

# Tema 5

Periféricos: sensores y  
actuadores

# Temario

1. Sistemas empuotrados: ámbitos de aplicación y flujo de diseño (2 horas)
  2. Microprocesadores, microcontroladores y procesadores de señal digital (4+1 horas)
  3. Subsistema de memoria en sistemas empuotrados. (3+1 horas)
  4. Buses industriales. (2+2 horas)
  - 5. Periféricos: sensores y actuadores. (3+1 horas)**
  6. Integración, coste y prestaciones. (8+2 horas)
  7. Casos prácticos. (8+3 horas)
- Prácticas: 3-4 prácticas con el entorno EDK Xilinx y placas de Spartan 3 (10 horas)

# Bibliografía

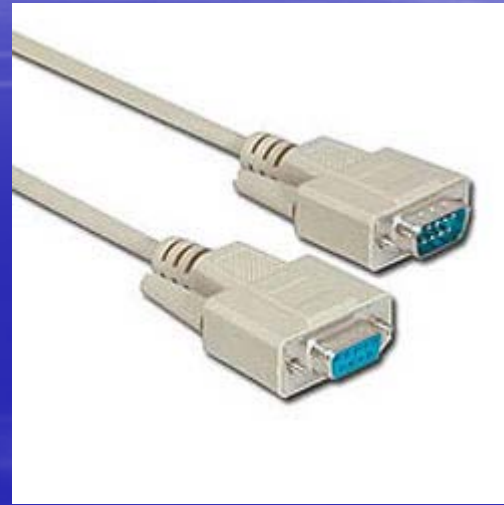
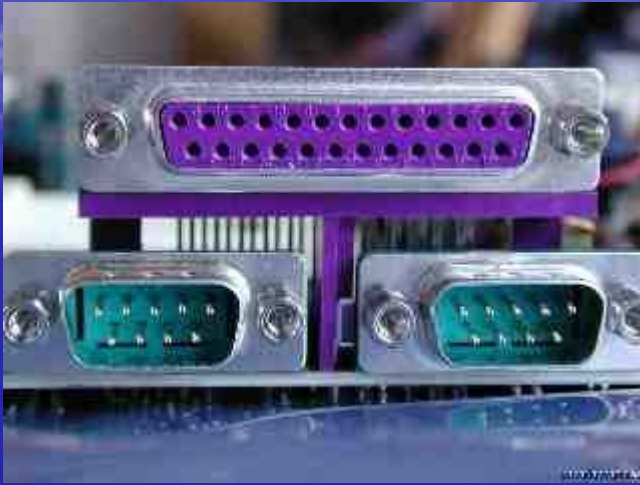
## Bibliografía básica

- **Embedded Systems Design, Capítulo 5.** Autor: Steve Heath, Editorial Elsevier Science & Technology, 2nd Edition, 2002, 978-0750655460
- **Computers as components: principles of embedded computing system design. Capítulo 4.** Autor: Marilyn Wolf. San Francisco, Editorial: Morgan Kaufmann Publishers, 4th Edition, 2016, ISBN: 9780128053874
- **Manual de prácticas Sistemas Empotrados (guión práctica 5)**

## Bibliografía complementaria

- **Embedded hardware., know it all** / Jack Ganssle, Tammy Noergaard, Fred Eady, Lewin Edwards, David J. Katz, Amsterdam, Elsevier/Newnes, cop. 2008 (Capítulos 4, 8 y 9)
- **Embedded Microcomputer Systems: Real Time Interfacing** (3rd. edition). Jonathan W. Valvano. CL Engineering. ISBN: 1111426252 (temas 8 y 11)

# Entrada/Salida



# Indice

## Periféricos: sensores y actuadores. (3 +1 horas)

### **5.1 Interfaz digital**

5.1.1 Protección de entradas digitales

5.1.2 Expansión de entradas digitales

5.1.3 Expansión de salidas digitales

5.1.4 Salidas de grandes corrientes

### 5.2 Interfaz analógico

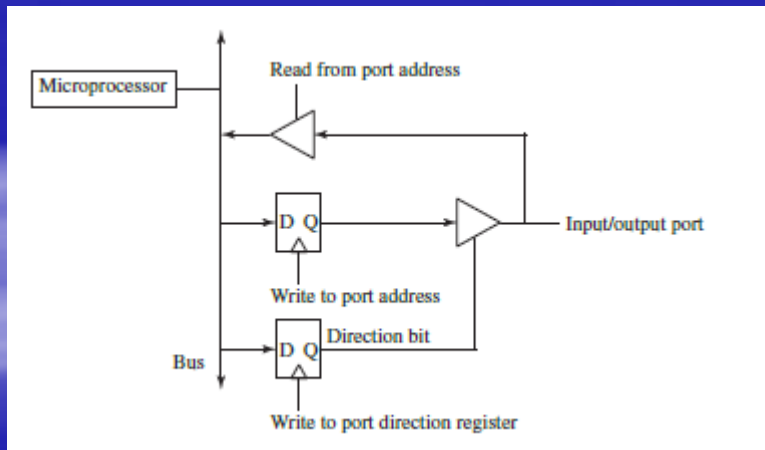
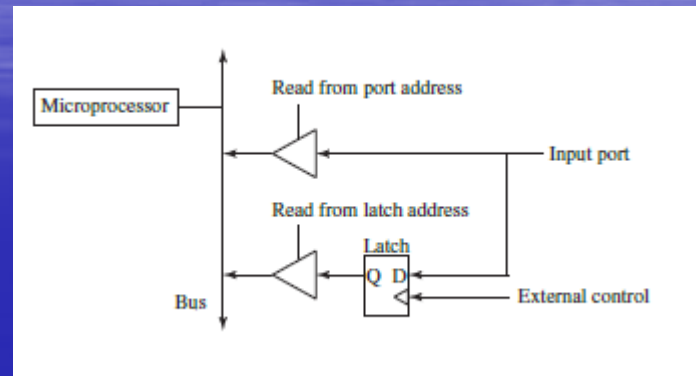
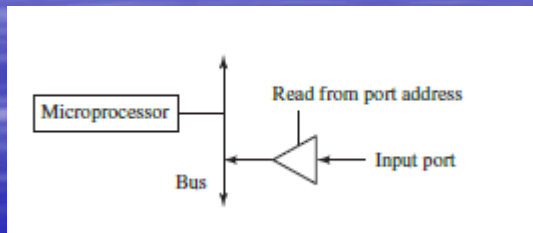
5.2.1 Sensores: temperatura, humedad, giróscopo, aceleración, luminosidad, proximidad, humo

5.2.2 Actuadores: vga, leds, displays, motor continua, motor paso a paso, servomotor, lcd, altavoz, zumbador

5.2.3 Conversores A/D y D/A. PWM

### 5.3 Procesamiento de señal

# 5.1 Interfaz digital

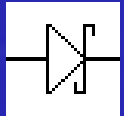




# 5.1 Interfaz digital

## Lógica TTL (5v)

TTL ej. SN7400  
TTL-L bajo consumo ej. S74L02  
TTL-H alta velocidad ej. SN74H10  
TTL – S Schottky ej. DM74S07  
TTL –LS Schot. bajo consumo ej. S74LS07



Diodo Schottky:  
Rápido  
Tensión umbral 0.2-0.4v

Problema: los CI TTL se siguen usando

SN Texas  
DM National Semiconductor  
S Signetics

## Lógica CMOS (1.5-3.3v)

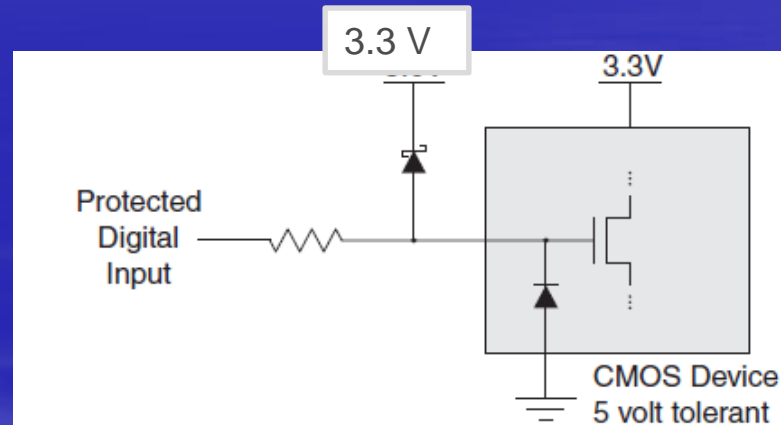
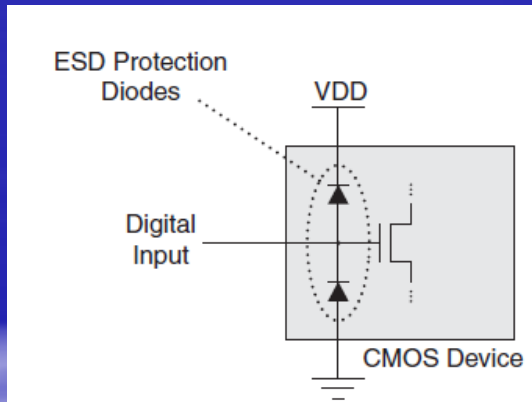
74C  
74HC alta velocidad  
74HCT alta velocidad y  
compatible con voltajes  
TTL

| Logic Families |                    |      |                    |      |      |      | TinyLogic™ Single-Gate Devices |      |                    |
|----------------|--------------------|------|--------------------|------|------|------|--------------------------------|------|--------------------|
|                | HC                 | HCT  | VHC                | VHCT | LVT  | LVX  | HS                             | HST  | UHS                |
| $V_{IH(MIN)}$  | $0.7 \cdot V_{CC}$ | 2.0V | $0.7 \cdot V_{CC}$ | 2.0V | 2.0V | 2.0V | $0.7 \cdot V_{CC}$             | 2.0V | $0.7 \cdot V_{CC}$ |

# Interfaz digital

## 5.1.1 Protección de entradas digitales

Los diodos ESD (Electro Static Discharge) suelen usarse para proteger las entradas de 3.3v

