

Taller de Introducción a los Sistemas Ciber Físicos

Sistemas embebidos

Facultad de Ingeniería
Instituto de Computación

Temas

- Introducción a los Sistemas Embebidos
- Computo
- Sensado
- Actuación

Avisos

- Crearse un usuario en thingspeak.com
- Instalar IDE Arduino
- Instalar Addon ESP8266
 - Biblioteca: ESP8266 by ESP8266 Community)
 - Board: NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)

Sistemas Embebidos

¿Qué es un Sistema Embebido?

- Un sistema embebido (S.E) es un sistema computador destinado a una aplicación en particular.
- Los sistemas computadores de propósito general tienen muchas aplicaciones, según el software que se instale.

Características

- Es una combinación de hardware, software y posibles elementos mecánicos.
- Específicos para una tarea por lo que son optimizados para la misma.

Firmware

- Rutinas de software almacenadas en memoria no volátil (Flash, ROM, EEPROM, etc).
- Software que se encuentra inmerso en el dispositivo de hardware a controlar.
- Es software muy acoplado con un hardware particular.

Características de los sistemas embebidos

- Interactúan con el entorno
 - Directamente sensando y controlando señales.
 - Comunicándose con otros dispositivos.
- Interacción con restricciones de tiempo real.
- Bajo consumo.

Entrada/Salida (E/S)

- Debido a su característica los sistemas embebidos deben interactuar con el ambiente que los rodea.
- Sensando señales del ambiente o actuando sobre el mismo.
- Hay dos maneras de manejar la E/S:
 - Digital
 - Analógica

E/S Digital

- Se intercambian “unos” y “ceros”.
- Esos valores corresponden a voltajes de referencia.
- Utilizado para implementar protocolos de comunicación.
- Útil para controlar algunos dispositivos electrónicos:
 - Prender un led.
 - Leer estado de un botón.

E/S Analógica_(1/2)

- Los valores que se intercambian pueden tomar varios valores.
- Es necesario disponer de conversores Digital -> Analógico (D/A) o Analógico -> Digital (A/D).
- Un conversor A/D convierte un voltaje en una entrada a un valor digital.
- La resolución del conversor condiciona la cantidad de valores a representar. Un canal de 10 bits va a permitir representar valores desde 0 a 1023.

E/S Analógica_(2/2)

- Un conversor D/A convierte un valor digital a un voltaje en un pin de salida.
- Muchos sensores se manejan de esta manera:
 - Temperatura, humedad, luz, micrófono
- Algunos actuadores se manejan de esta manera:
 - Parlantes, motores

Manejo de la E/S

- Paradigmas para implementar la lectura/escritura de E/S:
 - Polling: Donde se utilizan ciclos de CPU para estar constantemente consultando el valor de alguna entrada.
 - Interrupciones: El CPU es notificado externamente. A nivel de software se ejecuta una rutina de atención a la interrupción.

Comunicación

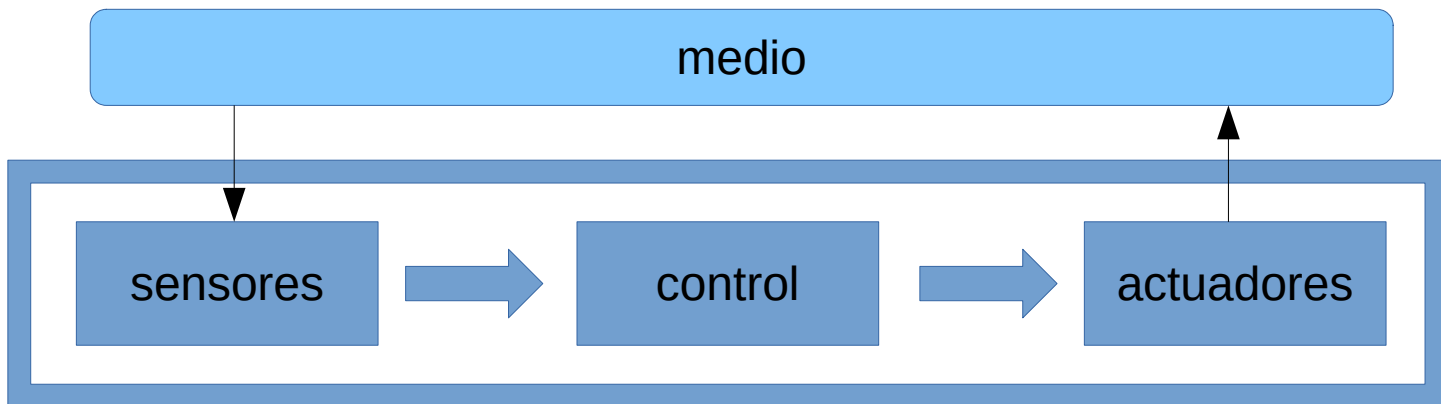
- Serial
 - RS-232
 - SPI
 - I²C
- Paralela
- Desde hace varios años se utilizan otros mecanismos
 - USB
 - Wifi
 - Ethernet
- Síncrona o asíncrona.
- Redes de dispositivos.

SE en la facultad

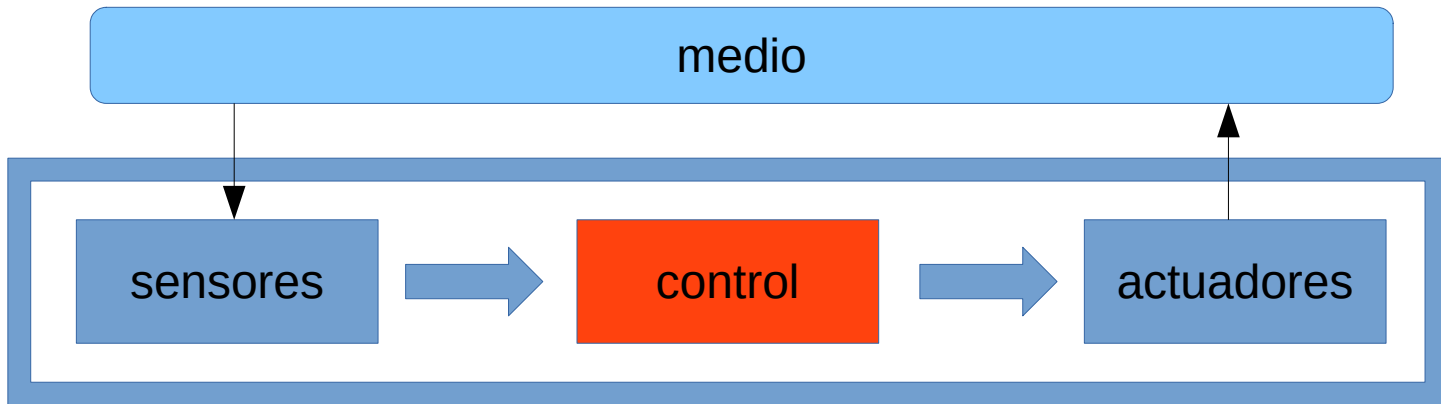
- Identifique un SE implantado en facultad
- Propongan SE a desarrollar en el marco del taller.



