos hay 16 cambios por revolución.**
  - *Tengo más resolución para medir la posición del eje, es decir, el ángulo.*
  - *360º/16 = 22.5º de resolución.*

A	B
0	0
1	0
1	1
0	1
0	0
1	0
1	1
0	1
0	0
1	0
1	1
0	1
0	0
1	0
1	1
0	1

A	B
0	0
0	1
1	1
1	0
0	0
0	1
1	1
1	0
0	0
0	1
1	1
1	0
0	0
0	1
1	1
1	0

Encoder, ejemplo mediante polling

```
Volatile int pos = 0; // Variable global
ISR(…) { // Activación periódica, p.ej.: cada 100 us
  static int8_t value_old_new;
  static int8_t value_old;
  int8_t value_new = PORTD & 0x03;
  if (value_new != value_old) {
    value_old_new = value_old_new << 2;
    value_old_new = value_old_new | value_new;
    value_old = value_new; // Mantengo para Sgte. Vez
    // ¿Cómo interpreto la lectura del encoder?
    // Continúa...
  } // End if
}   // End ISR
```

Encoder

Sentido de giro	Últimos 4 bits de la variable value_old_new				value_old_new en decimal
	OLD B	OLD B	NEW B	NEW A	
	0	0	0	1	1
	0	1	1	1	7
	1	1	1	0	14
	1	0	0	0	8
	0	0	1	0	2
	1	0	1	1	11
	1	1	0	1	13
	0	1	0	0	4

Encoder, ejemplo mediante polling

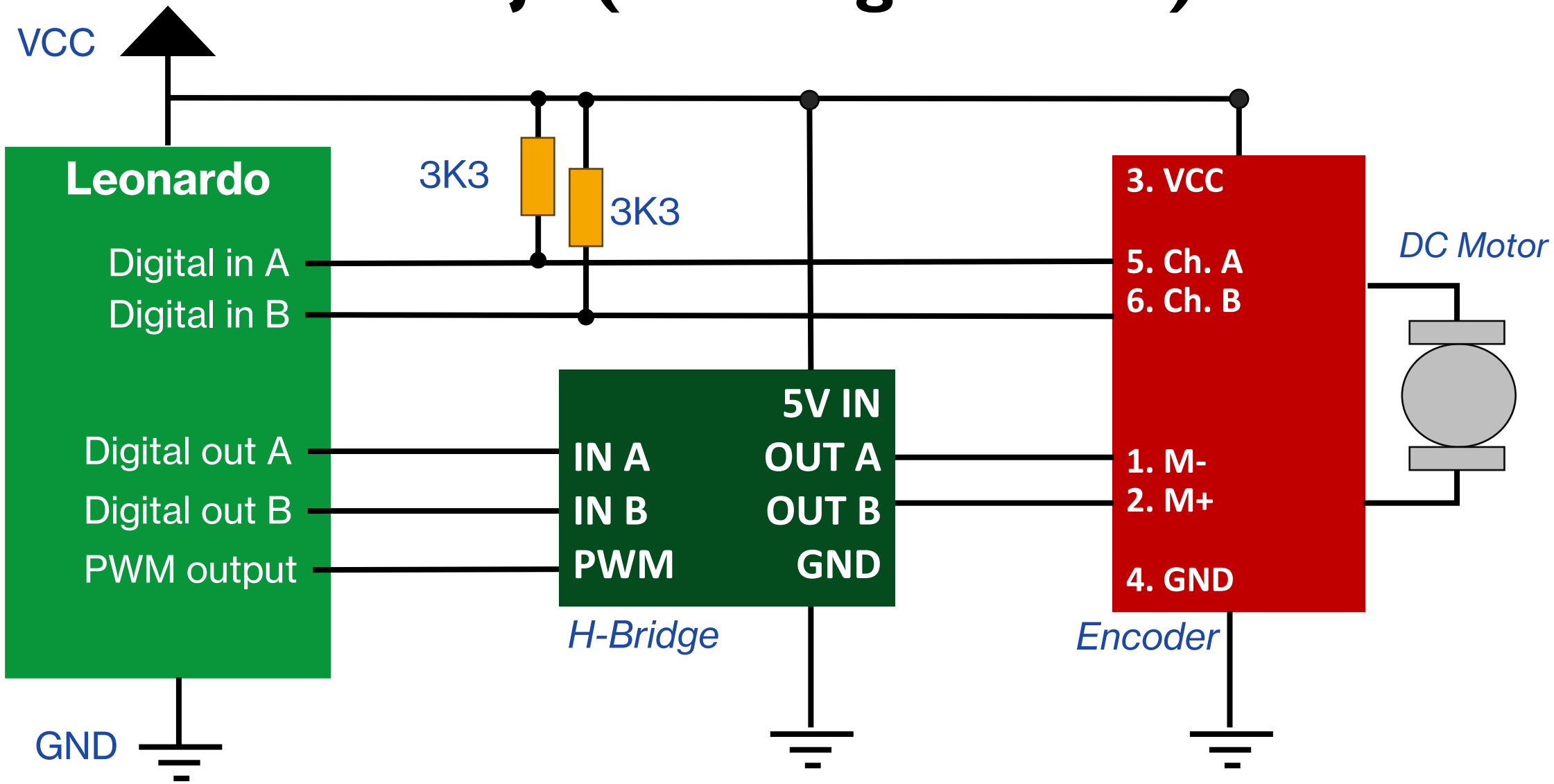
```
    // ... Continuación:
    // ¿Cómo interpreto la lectura del encoder?
    if (value_old_new == 1  || value_old_new == 7 ||
        value_old_new == 14 || value_old_new == 8) {
      encoder++; // Incremento contador
    }
    if (value_old_new == 2  || value_old_new == 11 ||
        value_old_new == 13 || value_old_new == 4) {
      encoder--; // Decremento contador
    }
  } // End if
}   // End ISR
```