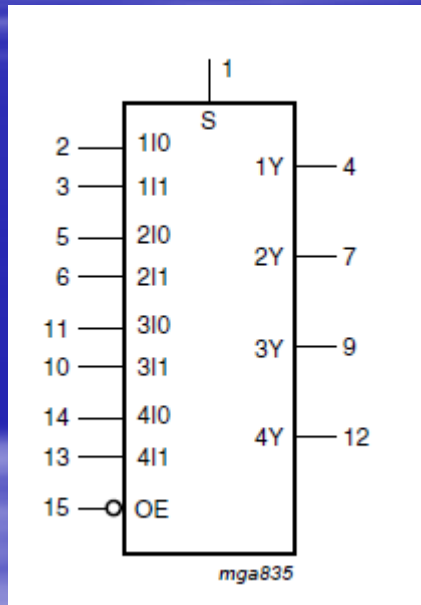




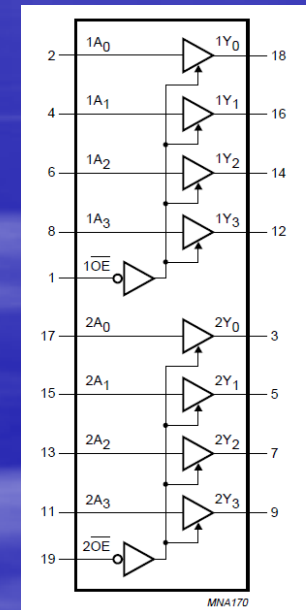
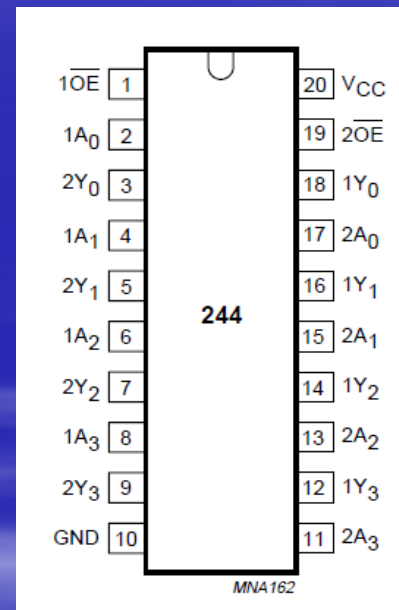
# Interfaz digital

## 5.1.2 Expansión de entradas digitales

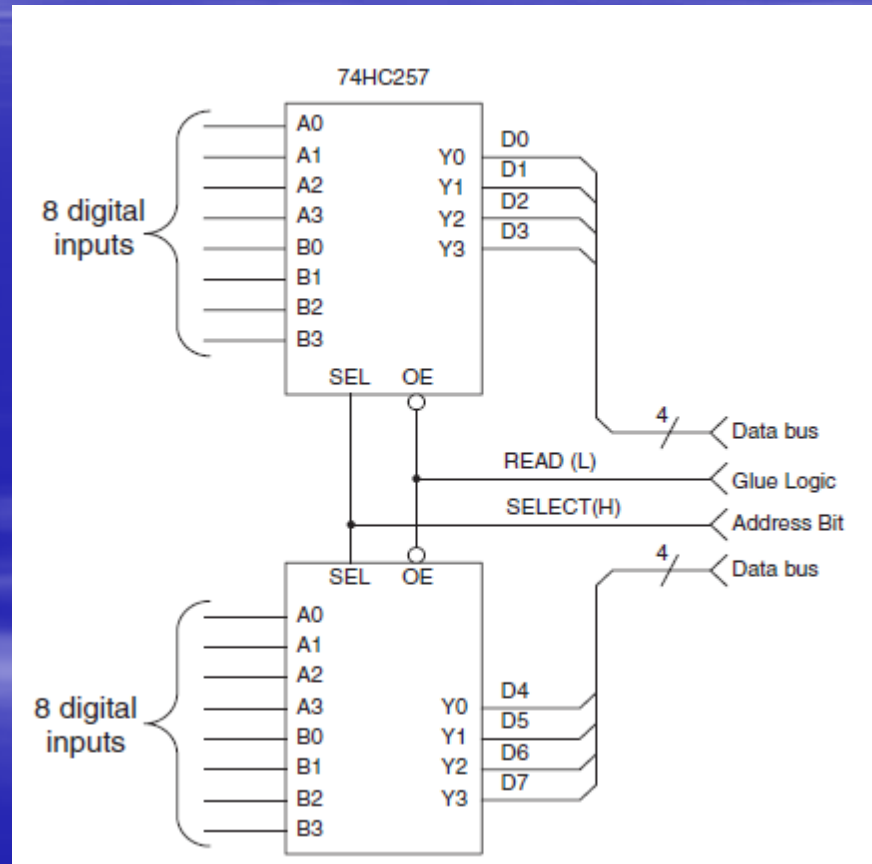
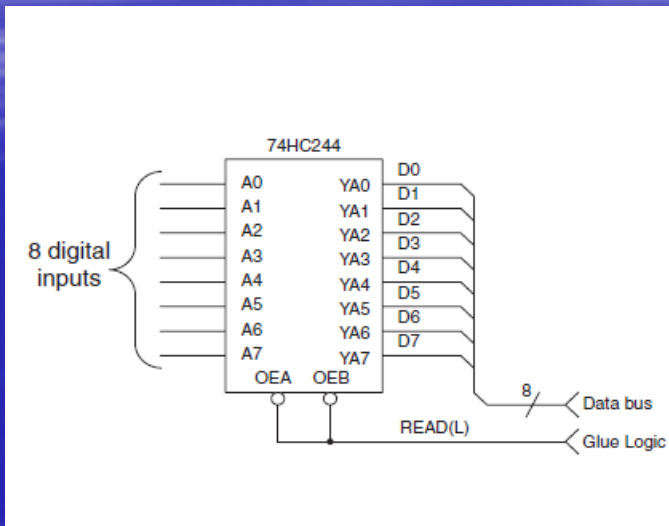
74257 mux 2 a 1 (4 bits)



74244 buffer octal 3-state



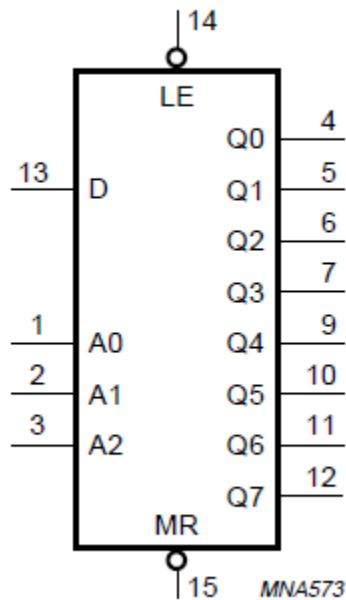
# Interfaz digital



# Interfaz digital

## 5.1.3 Expansión de salidas digitales

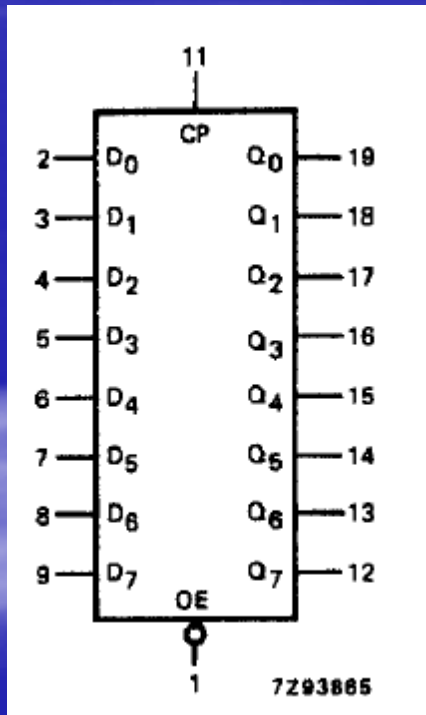
74HC259 Latch direccionable de 8 bits



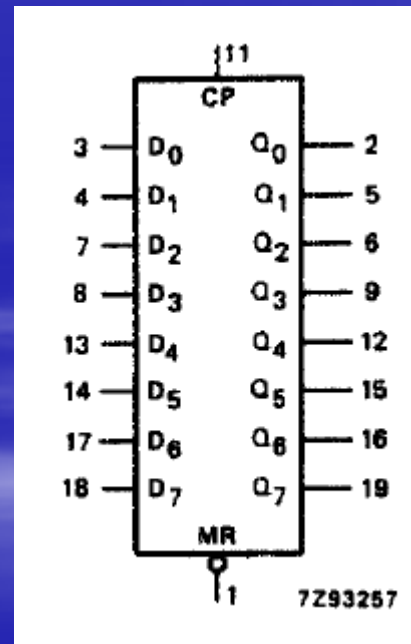
| OPERATING MODE  | INPUTS |    |   |    |    |    | OUTPUTS        |                |                |                |                |                |                |                |
|---|--------|----|---|----|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | MR     | LE | D | A0 | A1 | A2 | Q0             | Q1             | Q2             | Q3             | Q4             | Q5             | Q6             | Q7             |
| reset   | L      | H  | X | X  | X  | X  | L              | L              | L              | L              | L              | L              | L              | L              |
| demultiplexer<br>(active HIGH<br>8-channel)<br>decoder (when D = H) | L      | L  | d | L  | L  | L  | Q = d          | L              | L              | L              | L              | L              | L              | L              |
|   |        |    | d | H  | L  | L  | L              | Q = d          | L              | L              | L              | L              | L              | L              |
|   |        |    | d | L  | H  | L  | L              | L              | Q = d          | L              | L              | L              | L              | L              |
|   |        |    | d | H  | H  | L  | L              | L              | L              | Q = d          | L              | L              | L              | L              |
|   |        |    | d | L  | L  | H  | L              | L              | L              | L              | Q = d          | L              | L              | L              |
|   |        |    | d | H  | L  | H  | L              | L              | L              | L              | L              | Q = d          | L              | L              |
|   |        |    | d | L  | H  | H  | L              | L              | L              | L              | L              | L              | Q = d          | L              |
| memory (do nothing)   | H      | H  | X | X  | X  | X  | q <sub>0</sub> | q <sub>1</sub> | q <sub>2</sub> | q <sub>3</sub> | q <sub>4</sub> | q <sub>5</sub> | q <sub>6</sub> | q <sub>7</sub> |
| addressable latch   | H      | L  | d | L  | L  | L  | Q = d          | q <sub>1</sub> | q <sub>2</sub> | q <sub>3</sub> | q <sub>4</sub> | q <sub>5</sub> | q <sub>6</sub> | q <sub>7</sub> |
|   |        |    | d | H  | L  | L  | q <sub>0</sub> | Q = d          | q <sub>2</sub> | q <sub>3</sub> | q <sub>4</sub> | q <sub>5</sub> | q <sub>6</sub> | q <sub>7</sub> |
|   |        |    | d | L  | H  | L  | q <sub>0</sub> | q <sub>1</sub> | Q = d          | q <sub>3</sub> | q <sub>4</sub> | q <sub>5</sub> | q <sub>6</sub> | q <sub>7</sub> |
|   |        |    | d | H  | H  | L  | q <sub>0</sub> | q <sub>1</sub> | q <sub>2</sub> | Q = d          | q <sub>4</sub> | q <sub>5</sub> | q <sub>6</sub> | q <sub>7</sub> |
|   |        |    | d | L  | L  | H  | q <sub>0</sub> | q <sub>1</sub> | q <sub>2</sub> | q <sub>3</sub> | Q = d          | q <sub>5</sub> | q <sub>6</sub> | q <sub>7</sub> |
|   |        |    | d | H  | L  | H  | q <sub>0</sub> | q <sub>1</sub> | q <sub>2</sub> | q <sub>3</sub> | q <sub>4</sub> | Q = d          | q <sub>6</sub> | q <sub>7</sub> |
|   |        |    | d | L  | H  | H  | q <sub>0</sub> | q <sub>1</sub> | q <sub>2</sub> | q <sub>3</sub> | q <sub>4</sub> | q <sub>5</sub> | Q = d          | q <sub>7</sub> |