Modelo Agente-Entorno



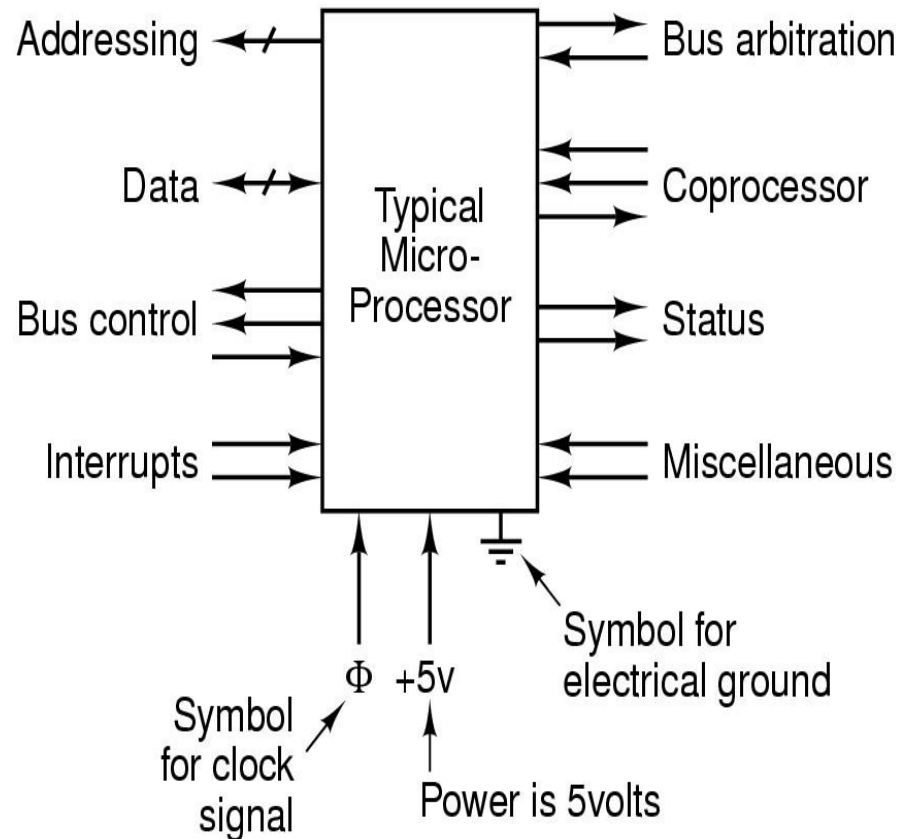
Plataformas de cómputo



Microcontroladores

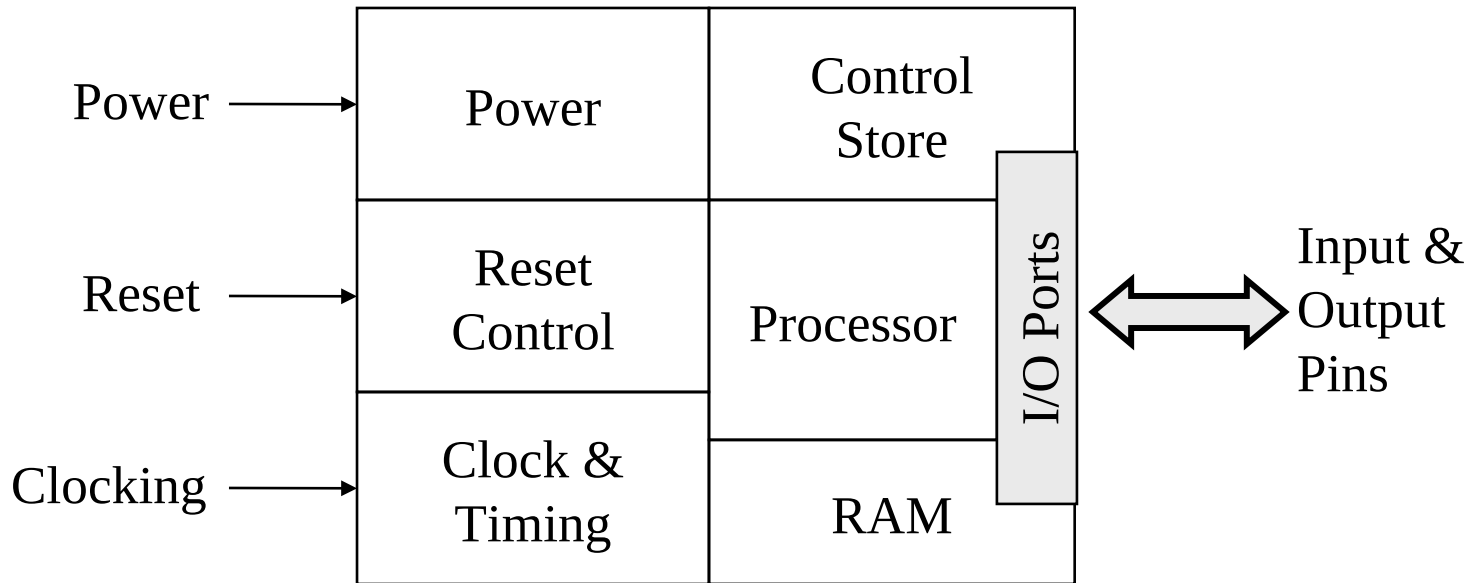
Introducción a los microcontroladores (1/3)

- Un microprocesador (μ P) es una CPU en un solo circuito integrado.
- Un computador es una CPU, más memoria y puertos de E/S.
- Un sistema computador es un computador más periféricos.



Introducción a los microcontroladores (2/3)

Un microcontrolador (μ C) es un sistema autocontenido donde el microprocesador, soporte, memoria y entrada/salida se presentan dentro de un mismo integrado.



Introducción a los microcontroladores (3/3)

Características

- Fáciles de utilizar.
- Bajo costo.
- Flexibles.
- Debido a su tamaño puede incluirse dentro del dispositivo que gobierna.

Registros de E/S

- Son los componentes más utilizados de los microcontroladores.
- Los microcontroladores disponen de registros para controlar los dispositivos de E/S.

Alimentación

- Minimizar el consumo de corriente es un tema a tener en cuenta.
- Hay que tener en cuenta el consumo:
 - Del microcontrolador en modo normal.
 - Depende de la frecuencia y del voltaje proporcionado.
 - Del microcontrolador en modo sleep.
 - Del los dispositivos conectados a la E/S.
 - Particular de cada aplicación.
 - Pueden gestionarse adecuadamente los dispositivos.

Timers

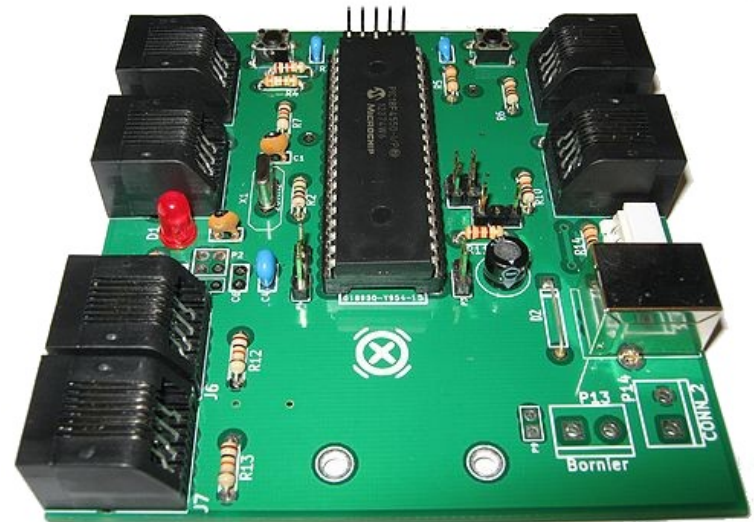
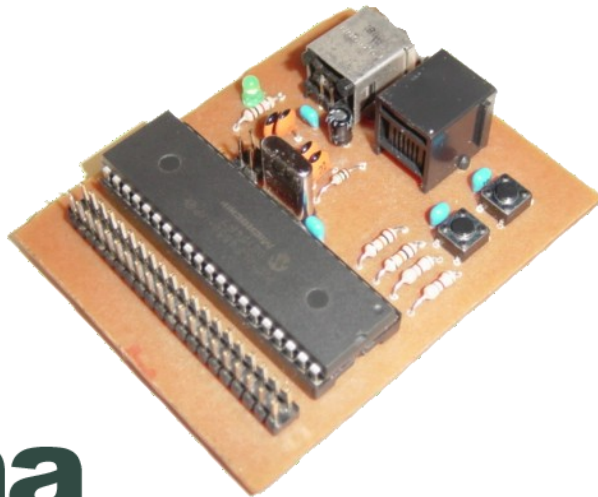
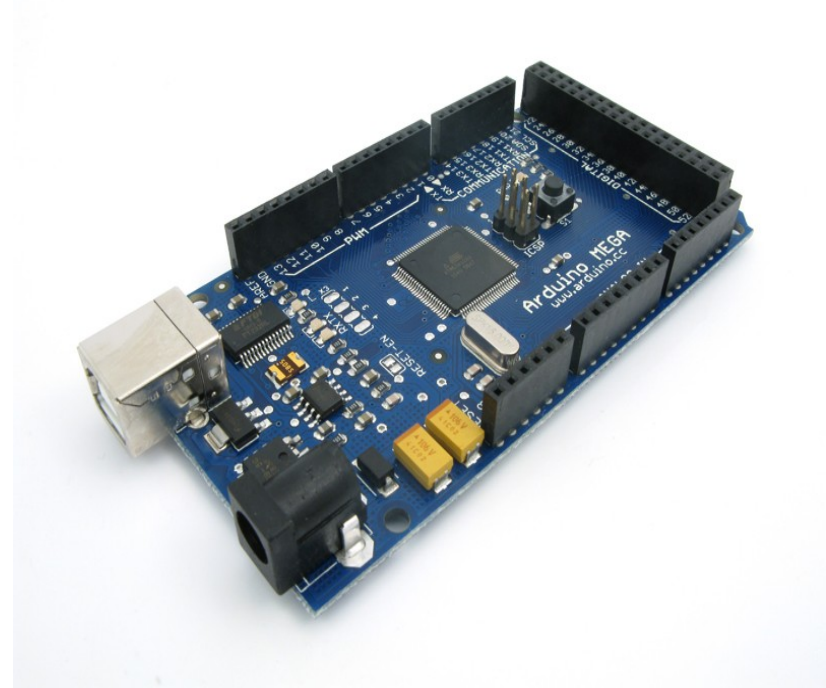
- Se utiliza para trabajar con eventos de tiempo.
- Contadores: cuentan acontecimientos que suceden en el exterior.
- Temporizadores: controlan períodos de tiempo.

IO Boards_(1/2)

- Existen placas orientadas a trabajar con entrada/salida que permiten realizar diseños embebidos en base a ellas.
- Utilizadas para prototipar o diseñar productos de pocas unidades.
- Incluyen un microcontrolador, señal de reloj, conectores de E/S, memoria flash externa, acondicionamiento de señales.

IO Boards_(2/2)

- Arduino
- GogoBoard
- USB4all
- USB4Butiá

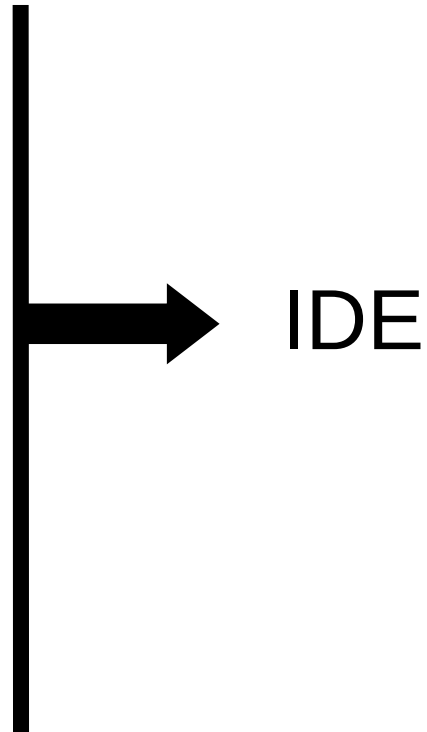


Desarrollo de software

- Herramientas y entornos de desarrollo
- Programación
- Debug

Herramientas y entornos de desarrollo (1/4)

- Editor
- Compilador
- Ensamblador
- Simulador
- Emulador
- Programador



Herramientas y entornos de desarrollo (2/4)

- **Assembler**
 - Instrucciones assembler.
 - Directivas
 - Debe estar bien comentado

Herramientas y entornos de desarrollo (3/4)

- Lenguaje de alto nivel
 - C, C++, Basic, Forth, JavaMe.
 - Proporcionan
 - Mayor nivel de abstracción
 - Bibliotecas.
 - Tipos de datos.
 - Variables locales y globales.
 - Estructuras de datos y punteros.
 - Asignación de memoria para datos.
 - Acceso a registros.
 - Decrementa el tiempo de desarrollo.

Herramientas y entornos de desarrollo (4/4)

- Real Time Operating System (RTOS)
 - Multitasking
 - Scheduling
 - Context Switching
 - Respuestas en tiempo a eventos del mundo.
 - Comunicación entre procesos.
 - Stack TCP/IP
 - Ejemplos: LuaRTOS, Salvo, FreeRTOS, μ C/OS, ...

Systems on a chip (SOC)

- Se refiere a integrar todos los componentes de un computador u otro dispositivo electrónico en un chip.
- La principal diferencia con un μC es la memoria disponible y el soporte para MMU.
- En general, los SOC permiten ejecutar sistemas operativos (S.O) tradicionales.
- Cada SOC esta orientado a determinado tipo de aplicaciones.

Hardware Embebido basado en SOC_(2/2)

- Cantidad de RAM limitada (desde unos pocos MB a varias decenas de MB)
- Velocidad de CPU inferior a sistemas de escritorio.
- Varios buses de interconexión (I2C, SPI, USB, serial) y puertos de E/S.