Encoder, ejemplo mediante polling

```
// 1. Posición en grados. Si es un encoder de 48 PPR,
// hay 360º/16 = 22.5º por cada incremento del encoder.
posicion_deg = (encoder * 22.5) % 360;
```

```
// 2. ¿Y la velocidad?
// Es el número de pulsos leídos por unidad de tiempo.
// Si mi ciclo de control ejecuta cada 40 ms,
// Obtendré la variación del encoder en un tramo de 40 ms.
ISR(…) { // Executes each 40ms
   static int encoder_last = encoder;
   int delta_encoder = encoder - encoder_last;
   speed_pp40ms = delta_encoder;
   encoder_last = encoder;
}
```

Montaje (H-Bridge Pololu)

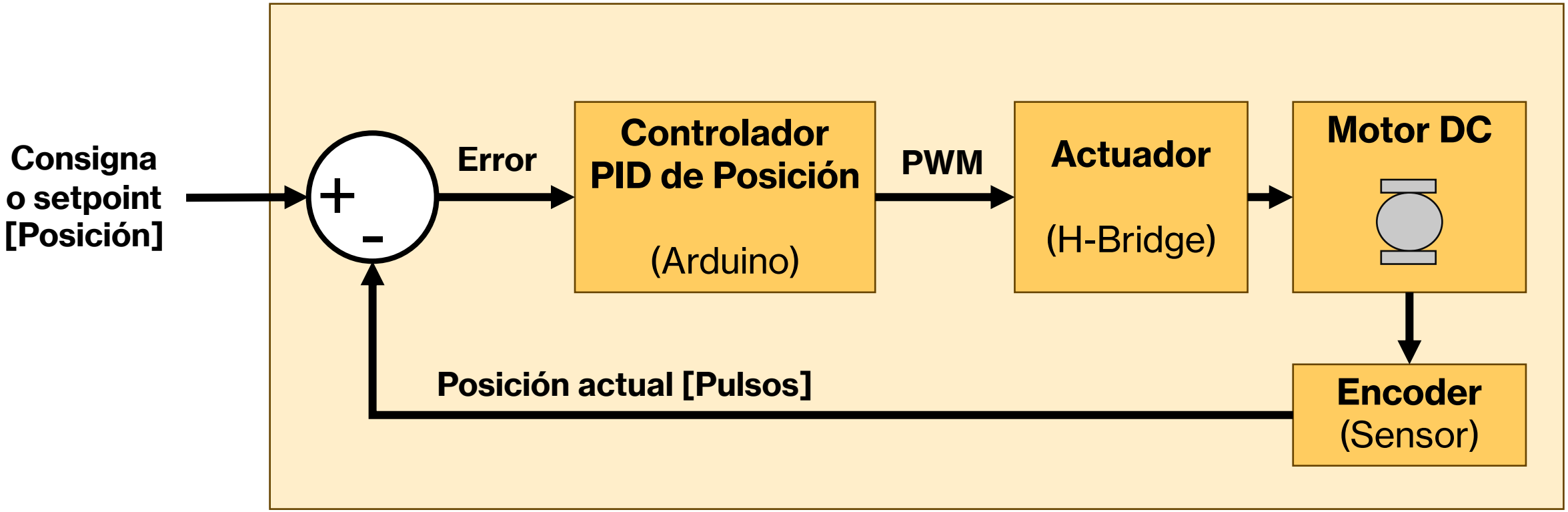


Arduino library

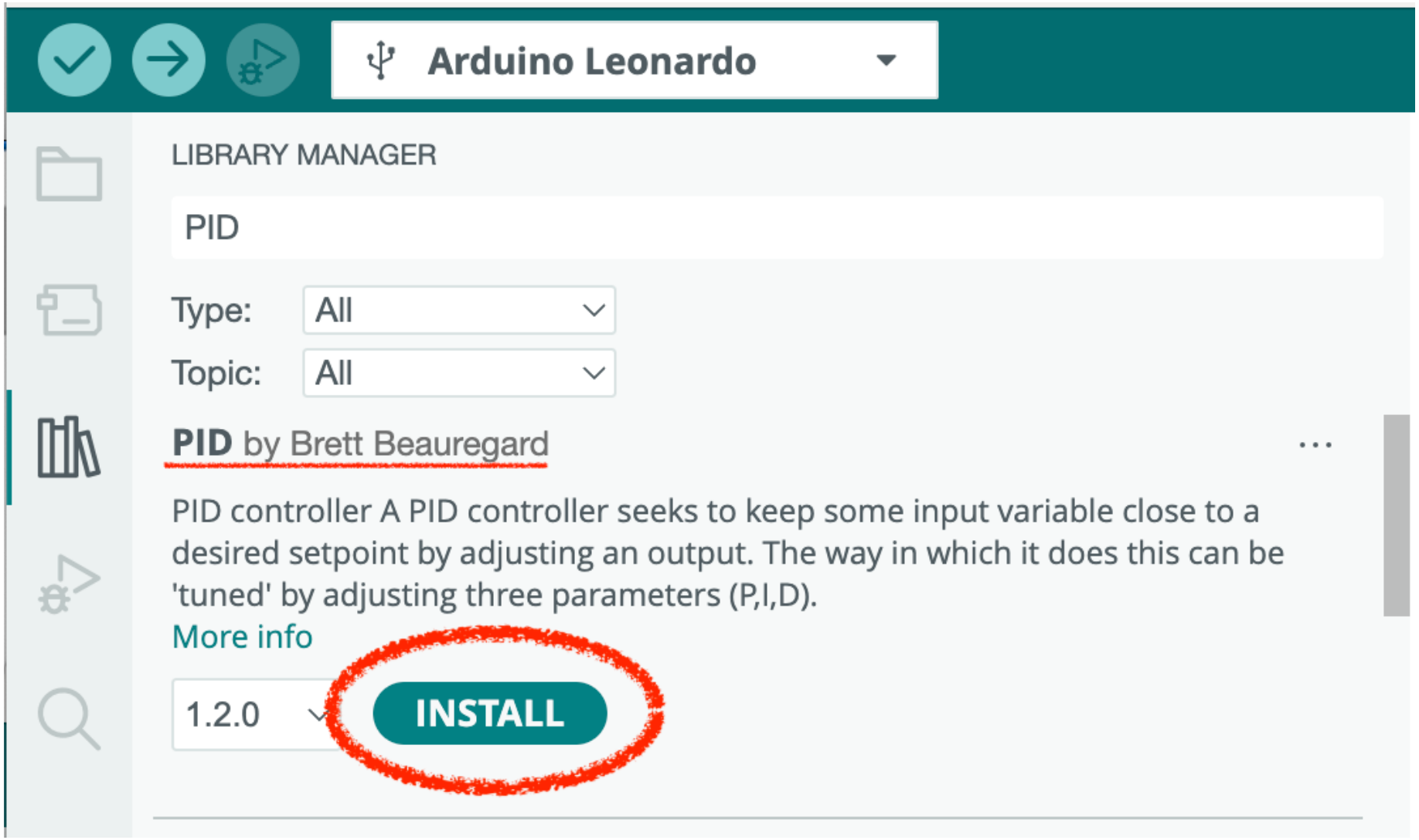
- Uso de esta librería para realizar pruebas de montaje del motor.
- AnalogWrite(int pin, int value)
  - pin: Arduino digital pins with PWM support.
  - value: Ranges between 0 (OFF, 0% duty-cycle) and 255 (ON, 100%).
- PWM are digital pins marked with ~: 3, 5, 6, 9, 10, 11, 13
- NOTES & WARNINGS:
  - The PWM outputs on D5 and D6 will have higher-than-expected duty cycles because of interactions with millis() and delay() functions that share the same internal timer used to generate those PWM outputs.
  - This will be noticed mostly on low duty-cycle settings (e.g.: 0 up to 10) and may result in a value of 0, not fully turning off the output on pins D5 and D6.