# Interfaz digital

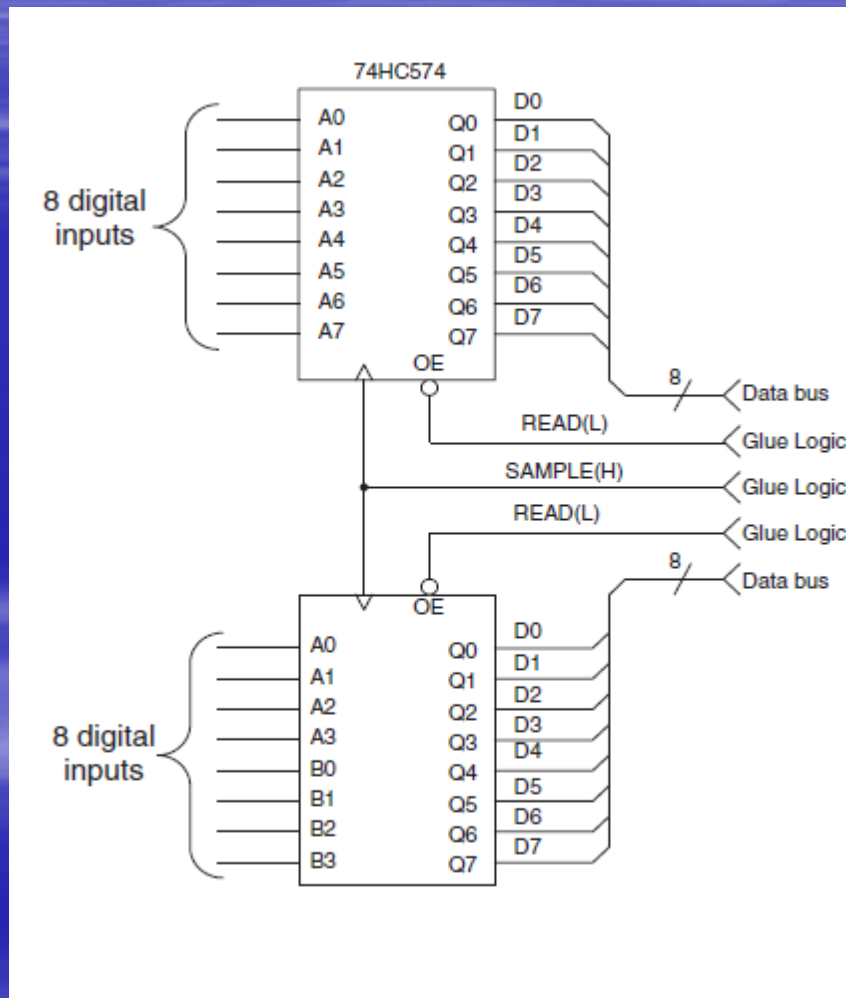
74 HC 574 Flip-flop octal 3-state



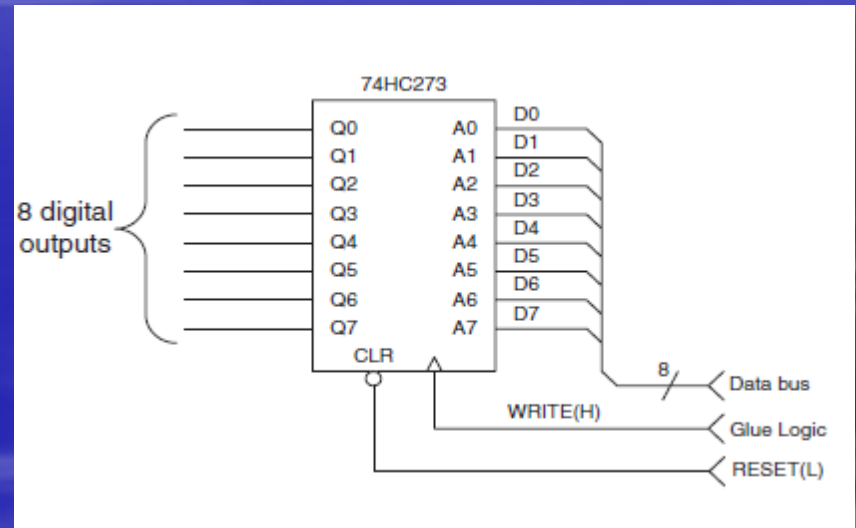
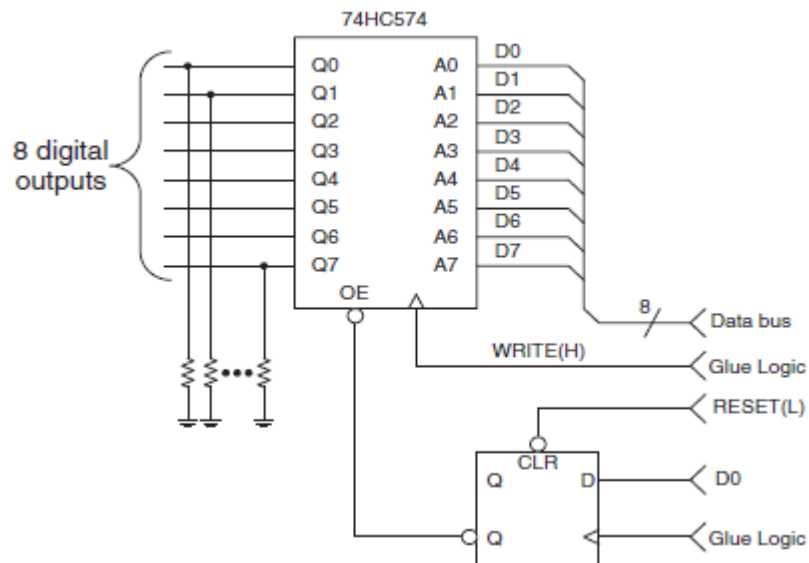
74HC273 Flip-flop octal con reset



# Interfaz digital

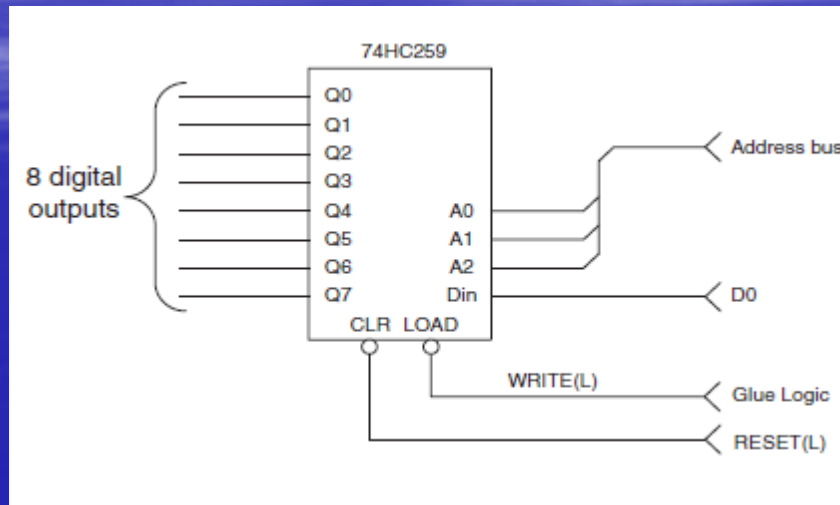


# Interfaz digital



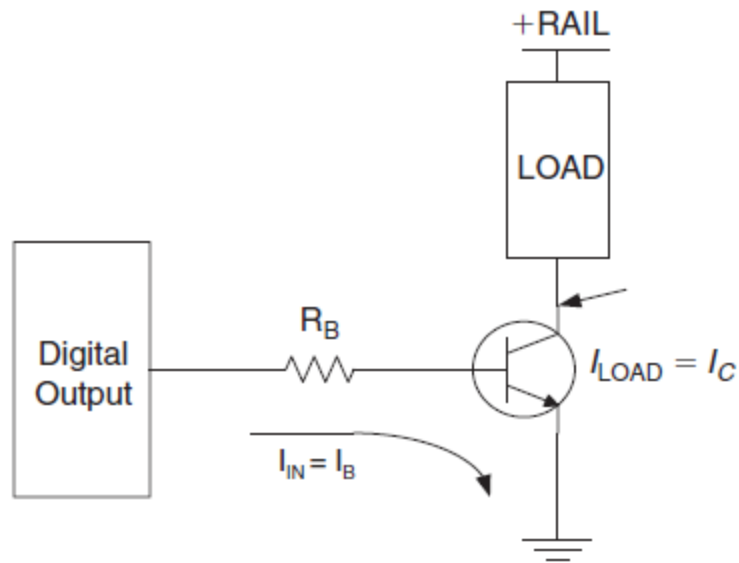


# Interfaz digital



# Interfaz digital

## 5.1.4 Salidas de grandes corrientes



BJT Bipolar Junction Transistor

# Indice

## Periféricos: sensores y actuadores. (3 +1 horas)

### 5.1 Interfaz digital

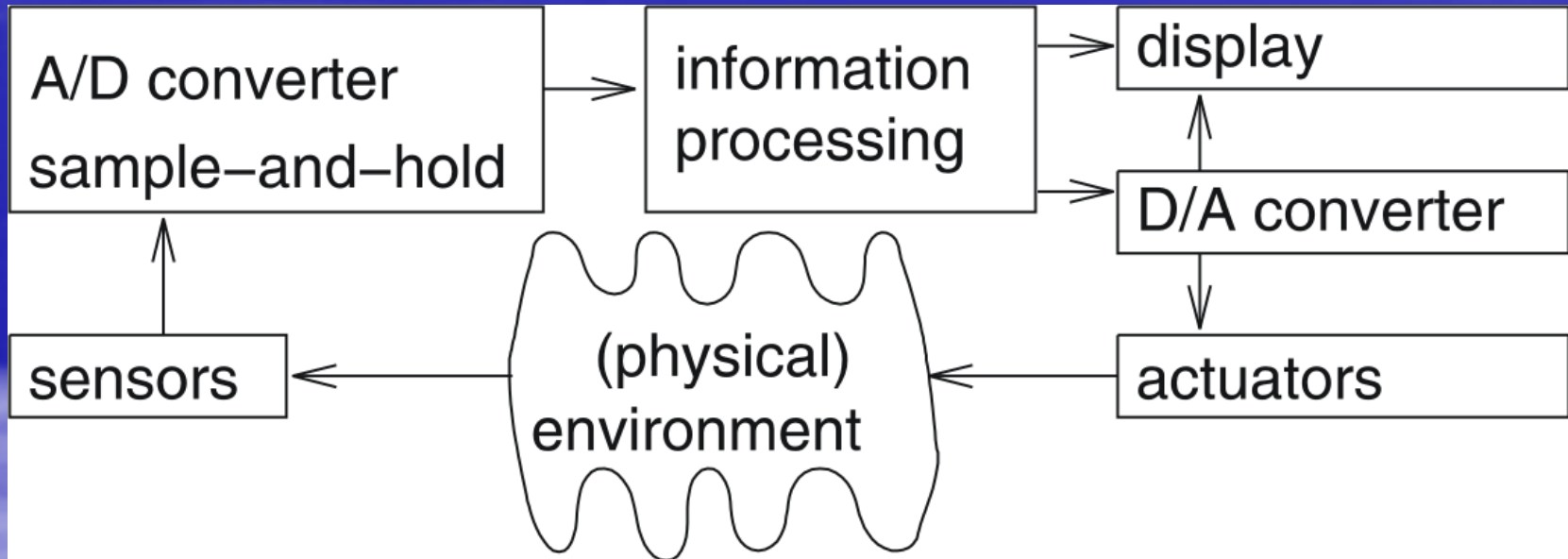
- 5.1.1 Protección de entradas digitales
- 5.1.2 Expansión de entradas digitales
- 5.1.3 Expansión de salidas digitales
- 5.1.4 Salidas de grandes corrientes

