



# Sistemas Electrónicos Digitales

## Tema #3

### 6. Temporizadores

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Temario

1. Introducción
2. GPIO: General Purpose Input/Output
3. Arquitectura Arm Cortex-M4
4. Interrupciones
5. C en ensamblador
6. Temporizadores (Timers)
7. Direct Memory Access
8. Comunicaciones Serie
9. Conversores A/D y D/A

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Tipos de temporizadores

- **Temporizador de interrupción (Interrupt Timer)**
  - Genera interrupciones periódicas o transferencias DMA (acceso directo a la memoria)
- **Módulo PWM**
  - Conectado a los pines de E / S, soporta captura de entrada y comparación de salida
  - Genera señales PWM
  - Genera solicitudes de interrupción
- **Temporizador de bajo consumo (Low-Power Timer)**
  - Puede funcionar como temporizador o contador en todos los modos de alimentación
  - Puede despertar el sistema con una interrupción
  - Puede activar hardware
- **Reloj en tiempo real**
  - Accionado por un cristal externo
  - Cuenta el tiempo transcurrido (segundos) en un registro
  - Puede establecer alarmas
  - Puede generar señal de salida de 1Hz y/o interrupción
  - Puede despertar el sistema con una interrupción

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Temporizador / Contador

- Periférico común para microcontroladores.
- Basado en contador binario preconfigurado, pero configurable
  - El valor del contador puede ser leído y escrito por MCU
  - La cuenta puede ser hacia arriba o hacia abajo
  - Se puede seleccionar la fuente de reloj del contador
    - **Modo contador:** cuenta pulsos que indican eventos (por ejemplo, pulsos de odómetro)
    - **Modo de temporizador:** la fuente del reloj es periódica, por lo que el valor del contador es proporcional al tiempo transcurrido (por ejemplo, cronómetro)
  - Se puede seleccionar la acción si se produce desbordamiento (arriba o abajo) del contador.
    - Generar **interrupción**
    - **Recargar** el contador con valor especial y continuar contando.
    - **Cambiar señal de salida** de hardware

Events  
□ □ □ □ □

Reload Value

Reload

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Current Count



Temporizadores

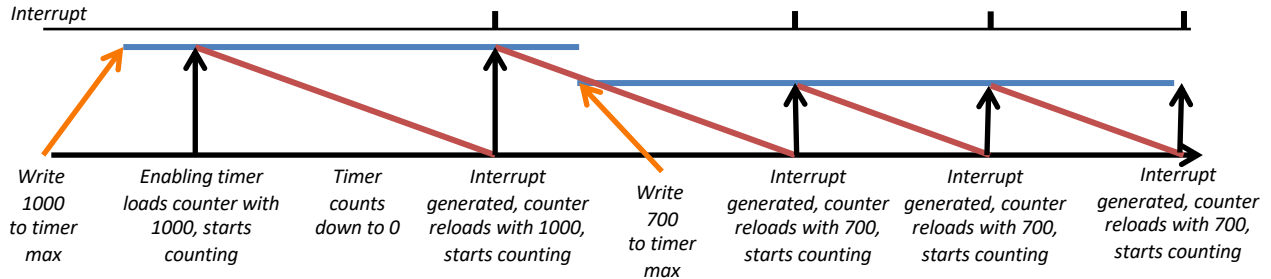
# TEMPORIZADOR DE INTERRUPCIÓN

Cartagena99

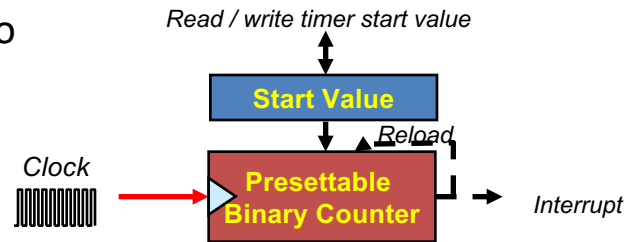
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Interrupt Timer



- Cargar valor de inicio desde registro
- Contador cuenta atrás con cada pulso de reloj
- Cuando el valor del temporizador llega a cero



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Cálculo del valor máximo

- Objetivo: generar una interrupción cada T segundos
- Valor máximo =  $\text{round}(T * \text{Freq})$ 
  - Redondear puesto que el registro es un número entero, no un número real
    - El redondeo proporciona el número entero más cercano al valor deseado, lo que resulta en un error de tiempo mínimo
- Ejemplo: interrupción cada 137.41ms, suponiendo  $f_{\text{reloj}} = 24 \text{ MHz}$ 
  - $137.41 \text{ ms} * 24 \text{ MHz} = 3297840$
- Ejemplo: interrupción con  $f = 91 \text{ Hz}$  con un reloj de 12MHz
  - $(1/91 \text{ Hz}) * 12 \text{ MHz} = \text{round}(131868.1318) = 131868$
- Macros: interrupción 1000 veces por segundo