Control PID

Control PID de Posición



Biblioteca PID de Brett Beauregard



Biblioteca PID de Brett Beauregard

- Documentación en Español sobre la implementación de la librería (**lectura "recomendada"**):

  http://brettbeauregard.com/blog/wp-content/uploads/2012/07/Guía-de-uso-PID-para-Arduino.pdf

- API official de la librería:

  https://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary/

- Constantes PID orientativas:
  - KP = 1.0, KI=0.35, KD=0.2

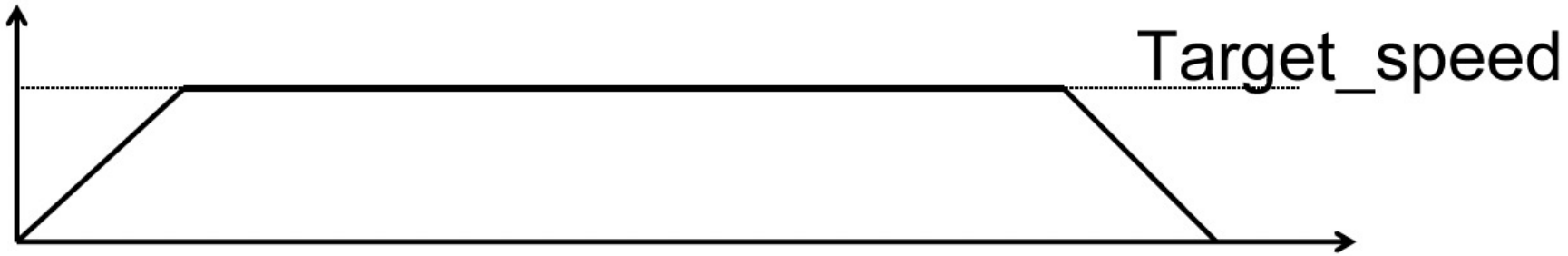
Biblioteca PID de Brett Beauregard

```
#include <PID_v1.h> // PID library

double Setpoint, Input, Output;
const double KP = 1.00;
const double KI = 0.35;
const double KD = 0.20;

// Creo objeto PID
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint,0.2,0.1,0.0, DIRECT);
void setup() {
  myPID.SetOutputLimits(0,800); // Restringir salida para el PWM.
  //...
```

Control PID de velocidad

```
ISR(…) { // Ciclo de control cada 40 ms
  velocidad_objetivo_pp40ms = velocidad_objetivo_pps * 0.04;
  posicion_objetivo = posicion_actual +
                      velocidad_objetivo_pp40ms;
  Input = encoder; // La posicion actual
  Setpoint = posicion_objetivo - Input; // El error
  // Llama la librería que actualiza la variable Output
  myPID.Compute();
}
```

Rampa




```
acceleration = (1..10);// pulses
speed = 0;
if (speed < target_speed)
    speed = speed + acceleration/10;
else
    speed = target_speed;
```