### 5.2 Interfaz analógico

- 5.2.1 Sensores: temperatura, humedad, giróscopo, aceleración, luminosidad, proximidad, humo
- 5.2.2 Actuadores: vga, leds, displays, motor continua, motor paso a paso, servomotor, lcd, altavoz, zumbador
- 5.2.3 Conversores A/D y D/A. PWM

### 5.3 Procesamiento de señal

## 5.2 Interfaz analógico



# Interfaz analógico

## 5.1 Sensores

## Sensor aceleración

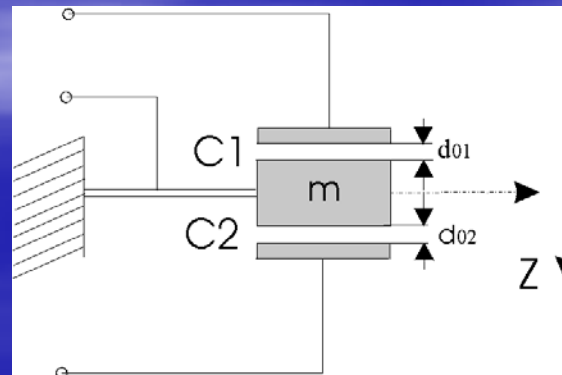
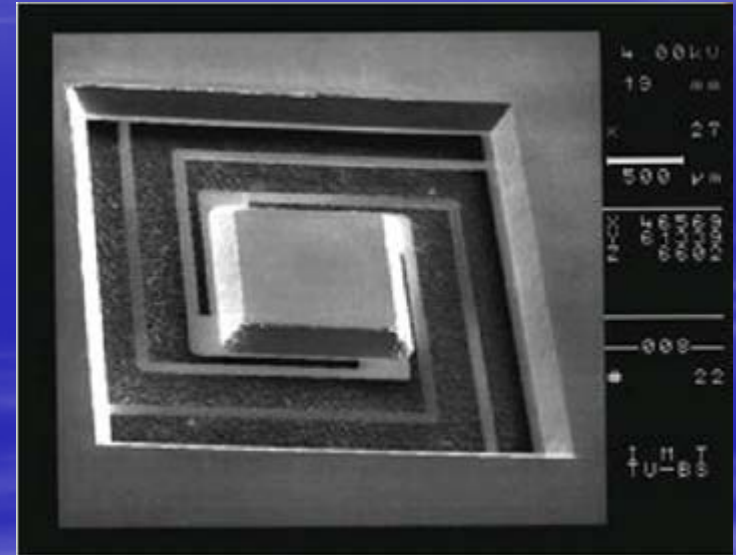


# Tecnología MEMS (microelectromechanical System)

## Una pequeña masa en el centro

Al acelerar la masa se desplaza del centro  
La resistencia de los cables conectados a la  
masa cambia

## También basados en condensadores

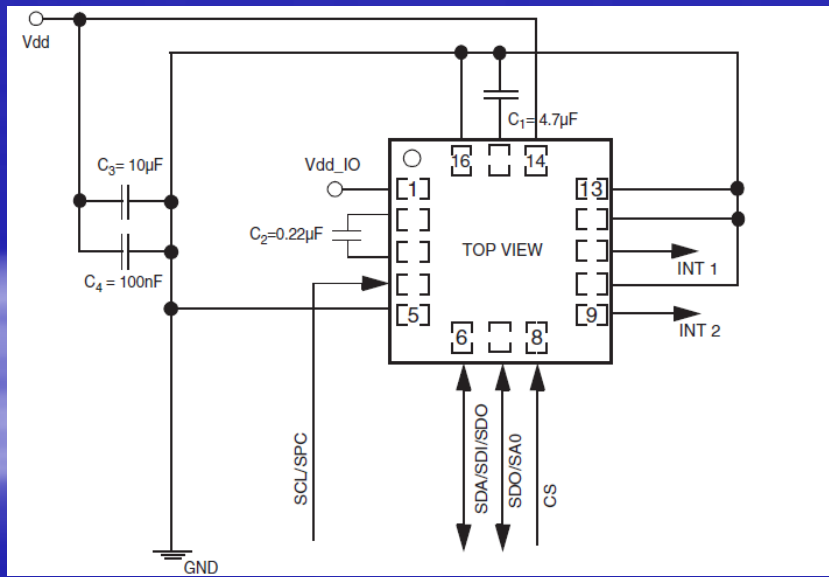


# Interfaz analógico

## Ej. LSM303D

(3D accelerometer and 3D magnetometer module)

Se comunica con protocolo SPI o I2C

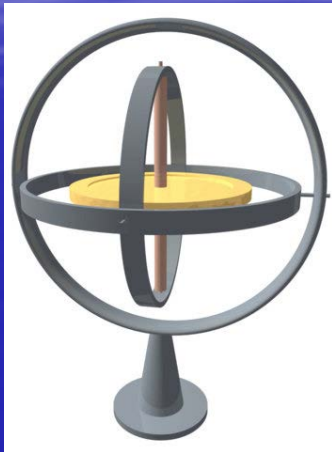


Uso en navegación, orientación, airbag



# Interfaz analógico

## Giróscopo

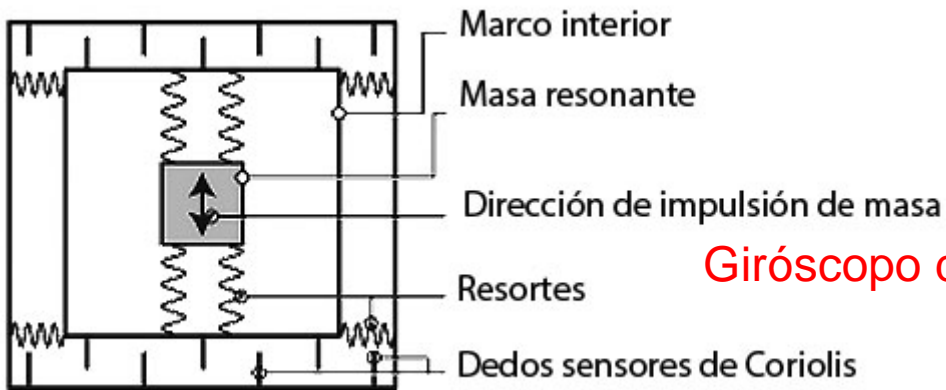


Uso: posicionamiento de satélites, estabilizador de imágenes en cámaras, Juegos –Wii-

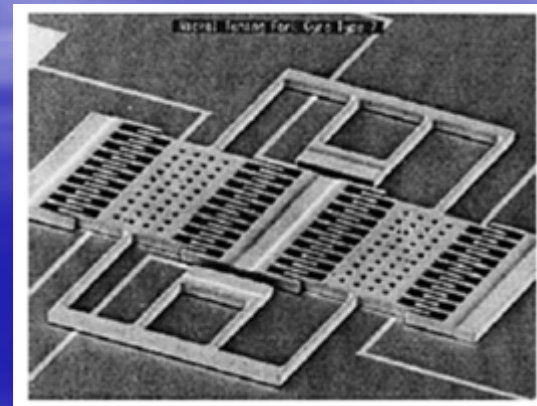
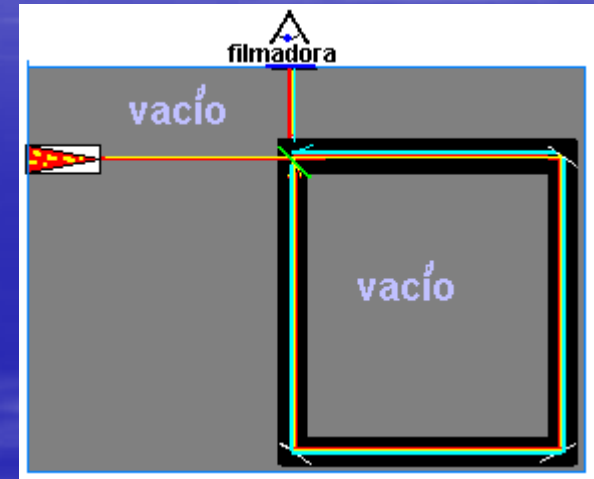
[Ver video](#)

# Interfaz analógico

## Giróscopo óptico



## Giróscopo de estructura vibrante MEMS



# Interfaz analógico

Ej. L3GD20H: giróscopo digital de 3 ejes



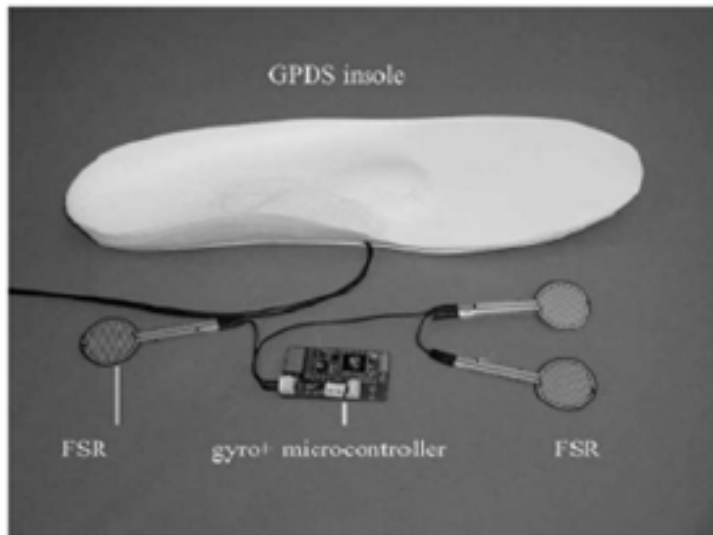
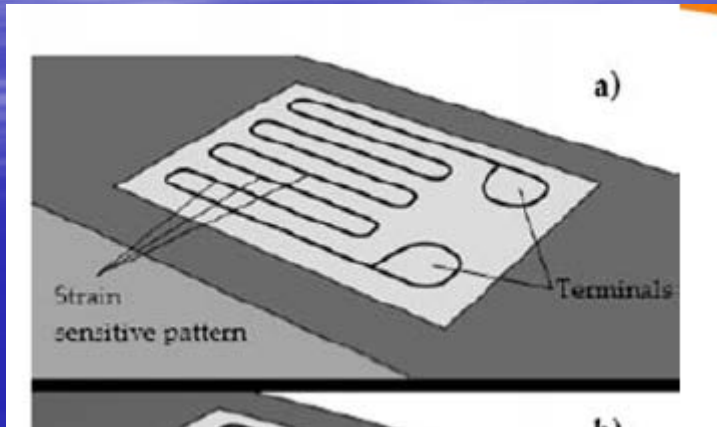
Interfaz digital I2C o SPI