Embedded Single Board Computers (SBC) (1/2)

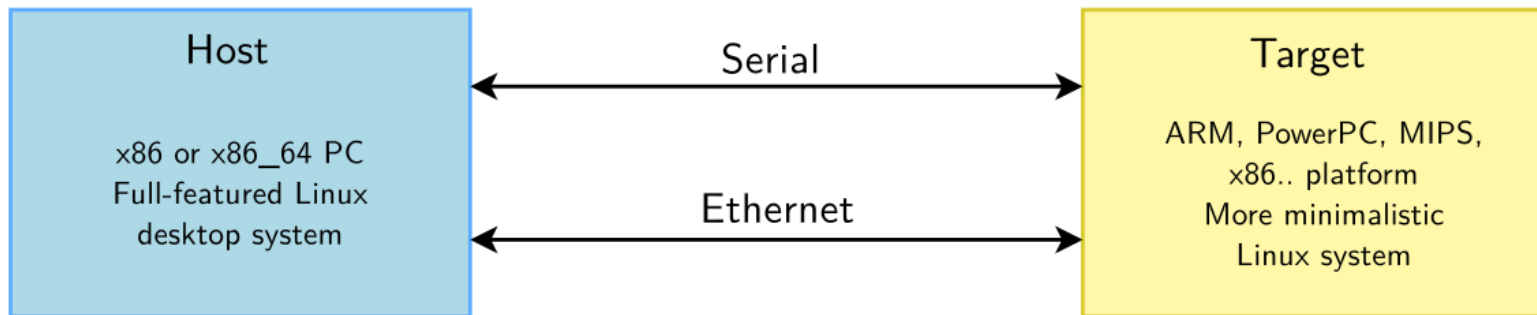
Single-board computers (SBCs) son **computadoras completas** fabricadas en una única placa de circuito. El diseño es centrado en un **microprocesador** con **RAM, almacenamiento, E/S** y otras características necesarias para ser una computadora funcional en una sola placa.

Embedded Single Board Computers (SBC)^(2/2)

- Actualmente existe una gran gama de SBC basadas en SOC.
- Un SOC por si solo no puede funcionar, necesita de alimentación, acondicionamientos de señales, conectores, y algún controlador adicional.
- Más pequeñas, más eficientes energéticamente y con mayores posibilidades de E/S que un sistema tradicional.

Host vs. target

- Cuando se trabaja en sistemas embebidos hay una clara división entre maquinas
 - Host
 - Target
- Estas máquinas deben estar conectadas de



Componentes de software

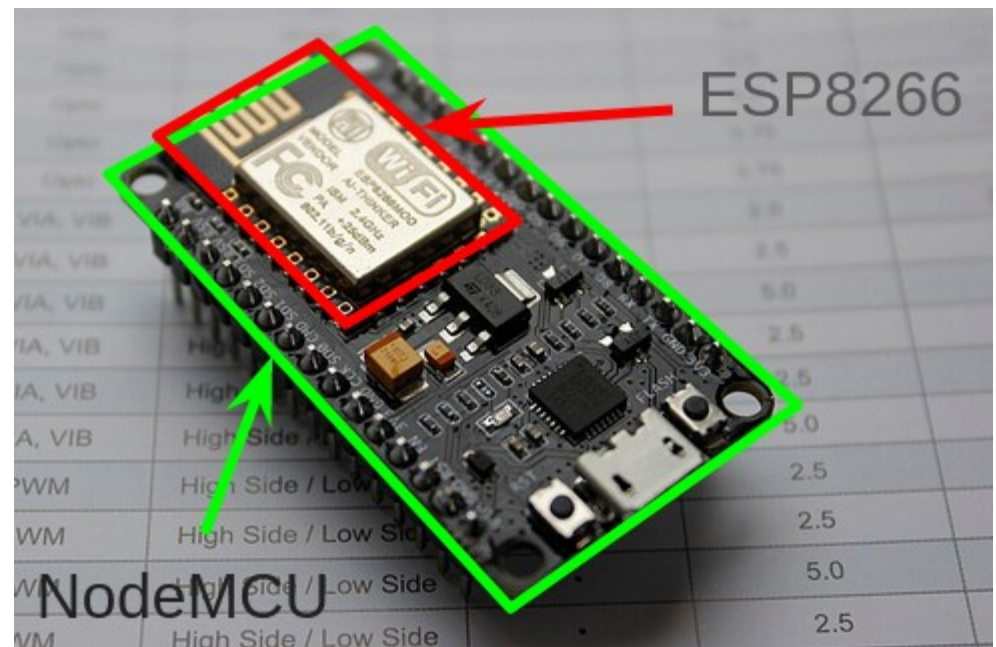
- Cross-compilation toolchain
 - Compilador que ejecuta en la maquina de desarrollo pero genera código para la máquina objetivo
- Bootloader
 - Inicializado por el hardware, responsable de una inicialización básica y responsable de pasarle el control al kernel
- Biblioteca de C
 - Es la interfaz entre el kernel y es espacio de aplicaciones de usuario
- Bibliotecas y aplicaciones (de terceros o propias).

Node MCU_(1/5)

- NodeMCU es un entorno de desarrollo de software y hardware abierto construido alrededor del SOC de bajo costo ESP8266
- Tiene una serie de pines que permiten establecer conexiones entre el controlador y los diferentes sensores y actuadores
- Tiene pines analógicos y digitales

Node MCU (2/5)

- Alimentación:
 - 3.3 V
 - 250 mA
- Memoria
 - RAM: 128kB
 - Flash: 4MB

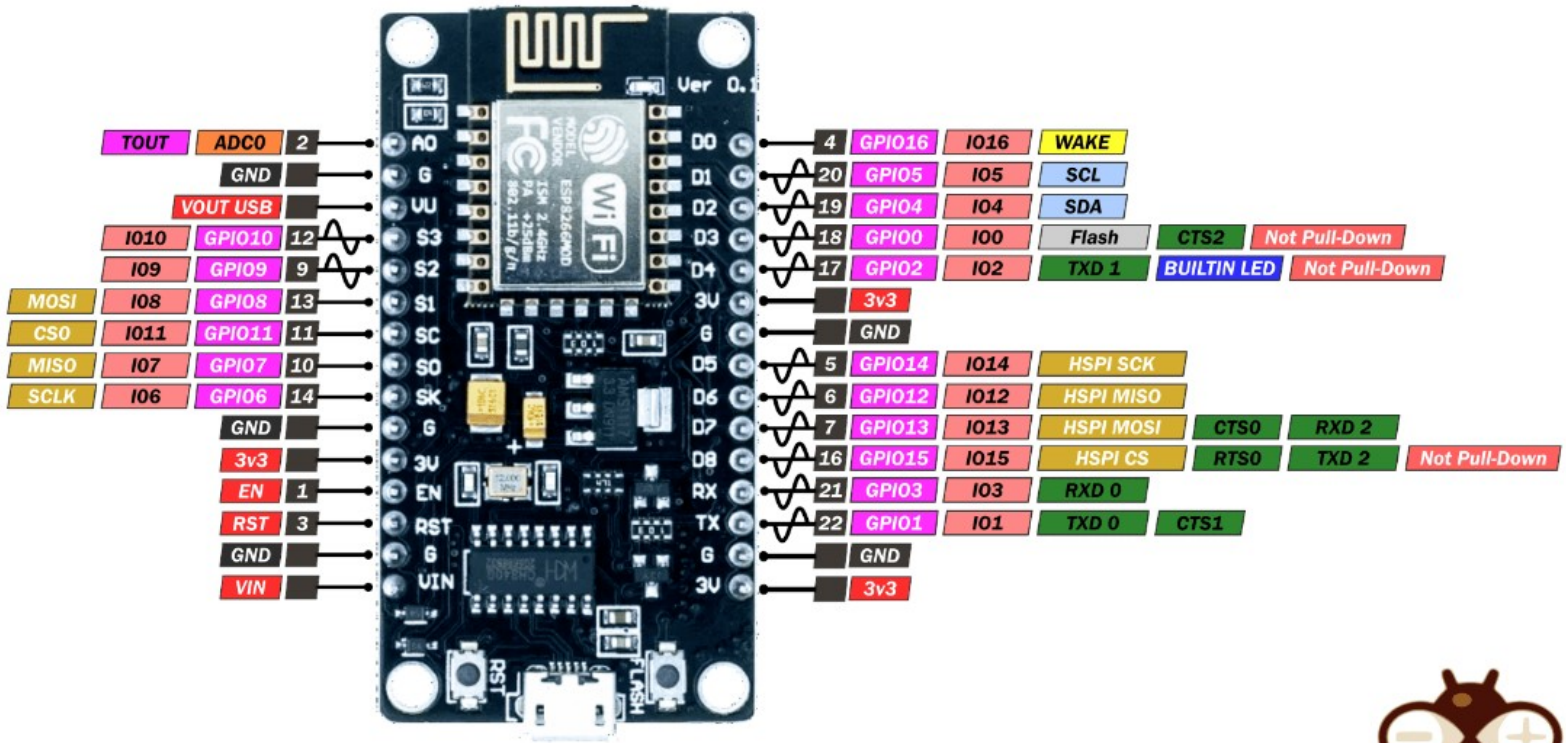


Node MCU_(3/5)

- Módulo WiFi integrado (y antena en el PCB)
- Bajo costo
- Programable en Lua o C
- Puerto USB, alimentación, comunicación de datos y programación

Node MCU (4/5)