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Temporizadores

# Timer / PWM Module

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Temporizador / Módulo PWM

- Contador principal (core counter)
  - Opciones de reloj: externo o interno
  - Prescaler para dividir reloj
  - Puede volver a cargar con el valor establecido, o desbordar y dar la vuelta
- N canales
  - 3 modos:
    - **Captura:** captura el valor del temporizador cuando cambia la señal de entrada
    - **Comparación de salida:** cambia una señal de salida cuando el temporizador alcanza cierto valor
    - **PWM:** Genera señal modulada por ancho de pulso (pulse-width-modulation). El ancho del pulso es proporcional al valor especificado.
  - Posible activación de interrupción, activación de hardware en caso de

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Modos de canal principales

- **Modo de captura de entrada**

- Captura el valor del temporizador cuando cambia la señal de entrada.
  - Flanco de subida, flanco de bajada, ambos
- ¿Cuánto tiempo después de que empezó el temporizador cambió la entrada?
  - Medir el retraso de tiempo

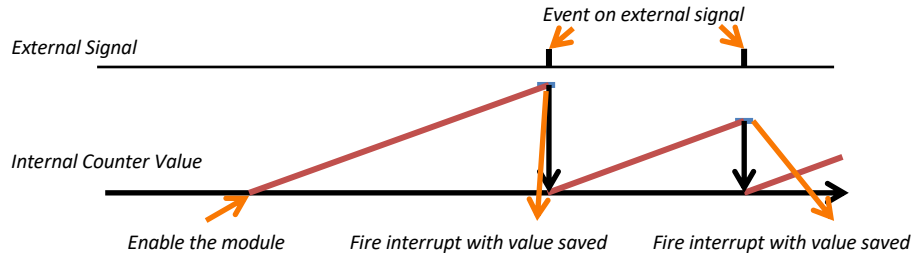
- **Modo de comparación de salida**

- Modificar la señal de salida cuando el temporizador alcanza el valor especificado
  - Set, clear, pulse, toggle (invert)
- Hacer un pulso de ancho especificado
- Hacer un pulso después de un retraso especificado

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Input Capture Mode



- Los pines de E/S actúan como detectores de flanco
- Cuando se detecta un flanco válido en el pin ...
  - Se almacena el valor actual del contador.
  - Se llama a la interrupción

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

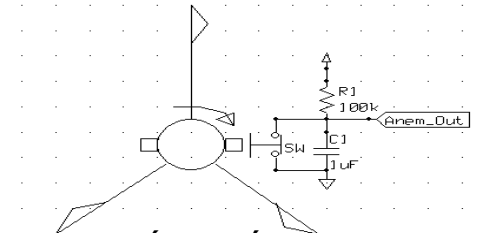
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Indicador de velocidad del viento (anemómetro)

- La velocidad de rotación (y la frecuencia del pulso) es proporcional a la velocidad del viento
- Dos opciones de medición:
  - Frecuencia (mejor para altas velocidades)
  - Ancho (mejor para bajas velocidades)
- Puede calcular la velocidad del viento:

$$v_{wind} = \frac{K * f_{clk}}{T_{anemometer}}$$

- ¿Cómo podemos usar el temporizador para esto?



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



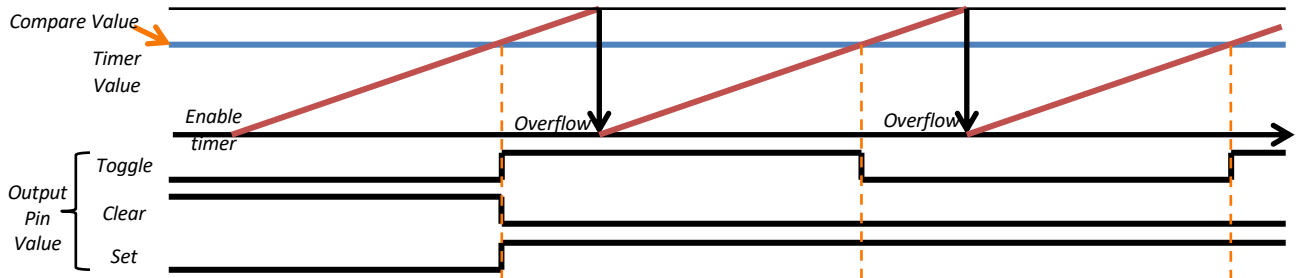
# Modo de captura para el anemómetro

- Configuración
  - Configurar el módulo para contar a una velocidad dada desde el reloj interno
  - Configurar canal para captura de entrada en flanco de subida
- Repetir:
  - Primera interrupción - en el flanco de subida
    - Reconfigurar el canal para la captura de entrada en el flanco descendente
    - Borrar contador, empezar a contar
  - Segunda interrupción - en el flanco de bajada
    - Leer el valor de captura y guardarlo para el cálculo de la velocidad del viento