# Interfaz analógico

Un **sistema de navegación inercial** es una combinación de:  
**GPS** - Sistema de posicionamiento global -24 satélites  
Un giróscopo para medir la orientación (3 dimensiones)  
Un acelerómetro de 3 dimensiones para medir la posición

# Interfaz analógico

Indicador de tensión grietas en edificios



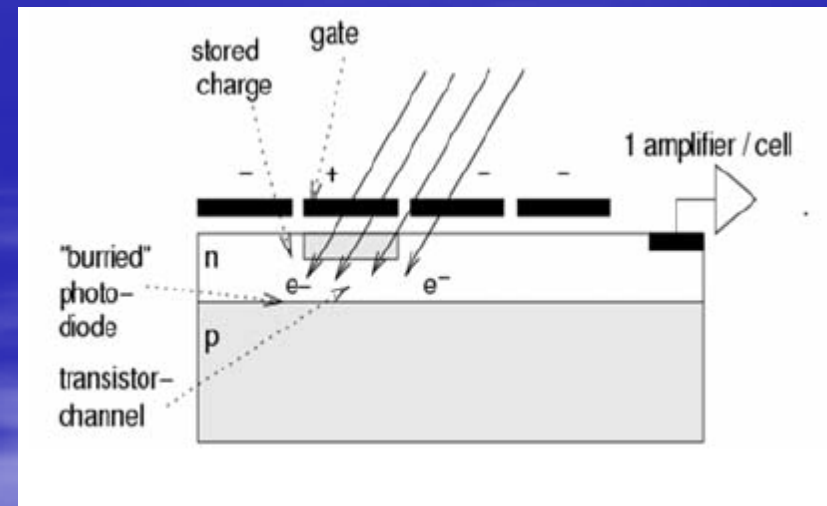
Detector velocidad angular -> Pies ortopédicos (activa nervios a través de FES- Functional electrical Stimulator)



# Interfaz analógico

CCD Charge coupled devices: basado en capacitores photoactivos  
Imágenes en color: filtros Bayer      Cámaras digitales

Sensor de lluvia: riego



Sensor de proximidad

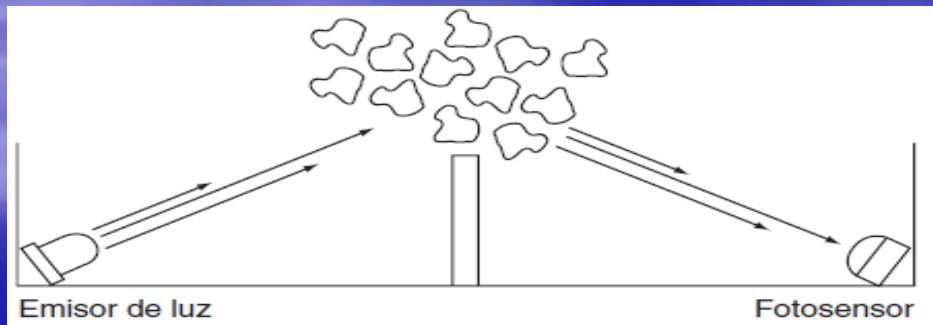
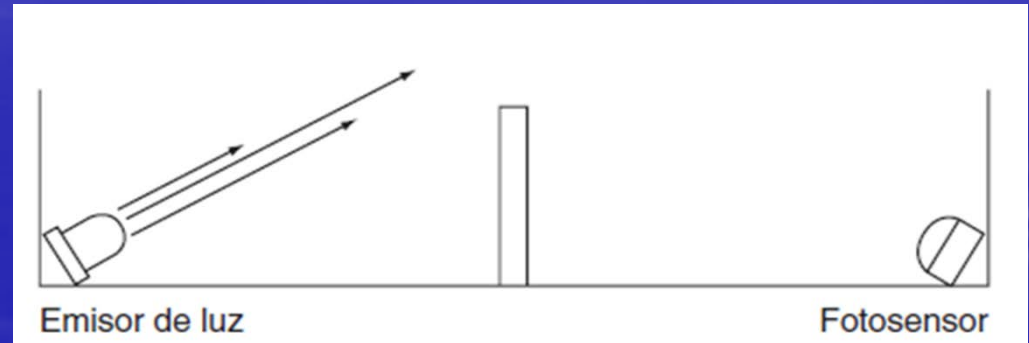


**GP2Y0A21YK**  
(Infrarrojos)



# Interfaz analógico

Sensor de humo: refracción y reflexión de ondas de luz en presencia de humo

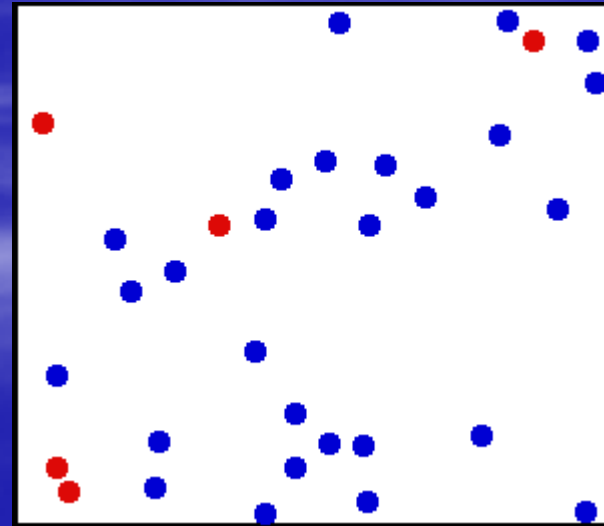


# Interfaz analógico

Sensor termal:

Basados en la dilatación de los cuerpos por calor (mercurio)

El platino tiene la propiedad de aumentar su resistencia eléctrica a medida que aumenta la temperatura).



# Indice

## Periféricos: sensores y actuadores. (3 +1 horas)

### 5.1 Interfaz digital

- 5.1.1 Protección de entradas digitales
- 5.1.2 Expansión de entradas digitales
- 5.1.3 Expansión de salidas digitales
- 5.1.4 Salidas de grandes corrientes

### 5.2 Interfaz analógico

- 5.2.1 Sensores: temperatura, humedad, giróscopo, aceleración, luminosidad, proximidad, humo
- 5.2.2 Actuadores: vga, leds, displays, motor continua, motor paso a paso, servomotor, lcd, altavoz, zumbador
- 5.2.3 Conversores A/D y D/A. PWM

### 5.3 Procesamiento de señal

# Interfaz analógico

## 5.2.2 Actuadores:

Convierten una señal digital en un estímulo físico.

Tipos:

**Actuadores de control industrial:** sistemas neumáticos, movimiento

**Actuadores ópticos:** leds, lcd, display

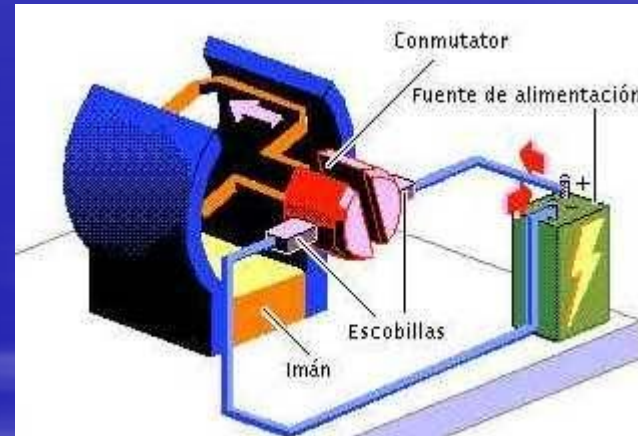
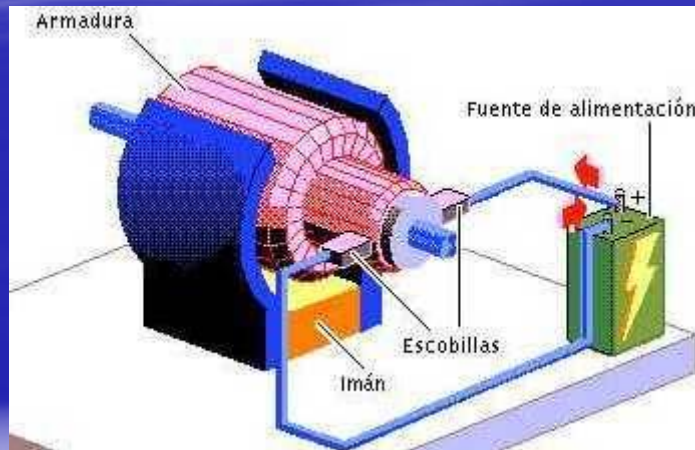
**Actuadores motores:** corriente continua, servo-motor, motor paso a paso

**Actuadores acústicos:** altavoz, zumbador

etc

# Interfaz analógico

## 5.2.2 Actuadores: motor continua



# Interfaz analógico

## 5.2.2 Actuadores: motor paso a paso (stepper)

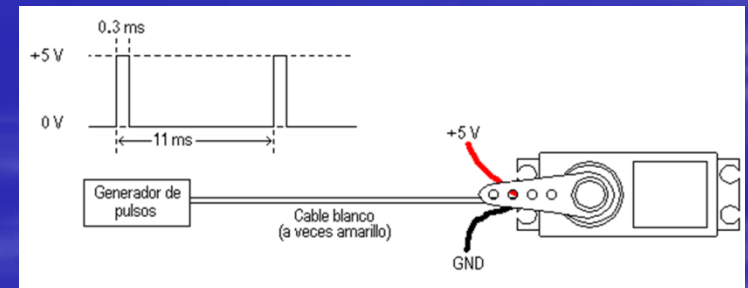
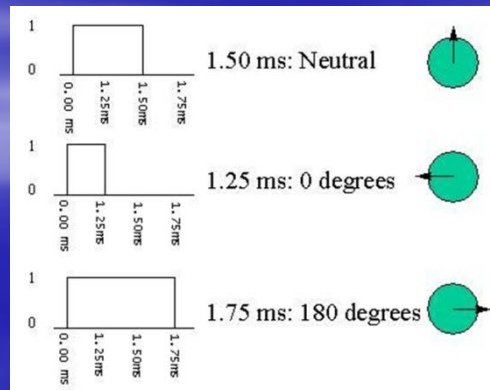
Rota un número fijo de grados al recibir una señal escalón