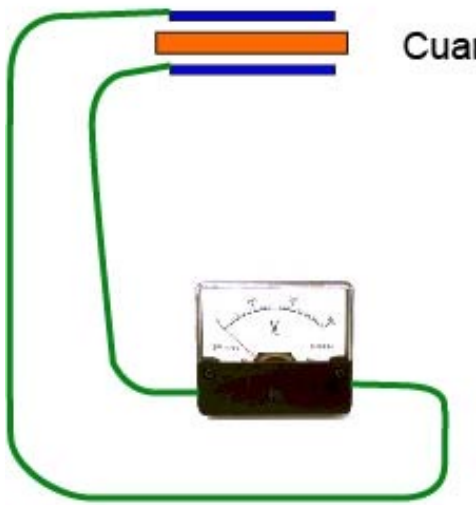
Referencias

Referencias

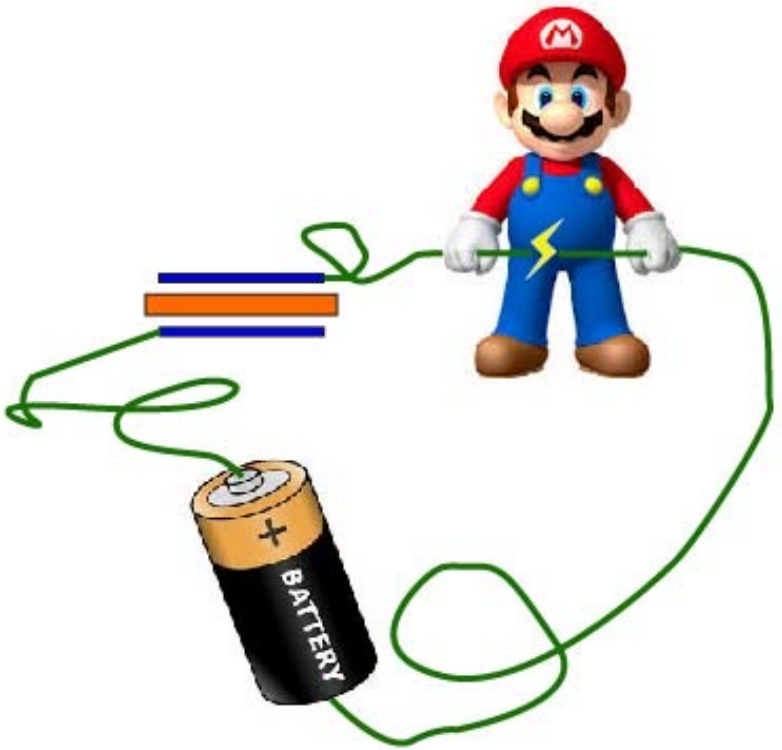
- **[1]** Juan Zamorano, José F. Ruiz, and Juan Antonio de la Puente. 2001. *Implementing Ada.Real_Time.Clock and Absolute Delays in Real-Time Kernels*. In Proceedings of the 6th Ade-Europe International Conference Leuven on Reliable Software Technologies (Ada Europe '01). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 317–327.
- **[2]** ATMEL. ATmega16/32U4 datasheet. https://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Informatica_Industrial/DMC/pdf/atmega32u4.pdf
- **[3]** Arduino. AnalogWrite API. https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogwrite/
- **[4]** Elecia White. *Making Embedded Systems, 2nd Edition*. O'Reilly Media, Inc. https://learning.oreilly.com/library/view/making-embedded-systems/9781098151539/
- **[5]** Arduino. Servo library API. https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/