NodeMCU v3 CH340 **PINOUT**



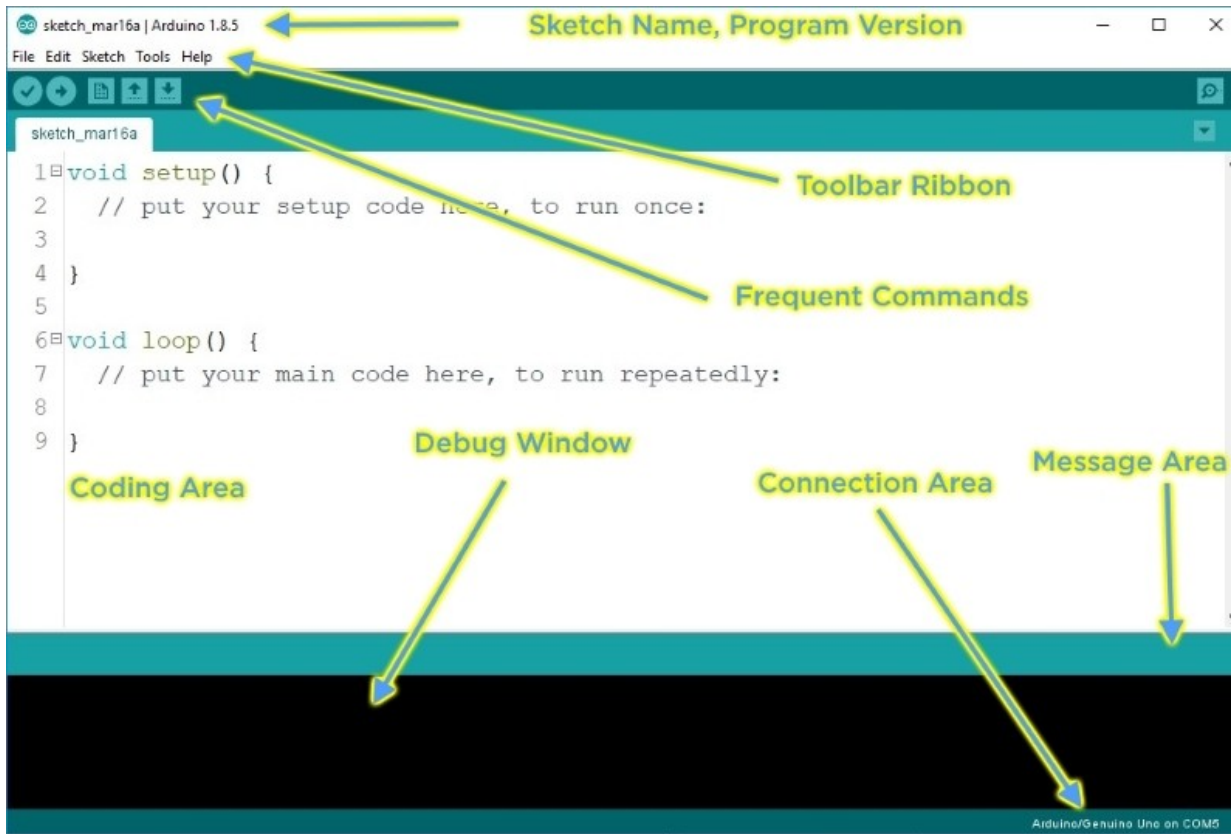
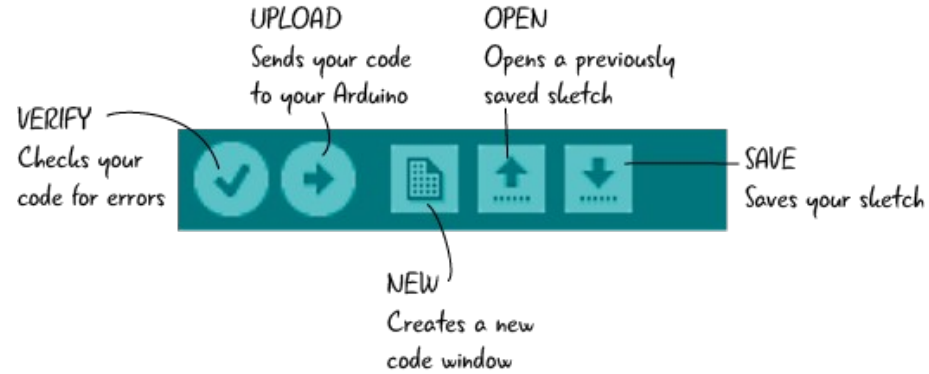
Node MCU_(5/5)

- Pines de E/S
 - Digitales: Pin D0 a D10
 - PWM: 12 pines
 - Analógico: A0
- Alimentación:
 - 5 pines de tierra
 - 3 pines de 3.3V (Vcc)
 - Vin para alimentación externa (7 a 12 V)

Entorno de desarrollo

- Descargar el IDE de Arduino
- Instalar el Addon para ESP8266

IDE Arduino



Setup()

- Se llama al comenzar
- Se utiliza para inicializar variables, los modos de los pines, bibliotecas, etc.
- Corre una única vez, luego de prender o resetear la placa

loop()

- Se ejecuta luego del setup
- Como su nombre lo indica queda en loop

delay(ms)

- Pausa el programa la cantidad de tiempo en milisegundos (ms) indicada.

pinMode(pin, mode)

- Configura el pin para funcionar como entrada o salida
- Parámetros:
 - pin: El número de pin arduino a modificar el modo (INPUT o OUTPUT)
 - mode: Indica si el pin se va a setear como entrada o salida

digitalRead(pin)

- Lee el valor del pin digital (HIGH o LOW).
- Parámetros:
 - Pin: El número de pin que se quiere le

digitalWrite(pin,value)

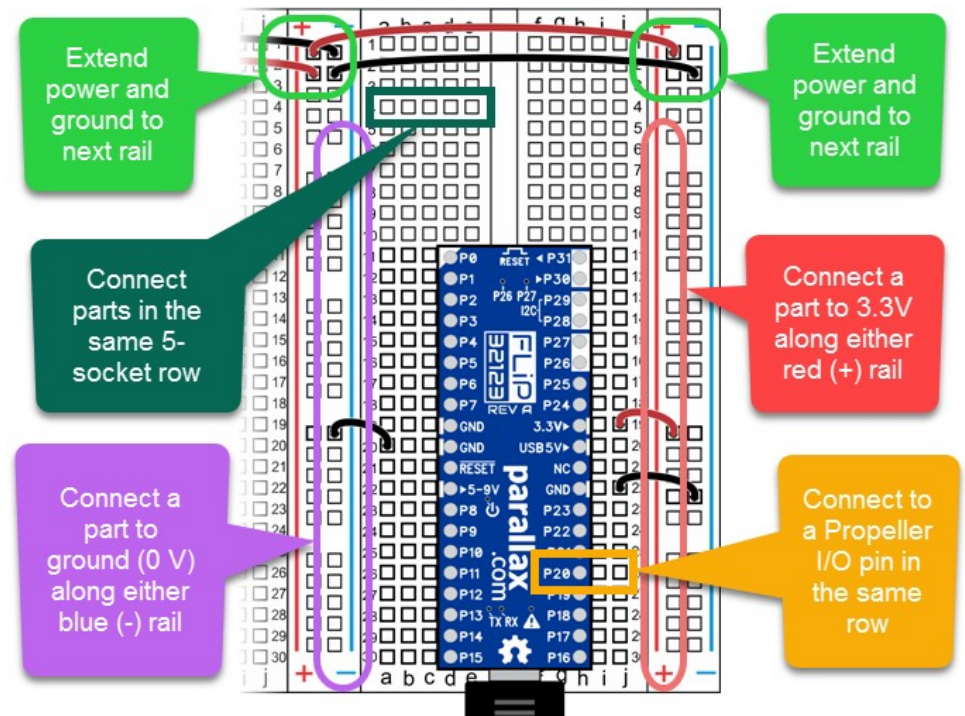
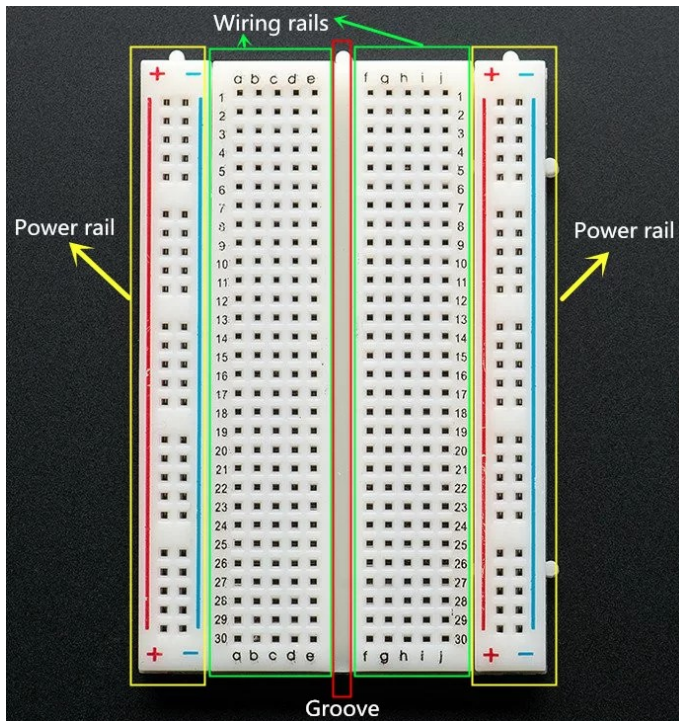
- Escribe HIGH o LOW en un pin digital.
- Parámetros:
 - Pin: El número de pin que se quiere escribir
 - value: El valor que se quiere escribir

Ejemplo 1

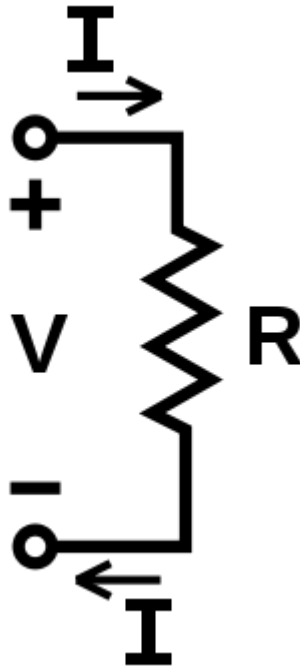
- Títular LED

Protoboard

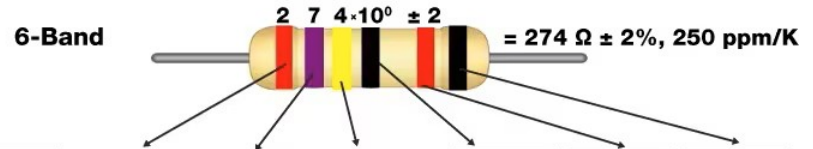
- Permite realizar circuitos de forma rápida, sin necesidad de soldar.