# Interfaz analógico

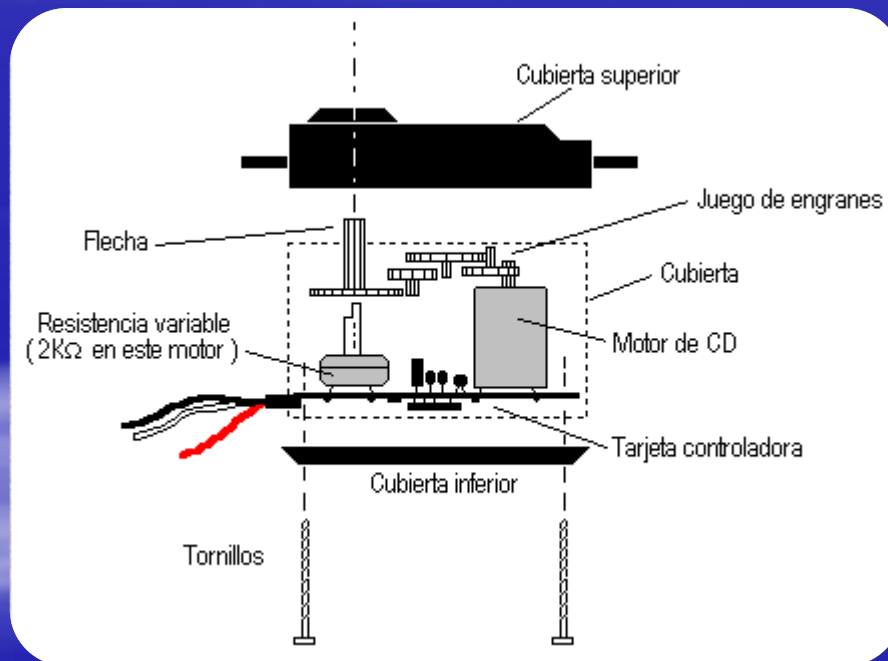
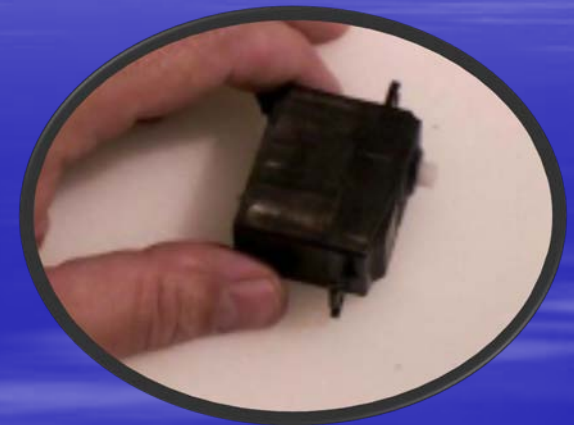
## 5.2.2 Actuadores: servo motor

Es un sistema en lazo cerrado (servo-sistema)  
Ej. Posicionamiento cabeza en discos duros



El valor del ancho de pulso depende de cada dispositivo en particular

# Interfaz analógico



# Interfaz analógico

| Fabricante  | Duración del pulso [ms] |               |               | Frec. [Hz] | Color de los cables |          |          |
|-------------|-------------------------|---------------|---------------|------------|---------------------|----------|----------|
|             | Mínima (0°)             | Neutral (90°) | Máxima (180°) |            | Positivo            | Negativo | Control  |
| Futaba      | 0.9                     | 1.5           | 2.1           | 50         | Rojo                | Negro    | Blanco   |
| Hitech      | 0.9                     | 1.5           | 2.1           | 50         | Rojo                | Negro    | Amarillo |
| Graupner/Jr | 0.8                     | 1.5           | 2.2           | 50         | Rojo                | Marrón   | Naranja  |
| Multiplex   | 1.05                    | 1.6           | 2.15          | 40         | Rojo                | Negro    | Amarillo |
| Robbe       | 0.65                    | 1.3           | 1.95          | 50         | Rojo                | Negro    | Blanco   |
| Simprop     | 1.2                     | 1.7           | 2.2           | 50         | Rojo                | Azul     | Negro    |

# Indice

## Periféricos: sensores y actuadores. (3 +1 horas)

### 5.1 Interfaz digital

5.1.1 Protección de entradas digitales

5.1.2 Expansión de entradas digitales

5.1.3 Expansión de salidas digitales

5.1.4 Salidas de grandes corrientes

### 5.2 Interfaz analógico

5.2.1 Sensores: temperatura, humedad, giróscopo, aceleración, luminosidad, proximidad, humo

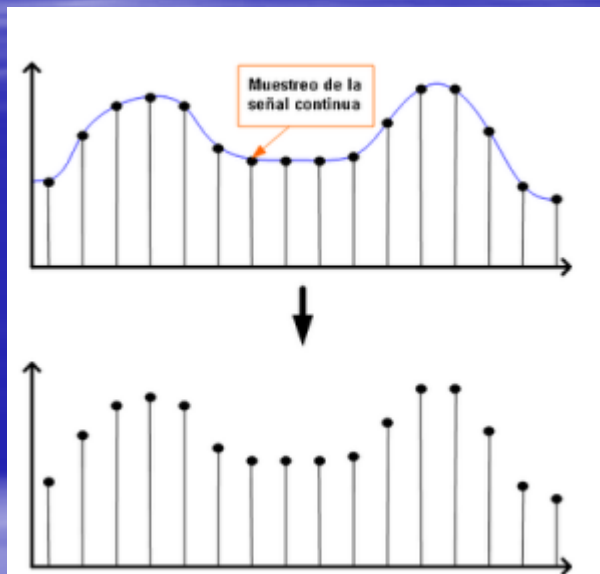
5.2.2 Actuadores: vga, leds, displays, motor continua, motor paso a paso, servomotor, lcd, altavoz, zumbador

5.2.3 Conversores A/D y D/A. PWM

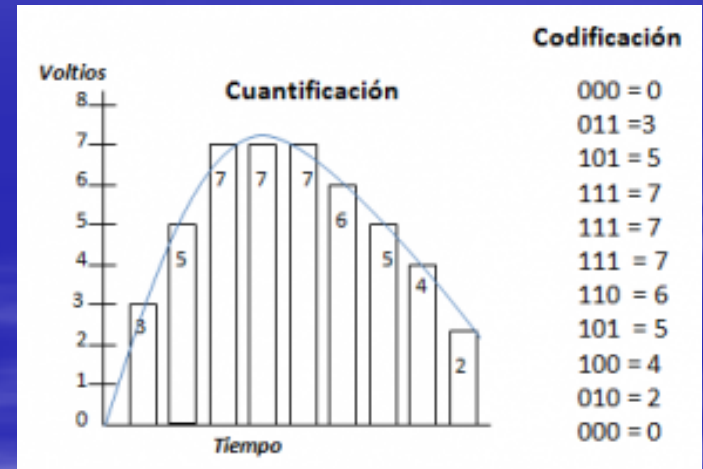
### 5.3 Procesamiento de señal

# Interfaz analógico

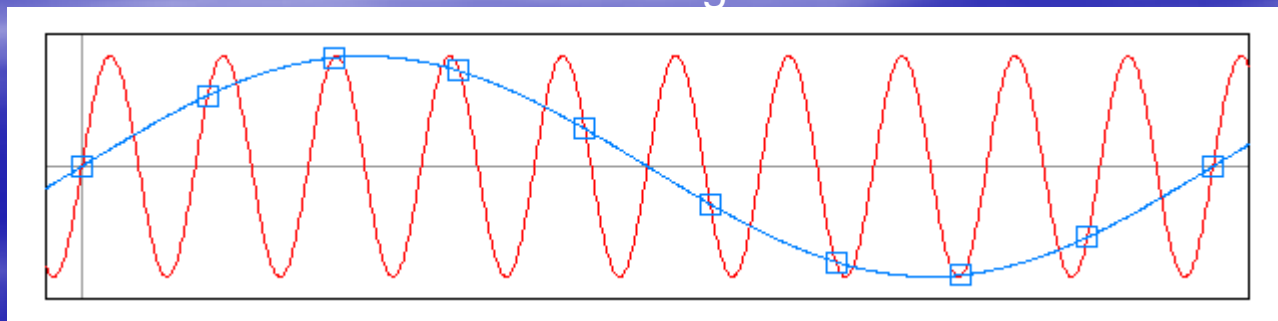
## 5.2.3 Conversores analógicos-digitales y digitales- analógicos