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Output Compare Mode



- Acción cuando se alcanza el valor
  - Toggle
  - Clear
  - Set

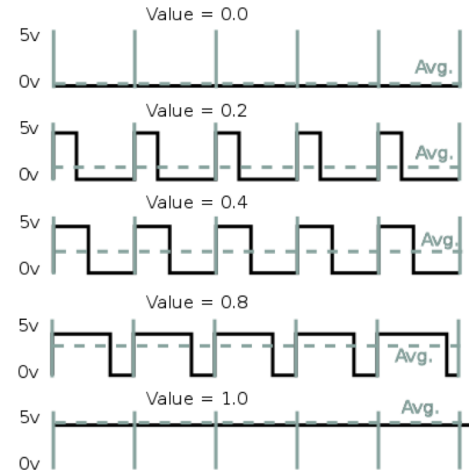
- Cuando el contador alcanza el valor

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# PWM: Pulse-Width Modulation

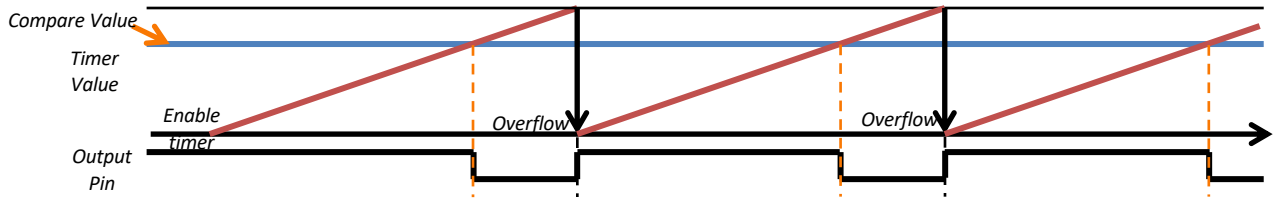
- Usos de PWM
  - Los amplificadores de potencia digitales son más eficientes y menos costosos que los amplificadores de potencia analógicos
    - Aplicaciones: control de velocidad del motor, atenuador de luz, conversión de potencia en modo conmutado
    - La carga (motor, luz, etc.) responde lentamente, promedia la señal PWM
  - La comunicación digital es menos sensible al ruido que la analógica.
    - **PWM proporciona una codificación digital de un valor analógico**
    - Mucho menos vulnerable al ruido.
- Características de la señal PWM
  - **Frecuencia de modulación:** cuántos pulsos se producen por segundo (fijo) **TIMx\_ARR**
  - **Periodo:** 1 / (frecuencia de modulación)
  - **On-time:** cantidad de tiempo que cada pulso está activado (afirmado) **TIMx\_CCRx**



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# PWM Mode



- Ciclo de trabajo de PWM proporcional al valor (de comparación)
  - Período = valor máximo del temporizador
  - Ancho de pulso = valor (de comparación)

*Compare Value*

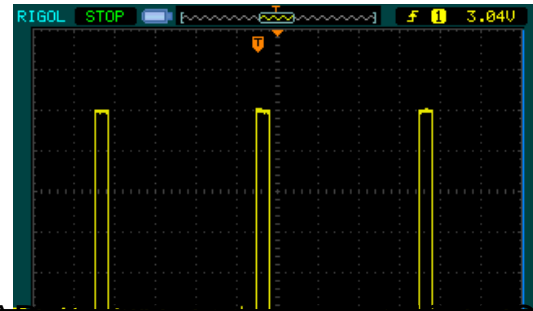
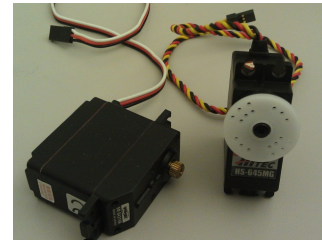
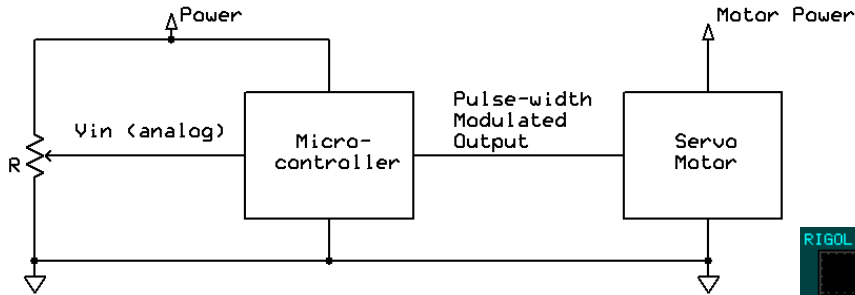
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