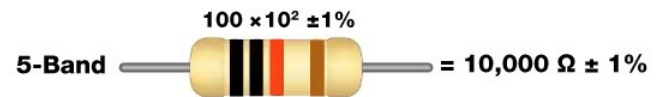
Resistencias



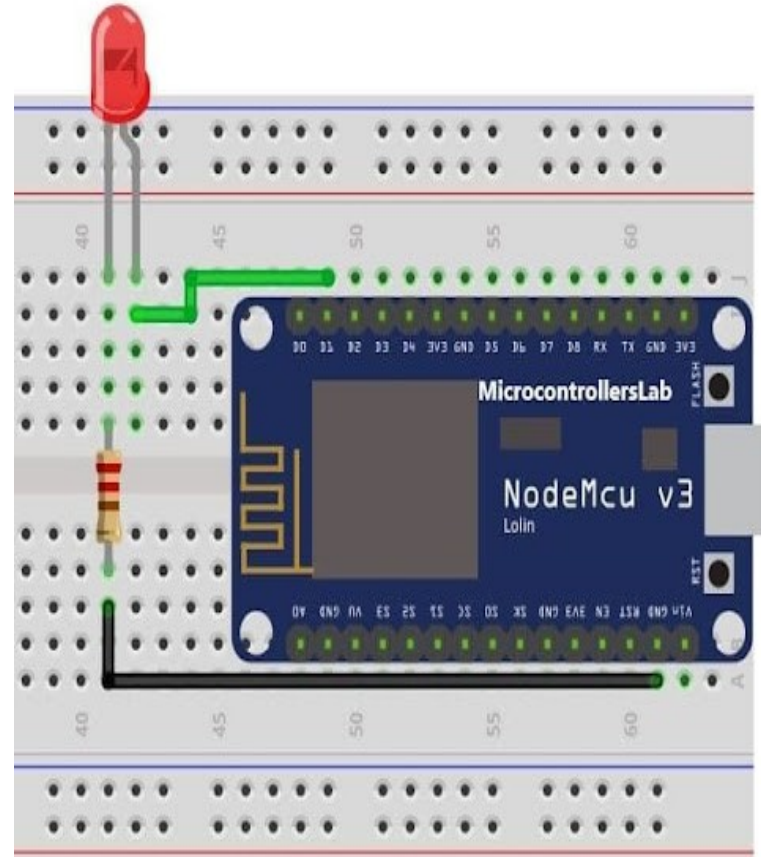
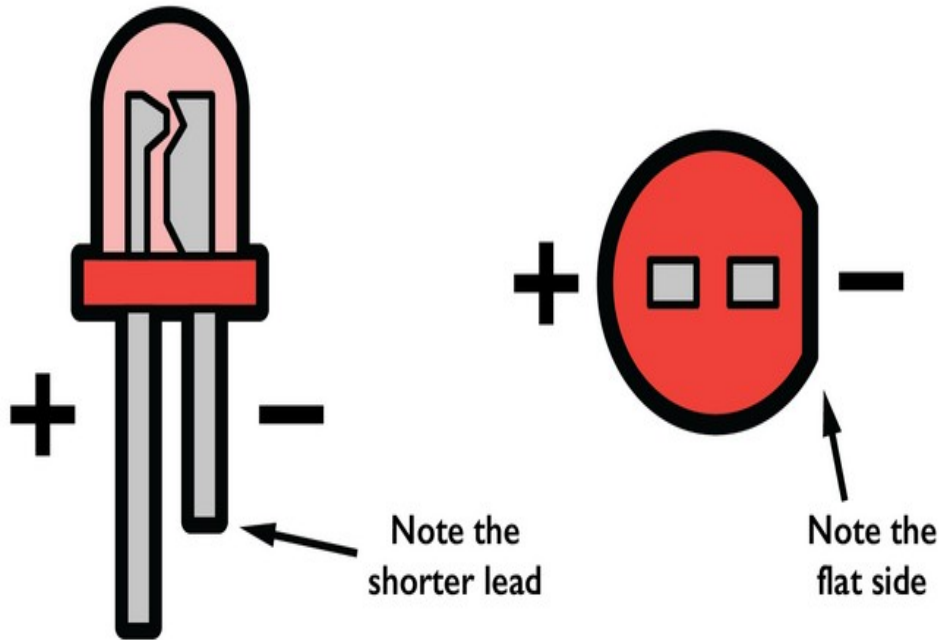
$$V = IR$$



Color	1st Digit	2nd Digit	3rd Digit	Multiplier	Tolerance	Temperature Coefficient
Black	0	0	0	1 Ω		250 ppm/K
Brown	1	1	1	10 Ω	$\pm 1\%$	100 ppm/K
Red	2	2	2	100 Ω	$\pm 2\%$	50 ppm/K
Orange	3	3	3	1k Ω		15 ppm/K
Yellow	4	4	4	10k Ω		25 ppm/K
Green	5	5	5	100k Ω	$\pm 0.5\%$	20 ppm/K
Blue	6	6	6	1M Ω	$\pm 0.25\%$	10 ppm/K
Violet	7	7	7		$\pm 0.1\%$	5 ppm/K
Grey	8	8	8			1 ppm/K
White	9	9	9			
Gold				0.1 Ω	$\pm 5\%$	
Silver				0.01 Ω	$\pm 10\%$	