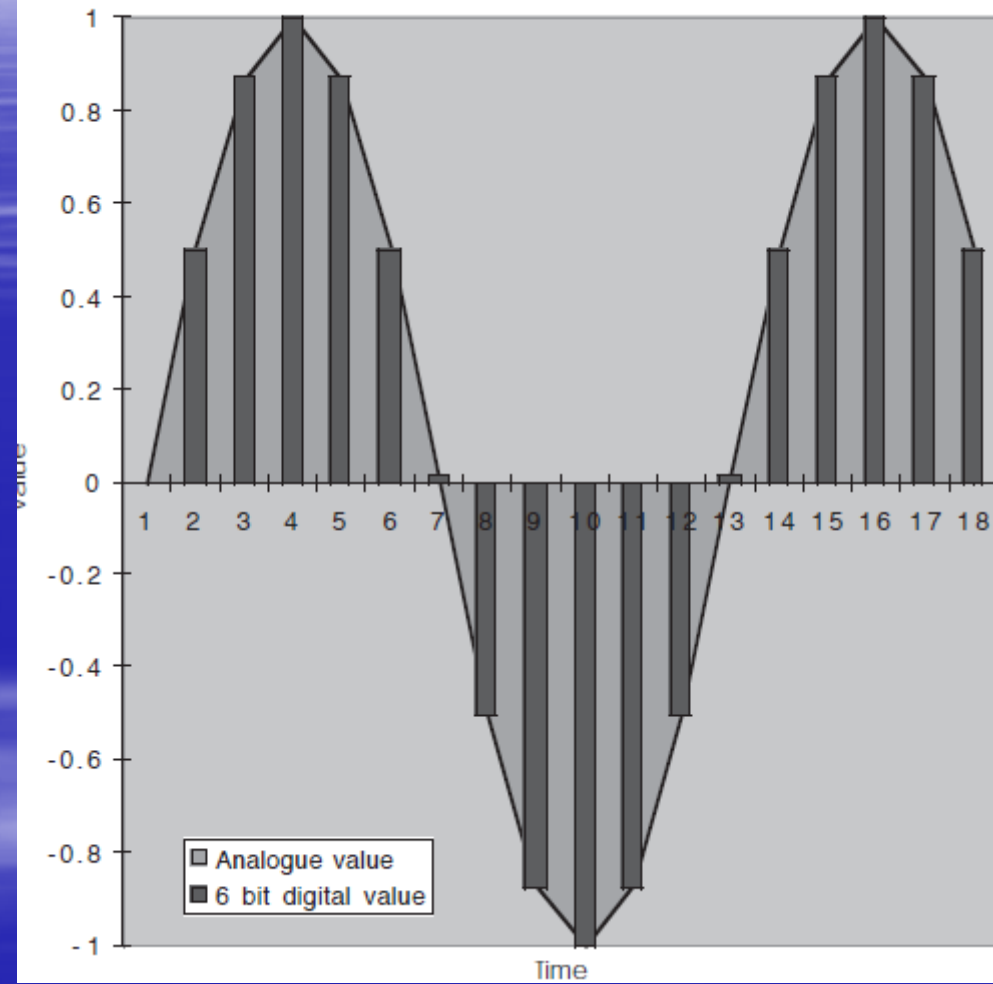
Cuantificación



Aliasing



Basic A to D conversion





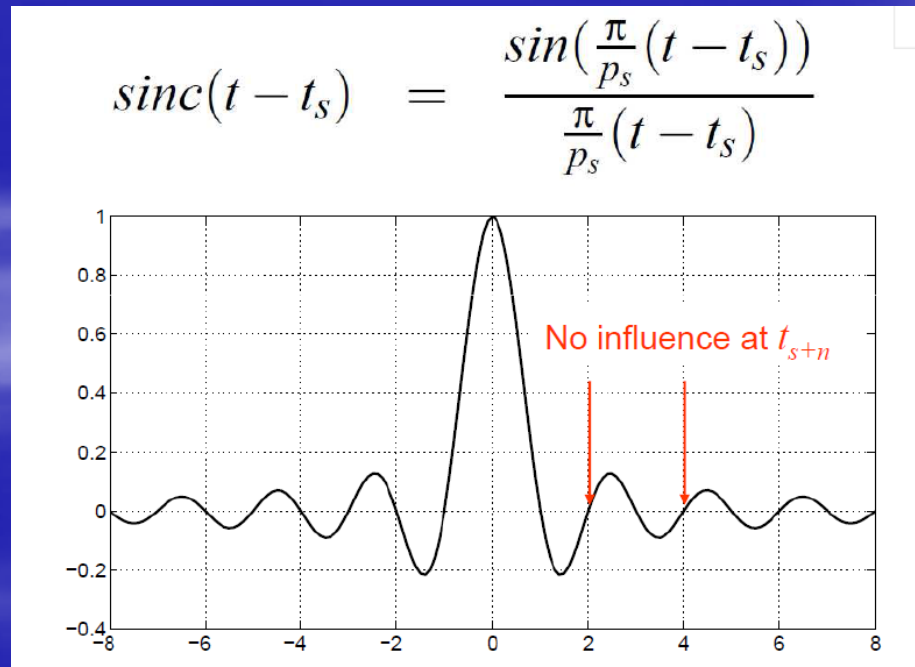
# Interfaz analógico

Mediante muestreo es posible reconstruir una señal utilizando interpolación

$$z(t) = \sum_{s=-\infty}^{\infty} \frac{y(t_s) \sin \frac{\pi}{p_s} (t - t_s)}{\frac{\pi}{p_s} (t - t_s)}$$

Weighting factor for influence of  $y(t_s)$  at time  $t$

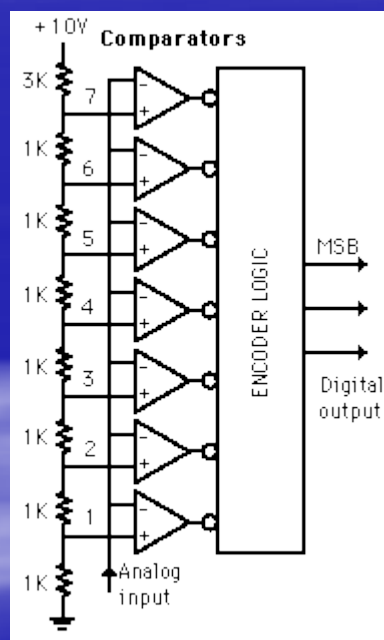
[Copyright]



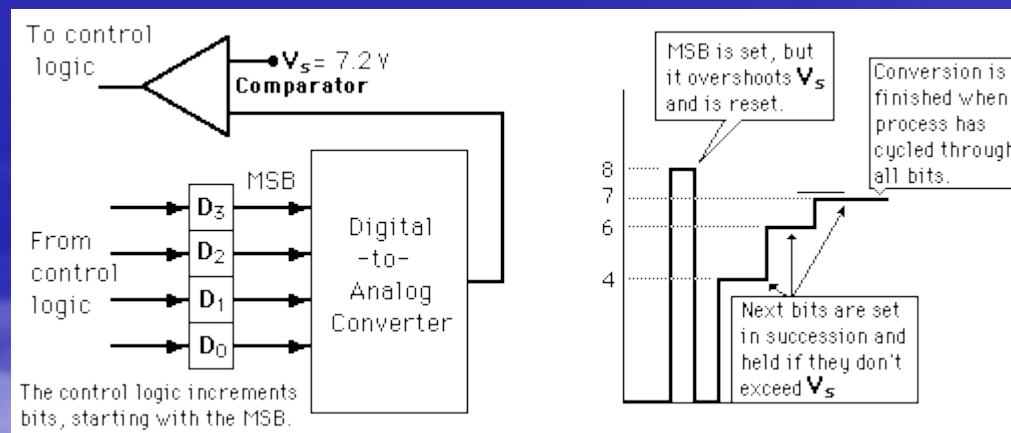
# Interfaz analógico

## Conversores analógicos-digitales

### Conversor flash

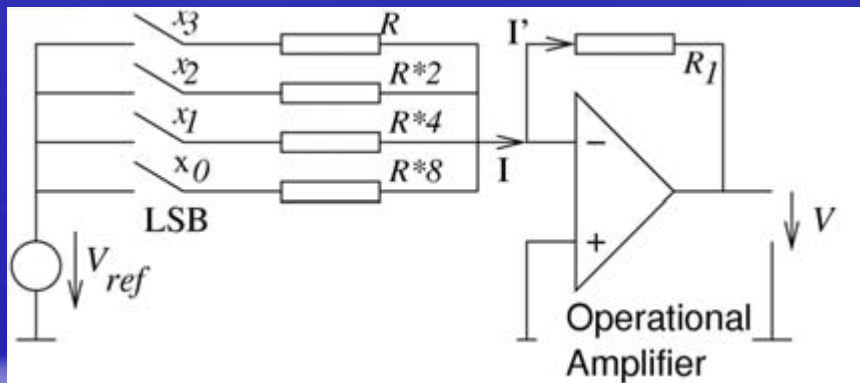


### Aproximaciones sucesivas



# Interfaz analógico

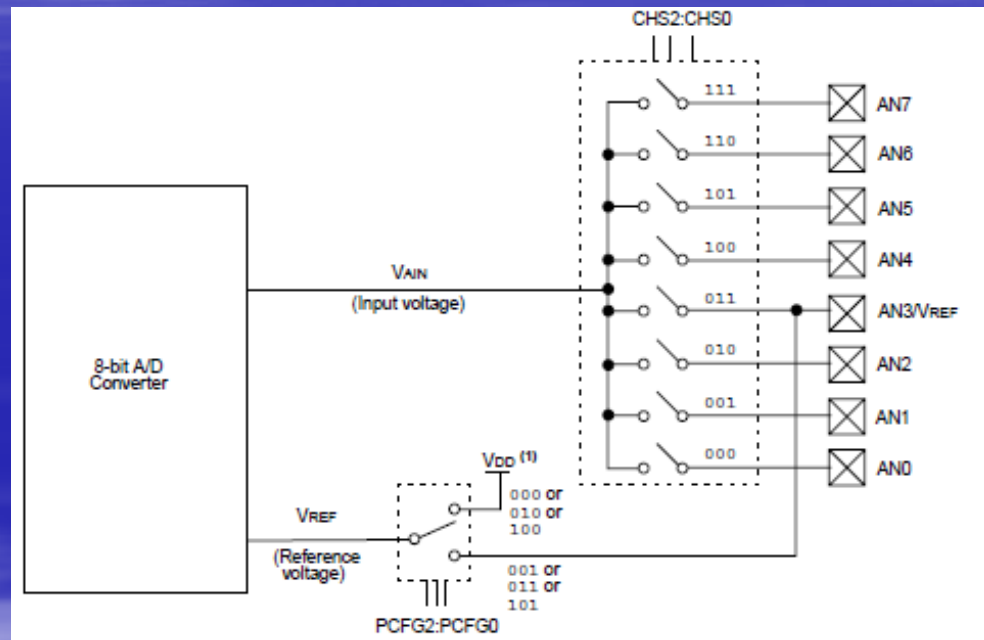
## Conversores digitales- analógicos



# Interfaz analógico

## Conversor analógico digital del PIC

Resultado ADRES  
Control 0 ADCON0  
Control 1 ADCON1



Control 0 ADCON0

| R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0   | R/W-0 | R/W-0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|
| ADCS1 | ADCS0 | CHS2  | CHS1  | CHS0  | GO/DONE | Resv  | ADON  |
| bit 7 |       |       |       | bit 0 |         |       |       |

Control 1 ADCON1

| U-0   | U-0 | U-0 | U-0 | U-0   | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0 |
|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| —     | —   | —   | —   | —     | PCFG2 | PCFG1 | PCFG0 |
| bit 7 |     |     |     | bit 0 |       |       |       |

# Interfaz analógico

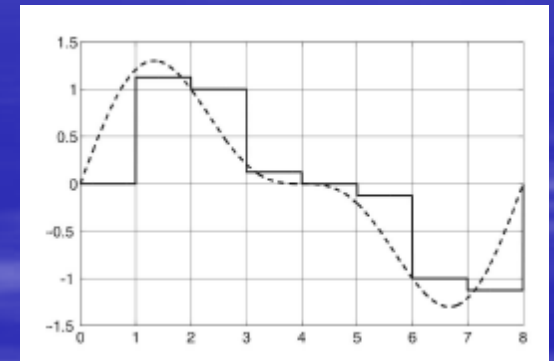
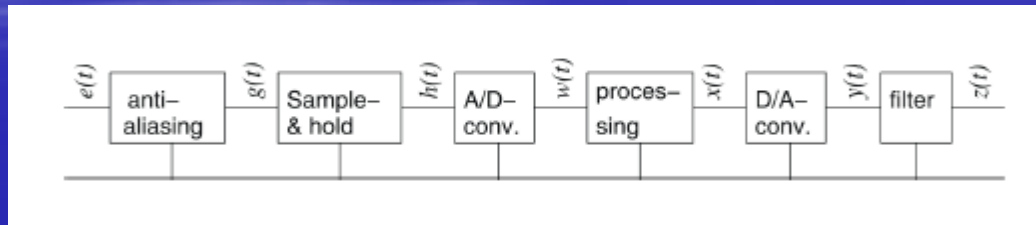
| PCFG2:PCFG0 | AN7 | AN6 | AN5 | AN4 | AN3  | AN2 | AN1 | AN0 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 000         | A   | A   | A   | A   | A    | A   | A   | A   |
| 001         | A   | A   | A   | A   | VREF | A   | A   | A   |
| 010         | D   | D   | D   | A   | A    | A   | A   | A   |
| 011         | D   | D   | A   | A   | VREF | A   | A   | A   |
| 100         | D   | D   | D   | D   | A    | D   | A   | A   |
| 101         | D   | D   | D   | D   | VREF | D   | A   | A   |
| 11x         | D   | D   | D   | D   | D    | D   | D   | D   |