Extra

PIEZOELECTRICIDAD

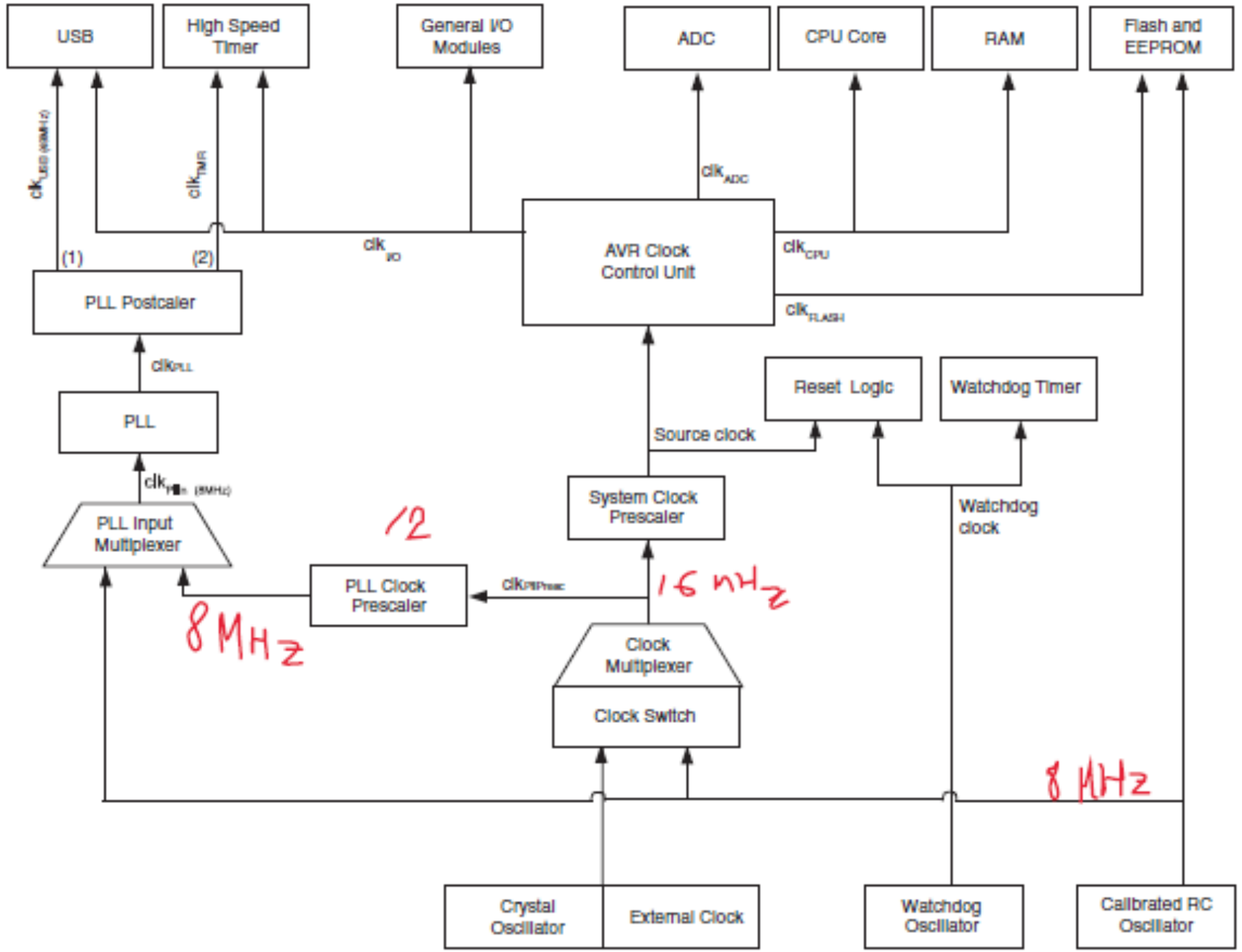


Cuando el cuarzo es sometido a com-presion entonces un voltaje aparece en sus caras



Cuando de conecta una voltaje entre las caras del Cuarzo entonces el empieza a vibrar.

Figure 6-1. Clock Distribution



Registros típicos de un Timer/Counter [4]

Timer counter

This holds the changing value of the timer (the number of ticks since the timer was last reset).

Compare register (or capture compare register or match register)

When the timer counter equals this register, an action is taken. There may be more than one compare register for each timer.

Action register (or auto reload register)

This register sets up an action to take when the timer and compare register are the same. (For some timers, these actions are also available when the timer overflows, which is like having a compare register set to the maximum value of the timer counter.) There are four types of possible actions to be configured (one or more may happen):

- Interrupt
- Stop or continue counting
- Reload the counter
- Set an output pin to high, low, toggle, or no change

Registros típicos de un Timer/Counter [4]

Clock configure register (optional)

This register tells a subsystem which clock source to use, though the default may be the system clock. Some processors have timers that even allow a clock to be attached to an input pin. You can often choose whether to count up or down, I'll be using count-up with these examples but the process is similar.

Prescaler register

As shown in Figure 4-7, this reduces the fast incoming clock so that it runs more slowly, allowing timers to happen for slower events.

Control register

This sets the timer to start counting once it has been configured. Often the control register also has a way to reset the timer.

Interrupt register (may be multiple)

If you have timer interrupts, you will need to use the appropriate interrupt register to enable, clear, and check the status of each timer interrupt.

Interrupt Vector Table (IVT)

Vector No	Program Address	Source	Interrupt Definition	Arduino/C++ ISR() Macro Vector Name
1	0x0000	RESET	Reset	
2	0x0002	INT0	External Interrupt Request 0 (pin D0)	(INT0_vect)
3	0x0004	INT1	External Interrupt Request 1 (pin D1)	(INT1_vect)
4	0x0006	INT2	External Interrupt Request 2 (pin D2)	(INT2_vect)
5	0x0008	INT3	External Interrupt Request 3 (pin D3)	(INT3_vect)
6	0x000A	Reserved	Reserved	
7	0x000C	Reserved	Reserved	
8	0x000E	INT6	External Interrupt Request 6 (pin E6)	(INT6_vect)
9	0x0010	Reserved		
10	0x0012	PCINT0	Pin Change Interrupt Request 0 (pins PB7 to PB0)	(PCINT0_vect)
11	0x0014	USB General	USB General Interrupt request	(USB_GENERAL_vect)
12	0x0016	USB Endpoint	USB Endpoint Interrupt request	(USB_ENDPOINT_vect)
13	0x0018	WDT	Watchdog Time-out Interrupt	(WDT_vect)
14	0x001A	Reserved	Reserved	
15	0x001C	Reserved	Reserved	
16	0x001E	Reserved	Reserved	

Interrupt Vector Table (IVT)