# PWM para controlar un servomotor



- Señal PWM para servo
  - Período: 20 ms period
  - Ancho de pulso: 1 a 2 ms

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# SysTick

- El procesador tiene un temporizador de sistema de 24 bits, **SysTick**, que realiza una cuenta regresiva desde el valor de recarga a cero, se vuelve a cargar, es decir, carga el valor en el registro SYST\_RVR en el siguiente flanco del reloj, y luego cuenta hacia atrás en los flancos de reloj posteriores.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# ¿Cómo se utilizan los temporizadores?

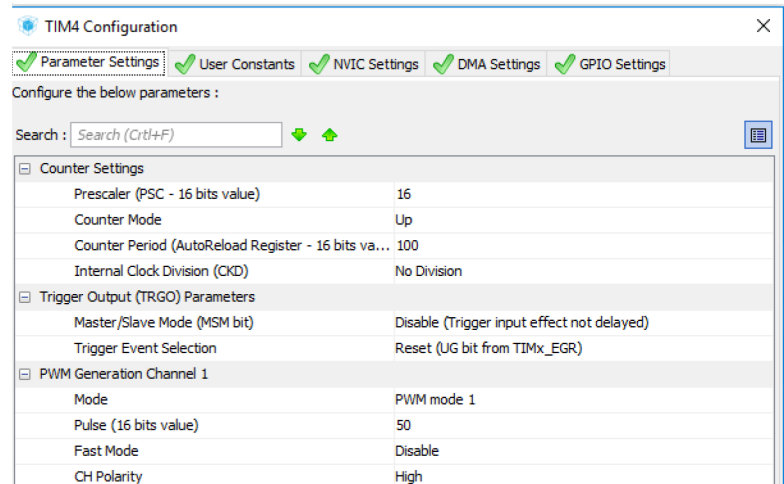
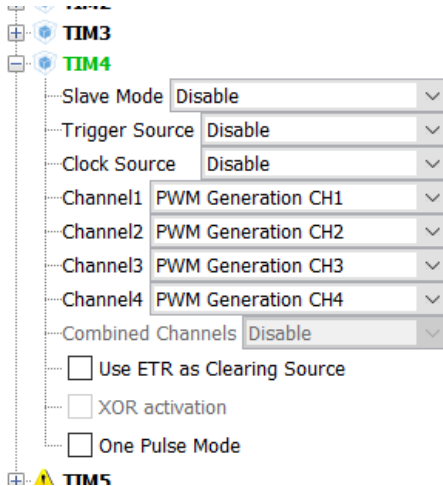
- **Retraso preciso** (i.e. 100)
  - Lea el temporizador, almacene el valor como K. Haga un bucle hasta que el temporizador alcance  $K + 100$ .
- **Programar eventos importantes**
  - Configure una comparación de salida para activar una interrupción en un momento preciso
- **Medir el tiempo entre eventos**
  - Cuando ocurre el evento # 1, almacene el valor del temporizador como K
  - Cuando ocurre el evento # 2, lea el valor del temporizador y reste K
  - La diferencia es el tiempo transcurrido entre los dos eventos.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Ejemplo PWM



```
HAL_TIM_PWM_Start  
(&htim4, TIM_CHANNEL_1);
```

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



## Ejemplo: Cronómetro

- Medir el tiempo con 100us de resolución.
- Muestra el tiempo transcurrido, actualizando la pantalla cada 10 ms.
- Controles
  - S1: alternar inicio / parada
- Usar temporizador de interrupción
  - Contador se incrementa cada 100us
    - Ajustado al temporizador para que expire cada 100us.
    - Calcular el valor máximo, por ejemplo, a 24 MHz = ronda ( $100 \text{ us} * 24 \text{ MHz} - 1$ ) = 2399
  - Actualización de LCD cada 10 ms
    - Actualizar LCD cada “n” interrupciones ISR
    - $n = 10\text{ms}/100\text{us} = 100$
    - ¡No actualices LCD en ISR! Demasiado lento.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70