A = Analog input

D = Digital I/O

# Interfaz analógico

## Reconstrucción de la señal: filtrado



$$z(t) = \sum_{s=-\infty}^{\infty} y(t_s) \frac{\sin \frac{\pi}{p_s} (t - t_s)}{\frac{\pi}{p_s} (t - t_s)}$$

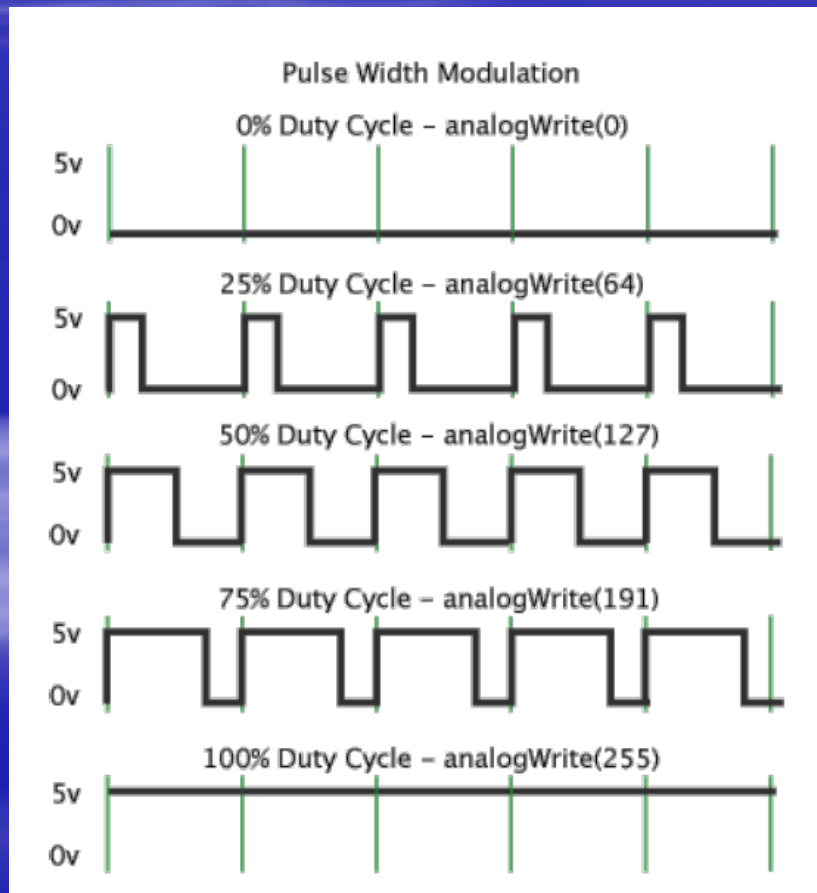
Weighting factor for influence of  $y(t_s)$  at time  $t$

Interpolación



# Interfaz analógico

## PWM (Pulse Width Modulator)



$f_m$ : frecuencia señal modulación  
 $F_{clk}$ : frecuencia del sistema  
 $N_n = F_{clk} / f_m$

# Interfaz analógico

## Ejemplo PWM PIC

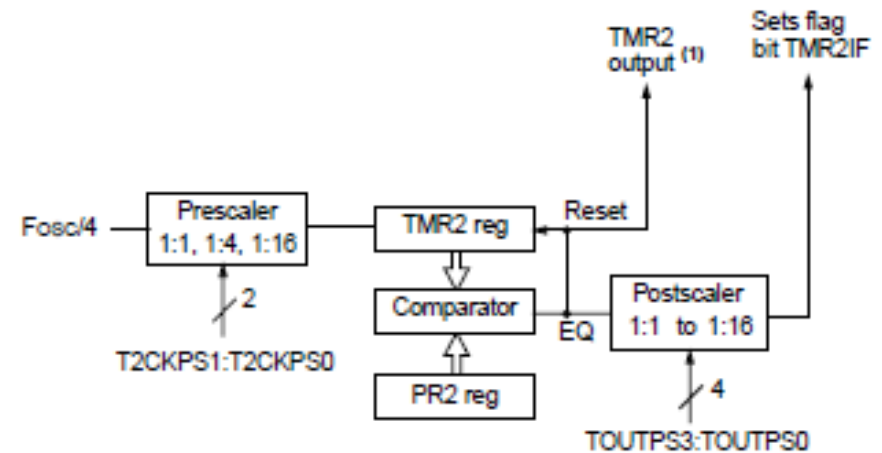
### CCP Capture/Compare/Pwm

CCP x CON

CCPRxH

CCPRxL

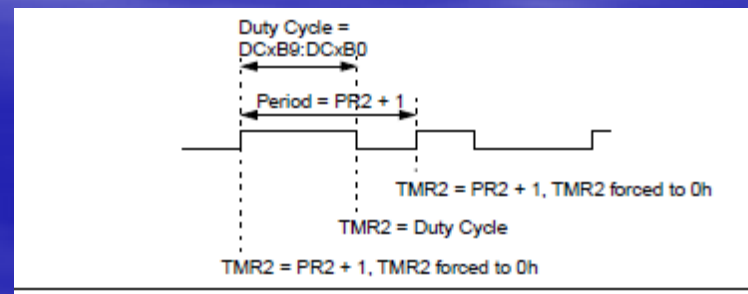
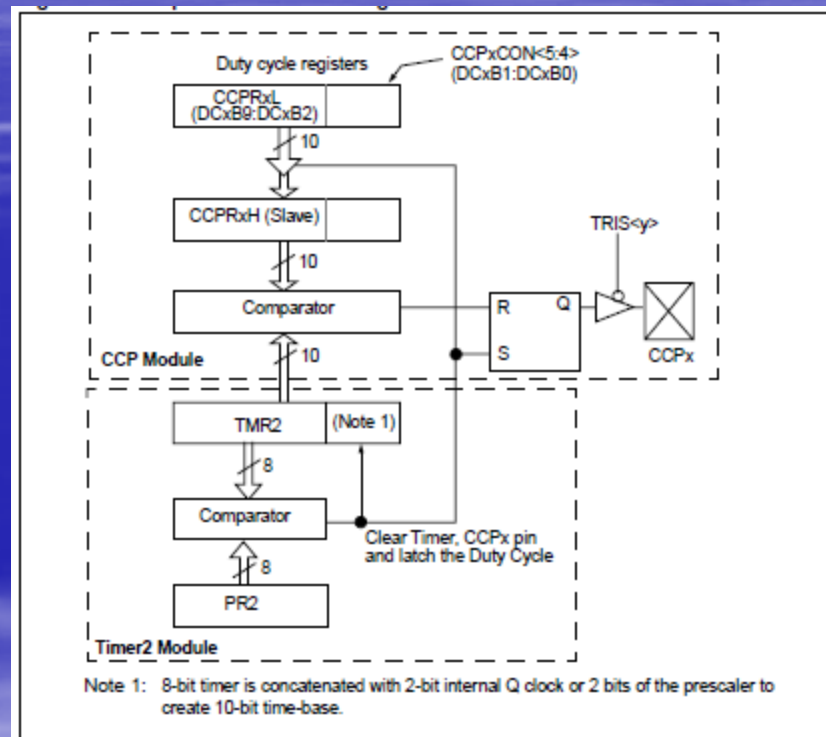
CCPx



0000 = Capture/Compare/PWM off (resets CCPx module)  
 0100 = Capture mode, every falling edge  
 0101 = Capture mode, every rising edge  
 0110 = Capture mode, every 4th rising edge  
 0111 = Capture mode, every 10th rising edge  
 1000 = Compare mode,  
 Initialize CCP pin Low, on compare match force CCP pin High (CCPIF bit is set)  
 1001 = Compare mode,  
 Initialize CCP pin High, on compare match force CCP pin Low (CCPIF bit is set)  
 1010 = Compare mode,  
 Generate software interrupt on compare match  
 (CCPIF bit is set, CCP pin is unaffected)  
 1011 = Compare mode,  
 Trigger special event (CCPIF bit is set)  
 11xx = PWM mode

| U-0   | U-0 | R/W-0 | R/W-0 | R/W-0  | R/W-0  | R/W-0  | R/W-0  |
|-------|-----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| —     | —   | DCxB1 | DCxB0 | CCPxM3 | CCPxM2 | CCPxM1 | CCPxM0 |
| bit 7 |     |       |       |        |        |        | bit 0  |

# Interfaz analógico



# Indice

## Periféricos: sensores y actuadores. (3 +1 horas)

### 5.1 Interfaz digital

- 5.1.1 Protección de entradas digitales
- 5.1.2 Expansión de entradas digitales
- 5.1.3 Expansión de salidas digitales
- 5.1.4 Salidas de grandes corrientes

### 5.2 Interfaz analógico

- 5.2.1 Sensores: temperatura, humedad, giróscopo, aceleración, luminosidad, proximidad, humo
- 5.2.2 Actuadores: vga, leds, displays, motor continua, motor paso a paso, servomotor, lcd, altavoz, zumbador
- 5.2.3 Conversores A/D y D/A. PWM

### 5.3 Procesamiento de señal

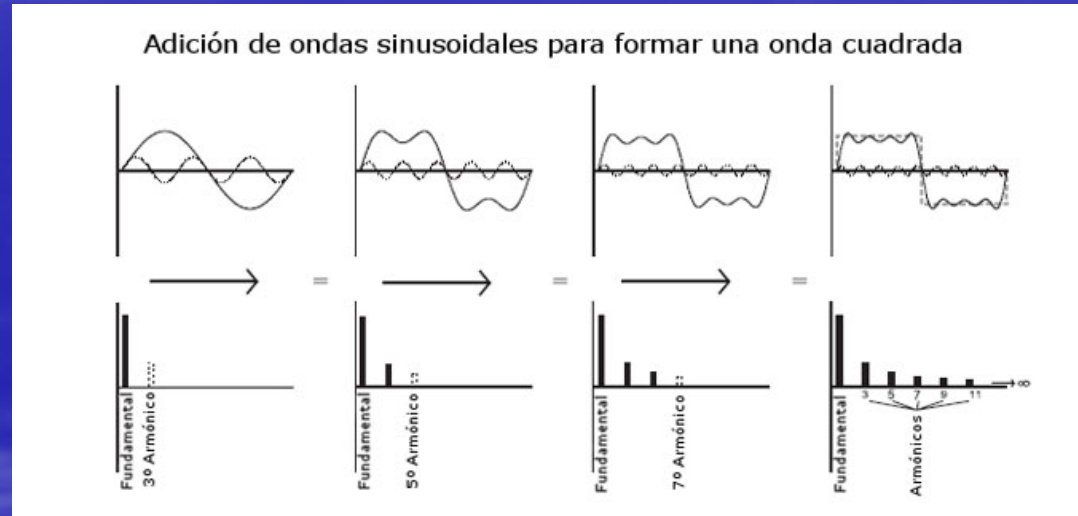
# Procesamiento de señal

Trasposición  
Filtrado  
espectral

Amplificación  
Compresión

Composición  
Análisis

Cualquier función que cambie en el tiempo de forma periódica y continua, se puede representar como una suma de funciones coseno de diferentes amplitudes y frecuencias



$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$