17	0x0020	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event	(TIMER1_CAPT_vect)
18	0x0022	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A	(TIMER1_COMPA_vect)
19	0x0024	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B	(TIMER1_COMPB_vect)
20	0x0026	TIMER1 COMPC	Timer/Counter1 Compare Match C	(TIMER1_COMPC_vect)
21	0x0028	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow (see note)	(TIMER1_OVF_vect)
22	0x002A	TIMER0 COMPA	Timer/Counter0 Compare Match A	(TIMER0_COMPA_vect)
23	0x002C	TIMER0 COMPB	Timer/Counter0 Compare Match B	(TIMER0_COMPB_vect)
24	0x002E	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow	(TIMER0_OVF_vect)
25	0x0030	SPI, STC	SPI Serial Transfer Complete	(SPI_STC_vect)
26	0x0032	USART, RX	USART Rx Complete	(USART_RX_vect)
27	0x0034	USART, UDRE	USART, Data Register Empty	(USART_UDRE_vect)
28	0x0036	USART, TX	USART, Tx Complete	(USART_TX_vect)

Interrupt Vector Table (IVT)

29	0x0038	ANALOG COMP	Analog Comparator	(ANALOG_COMP_vect)
30	0x003A	ADC	ADC Conversion Complete	(ADC_vect)
31	0x003C	EE READY	EEPROM Ready	(EE_READY_vect)
32	0x003E	TIMER3 CAPT	Timer/Counter3 Capture Event	(TIMER3_CAPT_vect)
33	0x0040	TIMER3 COMPA	Timer/Counter3 Compare Match A	(TIMER3_COMPA_vect)
34	0x0042	TIMER3 COMPB	Timer/Counter3 Compare Match B	(TIMER3_COMPB_vect)
35	0x0044	TIMER3 COMPC	Timer/Counter3 Compare Match C	(TIMER3_COMPC_vect)
36	0x0046	TIMER3 OVF	Timer/Counter3 Overflow	(TIMER3_OVF_vect)
37	0x0048	TWI	2-wire Serial Interface (I2C)	(TWI_vect)
38	0x004A	SPM READY	Store Program Memory Ready	(SPM_READY_vect)
39	0x004C	TIMER4 COMPA	Timer/Counter4 Compare Match A	(TIMER4_COMPA_vect)
40	0x004E	TIMER4 COMPB	Timer/Counter4 Compare Match B	(TIMER4_COMPB_vect)
41	0x0050	TIMER4 COMPD	Timer/Counter4 Compare Match D	(TIMER4_COMPD_vect)
42	0x0052	TIMER4 OVF	Timer/Counter4 Overflow	(TIMER4_OVF_vect)
43	0x0054	TIMER4 FPF	Timer/Counter4 Fault Protection Interrupt	(TIMER4_FPF_vect)