LED



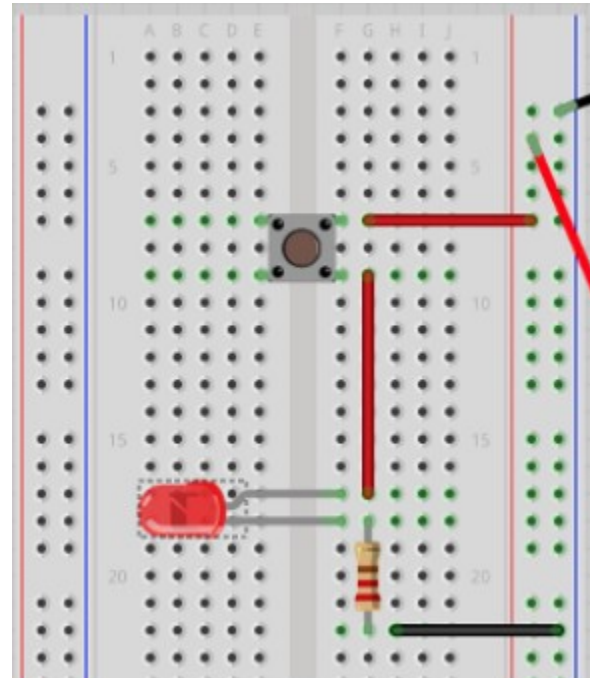
Ejemplo 1 :: Blink

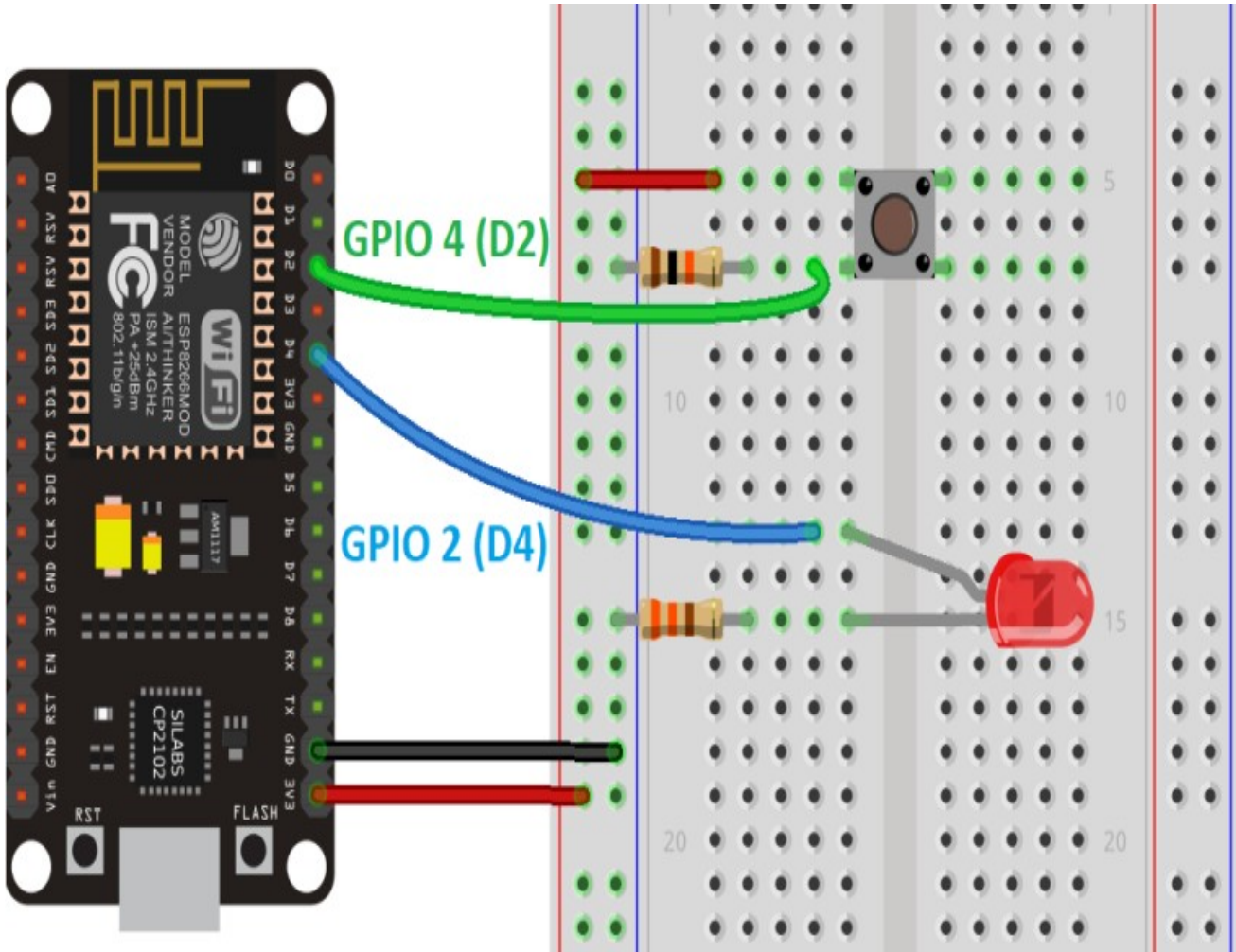
```
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

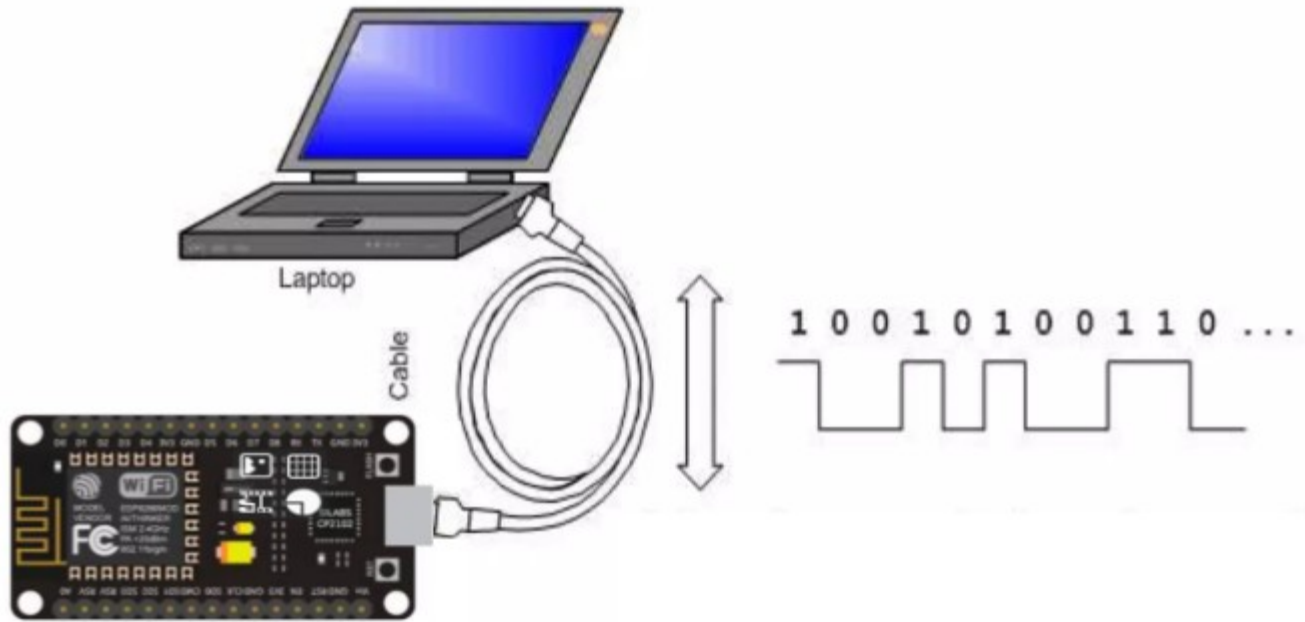
Ejemplo 2

- Si botón apretado prender LED
- Si no apagar el LED





Comunicación serial



Serial.begin(baud_rate)

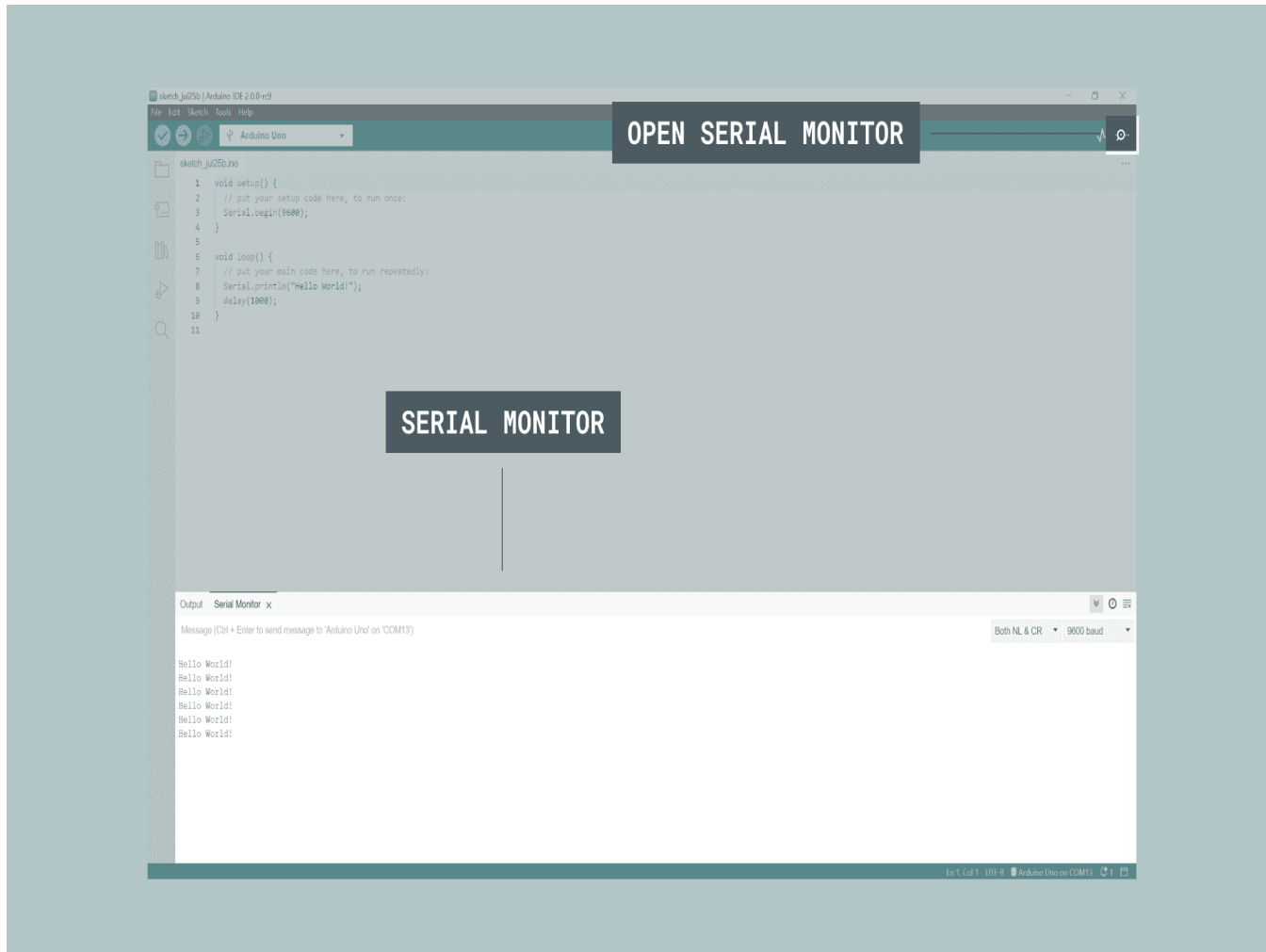
- Ajusta la cantidad de símbolos por segundo que se envían. Típicamente 9600.

Serial.print(value)

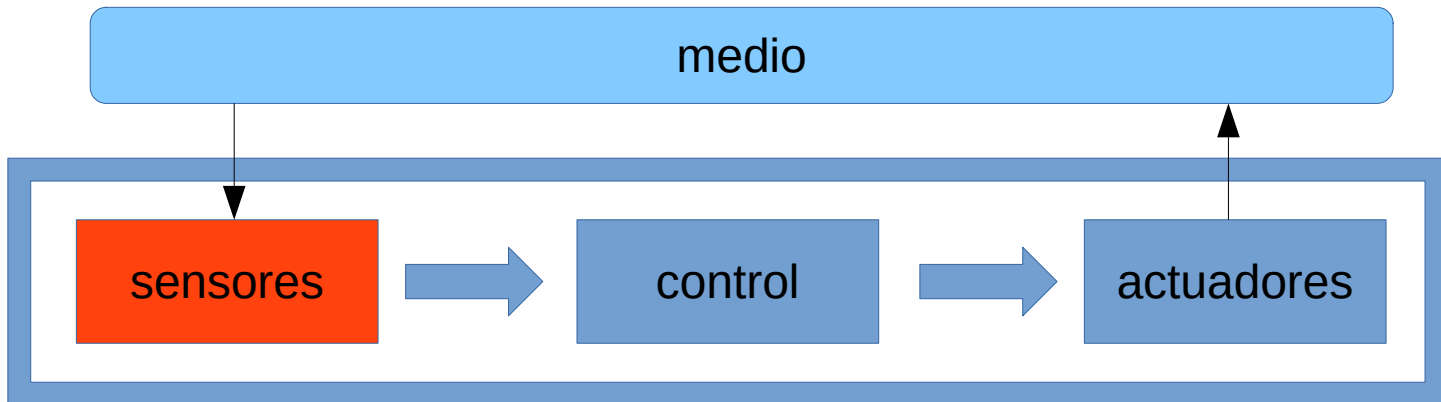
- Envía el valor por el serial puede ser de cualquier tipo incluido string.

Serial.println(value)

Consola serial

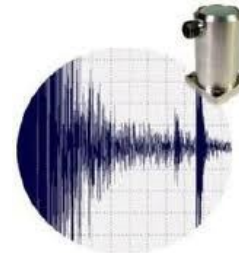
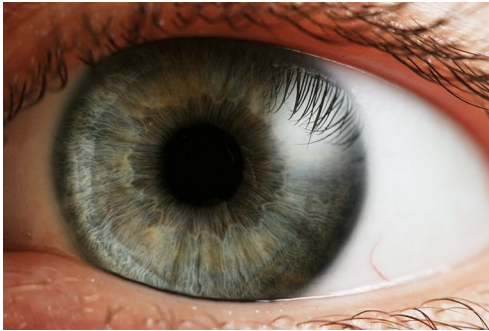


Sensores



Sensores

■ Ejemplos

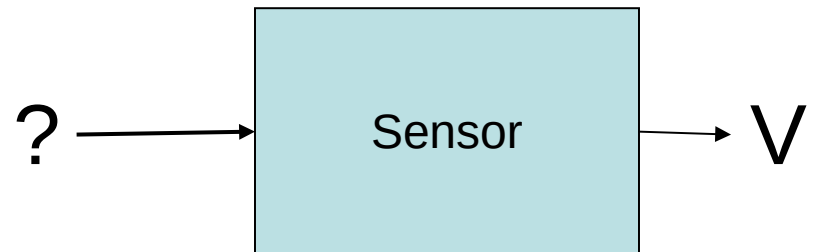


Sensores

Transductores: transforman una **magnitud física** en otra, procesable.

Clasificación:

- Introceptivos / extroceptivos
- Locales / globales
- Activos / pasivos
- Interfaz de lectura



Sensores

Introceptivos

Miden el estado interno del sistema

- Temperatura de un motor
- Ángulo de una articulación
- Carga de la batería

Extroceptivos

Miden características del entorno externos al robot

- Humedad ambiente
- Distancia a un obstáculo
- Orientación

Sensores

Locales

Sensores montados en el SE

- Termómetro
- Cámara *on-board*
- Brújula

Globales

Sensores externos que transmiten datos al SE

- Cámara global
- Estación meteorológica

Sensores

Pasivos

Toman medidas sin perturbar el entorno

- Termómetro
- Cámara de vídeo
- Brújula

Activos

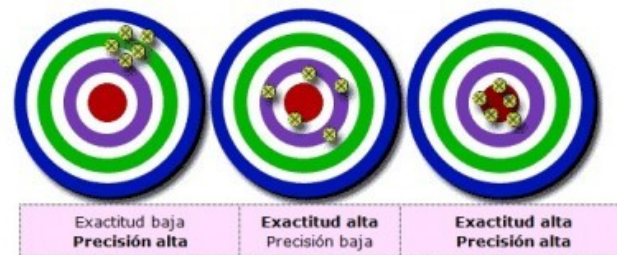
Perturban el ambiente para medir la reacción

- Radar
- Sonar
- Telémetro láser

Sensores

Características:

- Magnitud medida
- Rango
- Exactitud
- Precisión (Ruido)
- Resolución (Apreciación)
- Tiempo de medida



Sensores

Características:

- Magnitud medida
- Rango: -35°C $+50^{\circ}\text{C}$
- Exactitud: $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- Precisión (Ruido): ?
- Resolución (Apreciación): 0.5°C
- Tiempo de medida: 5min



Ruido

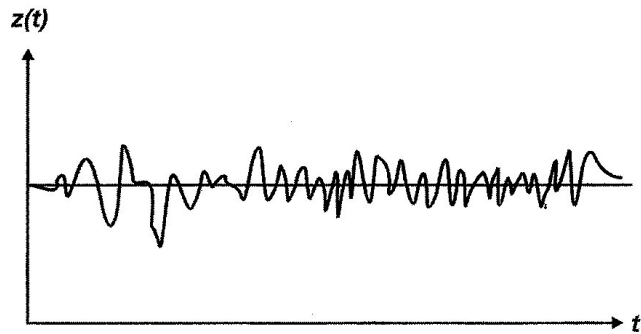
Diferencia entre las medidas y el valor real

- Modelo del sensado incompleto...
- Ruido térmico...
- Interferencia cruzada...
- Fallos al adquirir un valor...
- Tiene asociada una función de probabilidad

Herramientas para manejar el error:

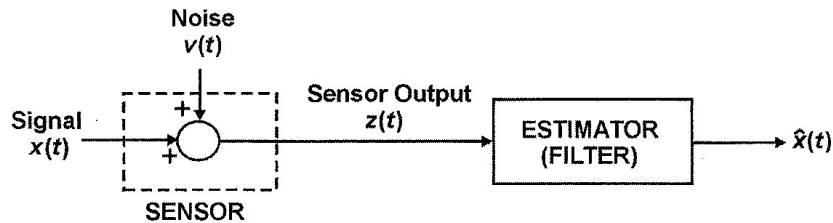
- Filtros, promediar, por corte de frecuencia
- Filtros Kalman

Filtros: promediar



(a)

$$\hat{x} = \frac{1}{t} \int_{t=0}^t z(t) dt$$



(b)

$$\hat{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z(t_i)$$

Filtros: promediar

Se puede promediar incrementalmente:

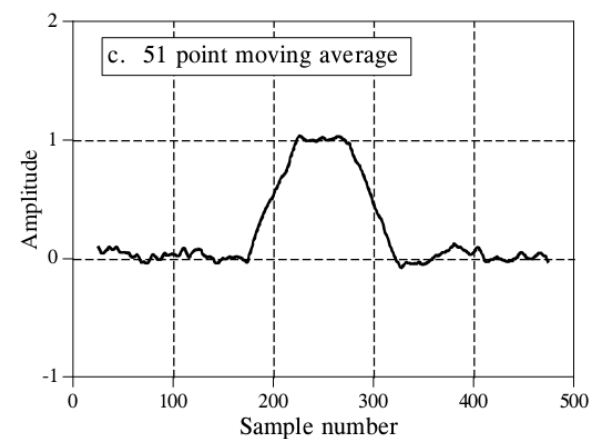
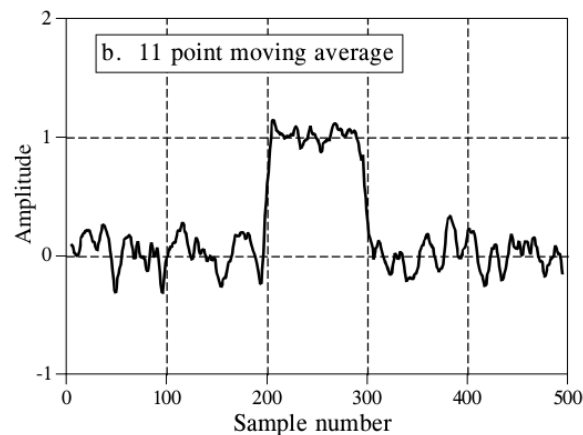
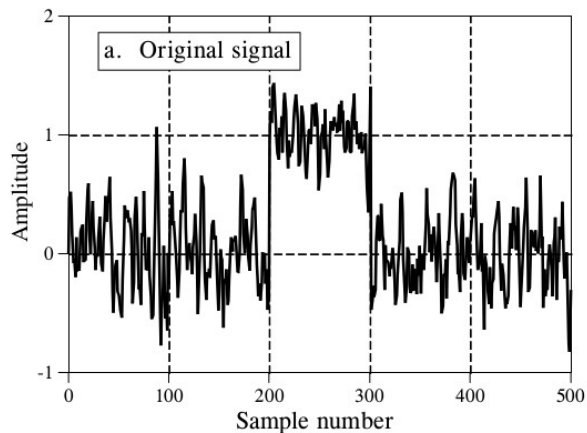
$$\hat{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z(t_i)$$

$$x_{N+1}^{\hat{}} = x_N^{\hat{}} + \frac{x_{N+1} - x_N^{\hat{}}}{N+1}$$

Filtros: promediar

Se puede promediar una porción de tiempo (ventana móvil)

- Número de muestras: balance entre suavidad del filtrado y velocidad de respuesta

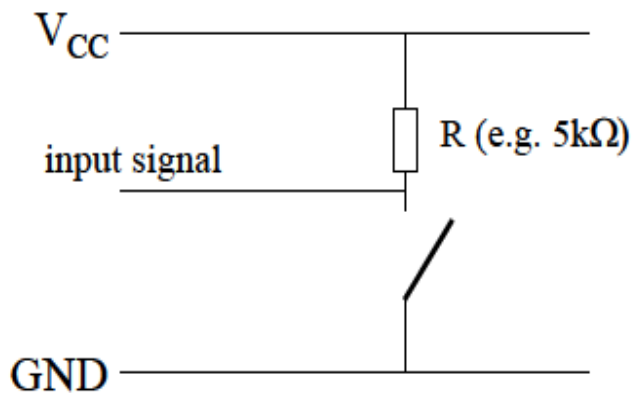


Interfaces con sensores

- Digitales
 - On-off: contacto, presencia o ausencia
 - Conteo de pulsos, PWM
 - Paralelos
- Analógicos
 - Distancia, temperatura, fuerzas...
 - Un voltaje en un rango, a ser digitalizado
- Protocolos de comunicación

Sensores binarios

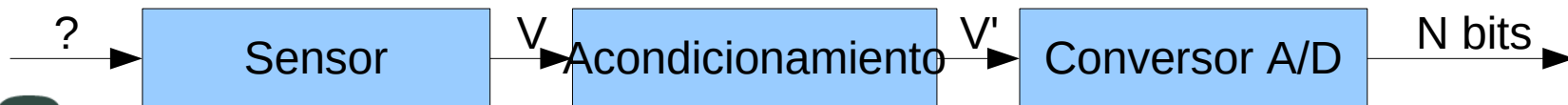
- Son el tipo más simple de los sensores.
- Sólo devuelven un solo bit de información: 0 o 1.
- ¿Está tocando? ¿Hay algo? ¿Supera un umbral?
- Interfaz con el sistema de control muy simple, por ejemplo utilizando una entrada digital



La resistencia esta conectada en forma pull-up, generando una señal ALTA a menos que sea activado el interruptor:
"activar a la baja"

Sensores analógicos

- Accedidos mediante un convertidor A/D
 - Rango de medición (p.ej. 0..5V)
 - Precisión: número de bits destino (p.ej. 10 bits)
 - Velocidad: #conversiones por segundo (p.ej. 500)
- La señal puede tener que ser acondicionada:
 - Rango de la señal mayor al rango del ADC (saturación)
 - Se quiere sensor una función de la salida del sensor
 - Filtrar ruido o señales extrañas



Protocolos para sensores

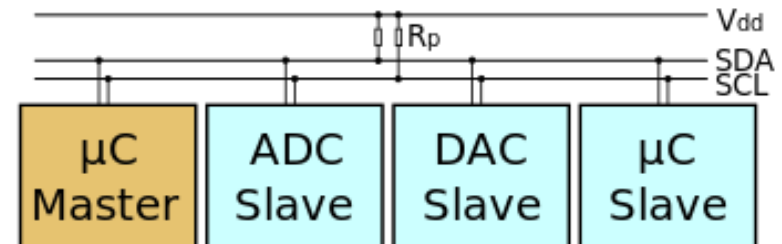
Protocolos de comunicación

- Serial, UART (GPS, Cámaras, IMU)
 - Baudrate fijo, punto a punto, duplex
- I2C (sensores de distancia, acelerómetros, ambientales...)
 - Múltiples dispositivos en un bus, distancias cortas
- SPI (como I2C, cámaras)
 - Maestro/esclavo, mayor velocidad que I2C
- CAN bus
 - Estándar en la industria automotriz, robusto, rápido

Ejemplo: I2C