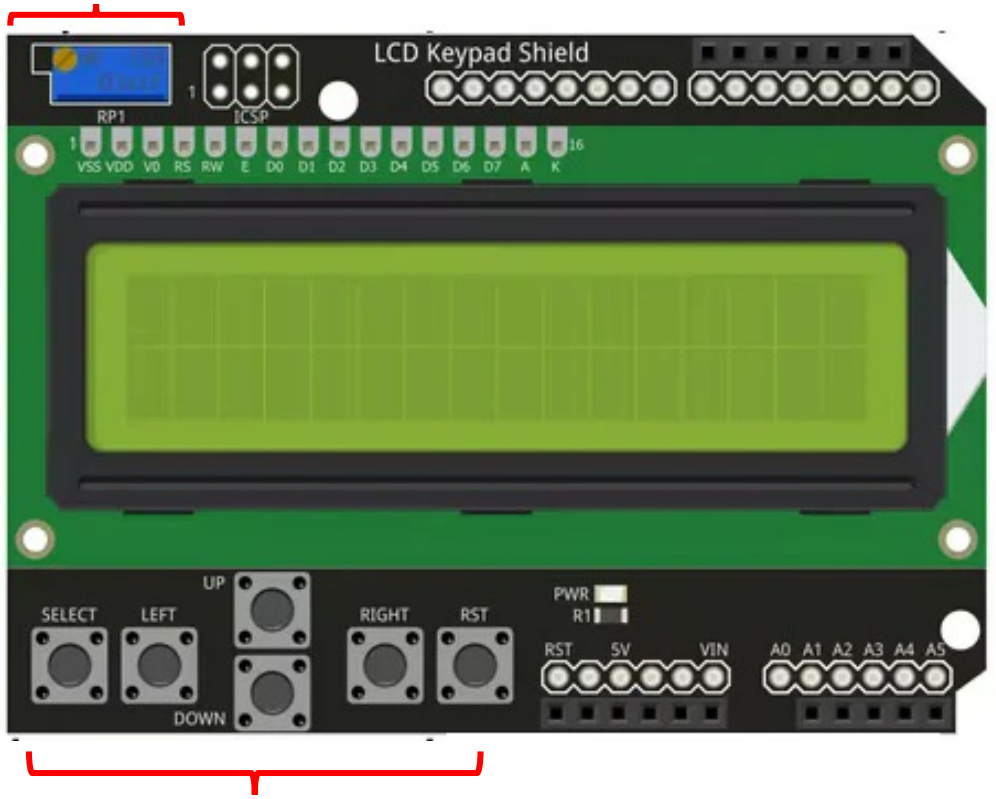
Programación de RTIs en C

- Macros para habilitar e inhibir interrupciones:
  - sei() // habilita interrupciones
  - cli() // las inhibe
- Para escribir una RTI, se debe emplear la macro ISR, Por ejemplo:

```
// Primer parámetro: nombre del vector de la IVT
ISR(TIMER1_OVF_vect) {
  // Código del programador...
}
```

LCD Keypad Shield (16x2)

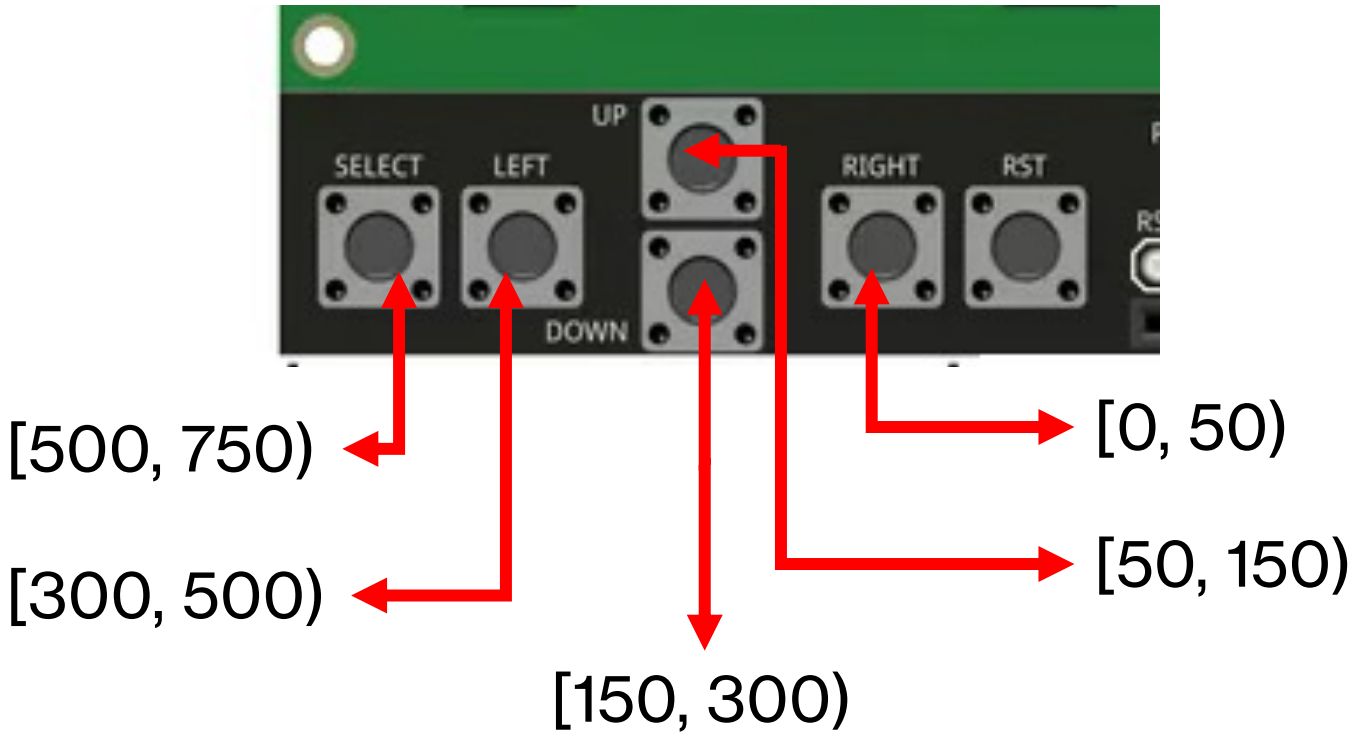
Potenciómetro (control de contraste)



Todos los botones están conectados al pin A0

LCD Pin	Arduino Pin
Reset (RS)	DB8
Enable (E)	DB9
D4	DB4
D5	DB5
D6	DB6
D7	DB7
Botones	A0

LCD Keypad Shield (16x2)



Botón pulsado	Rango de lectura en el ADC
RIGHT	[0, 50)
UP	[50, 100)
DOWN	[150, 300)
LEFT	[300, 500)
SELECT	[500, 750)