Inter-Integrated Circuit.

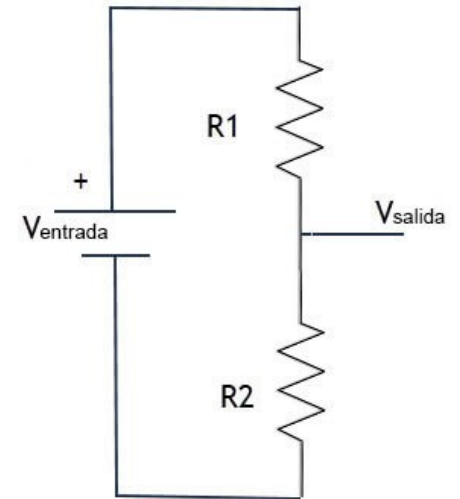
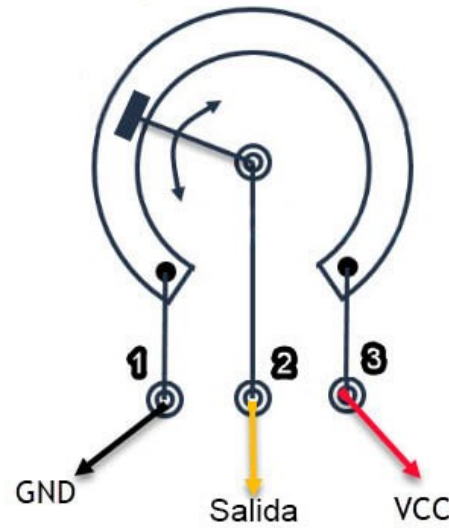
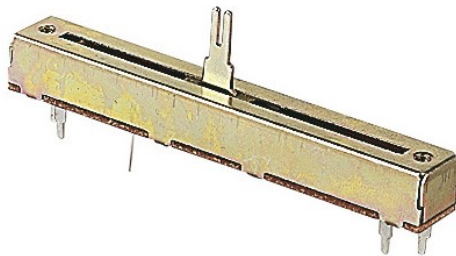
- Es un protocolo serial multi-master diseñado por Philips, para la conexión de dispositivos lentos separados por algunos metros.
- Usa dos líneas bidireccionales para comunicación (Serial Data Line (SDA) y Serial Clock (SCL)).
- Maneja un espacio de 7 bits o 10 bits para direcciones.
- Las velocidades típicas son 100 kbit/s y 10 kbit/s, pero pueden ajustarse en valores intermedios, llegando en las versiones actuales a 3.4 Mbit/s
- El protocolo además de la carga útil incluye: dirección del esclavo y posiblemente el registro a acceder, además de bits de NACK y ACK por cada byte enviado.
- Cada sensor especifica sus mensajes



Sensores introceptivos

- Posición
 - Potenciómetros, encoders
- Velocidad
 - $\frac{\partial x}{\partial t}$, tacómetros
- Aceleración
 - $\frac{\partial v}{\partial t}$, acelerómetros
- Fuerza
 - Celdas de carga

Sensores de posición



Ejemplo

- Leer un potenciometro

Sensores introceptivos

Otros sensores:

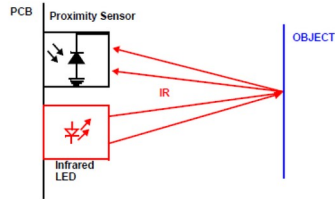
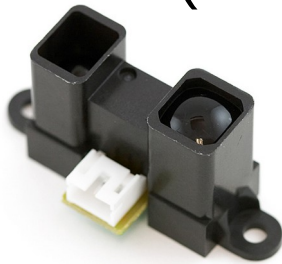
- Carga de baterías
- Consumo de energía
- Temperatura
- Detección de fallos
 - Sensores específicos para modos de fallo
 - Validación cruzada de sensores

Sensores extroceptivos

- De contacto y distancia
 - Interruptores y sensores de carga (“distancia 0”)
 - Sensores IR
 - Ultrasonido
 - Telémetro Laser
 - Luz estructurada
- Ambientales
 - Temperatura, presión atmosférica, campo magnético
- De formación de imágenes
 - En luz visible, IR, imagen térmica...
 - Cámaras, barrido óptico

Sensores de distancia

- Basados en tiempo de retorno de señal (TOF)



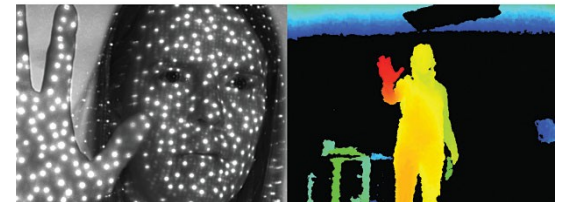
- Basados en nivel de retorno



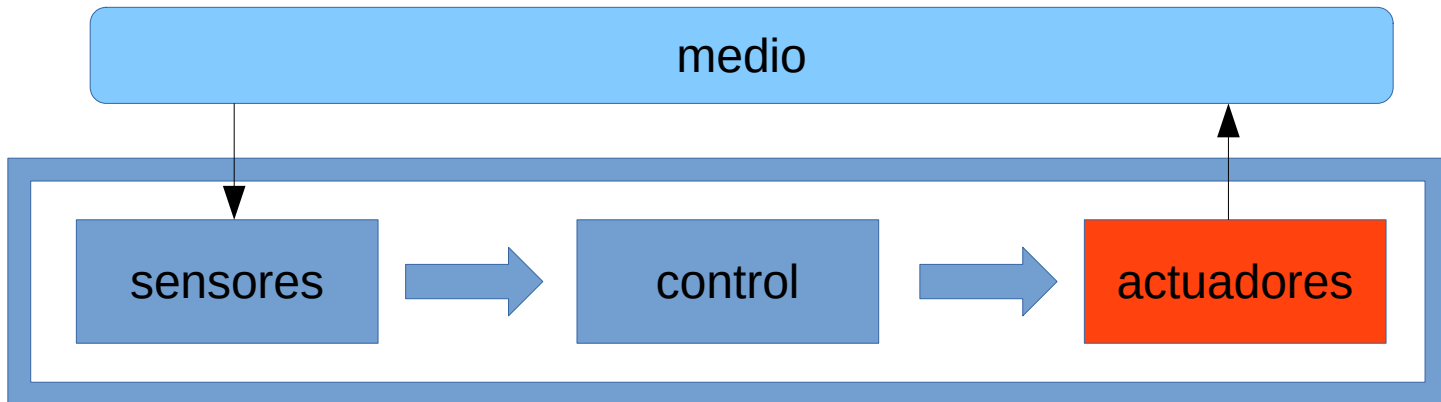
- Interferometría laser (LIDAR)



- Luz estructurada



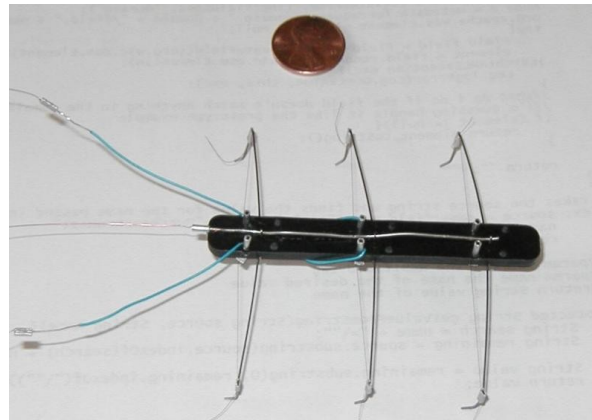
Actuadores



Actuadores

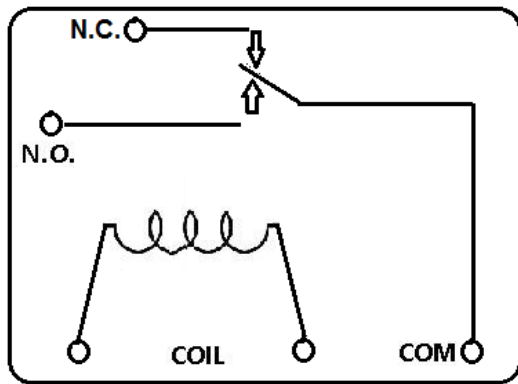
Actuadores mecánicos:

- Electromagnéticos
- Hidráulicos y neumáticos
- Piezoeléctricos
- Materiales con memoria
- ...

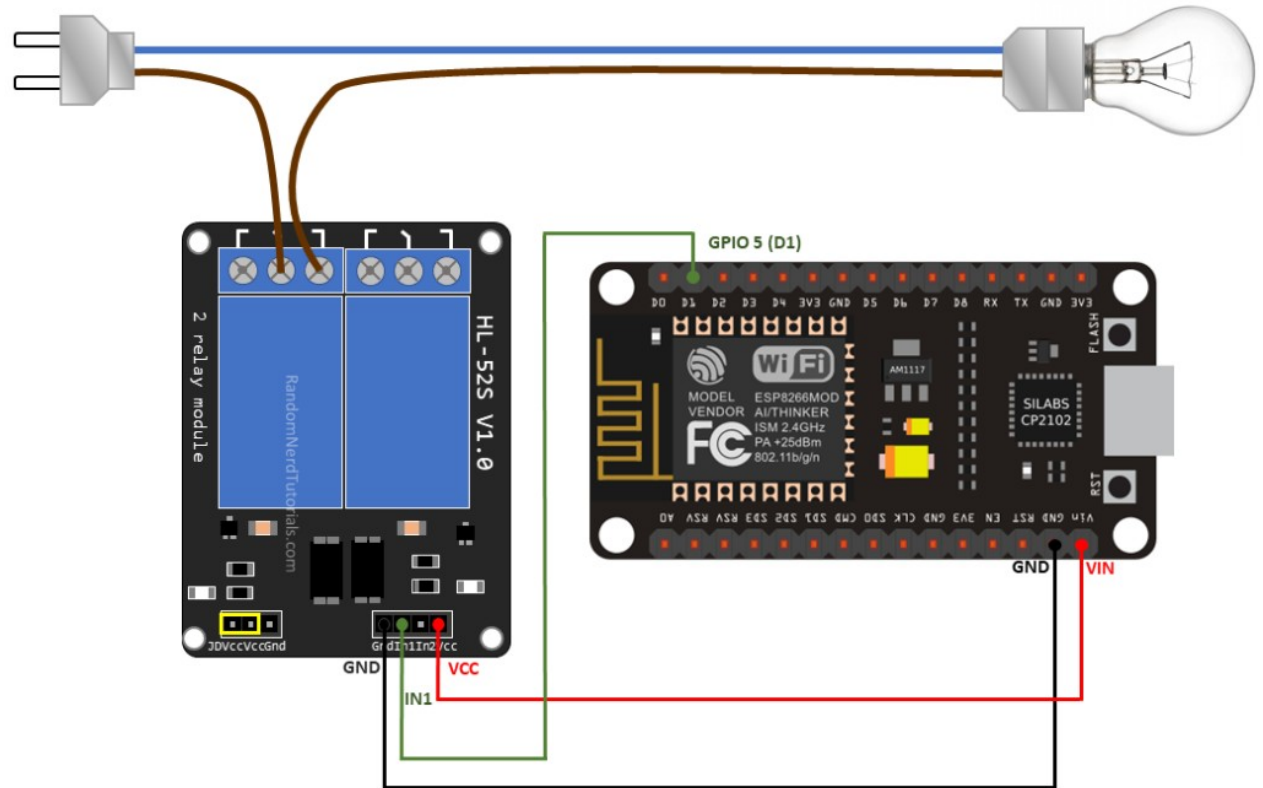


Ejemplo

- Titilar un Relay



○ represents the terminals of the relay



Actuadores

- Ejemplos



Actuadores

Actuadores mecánicos:

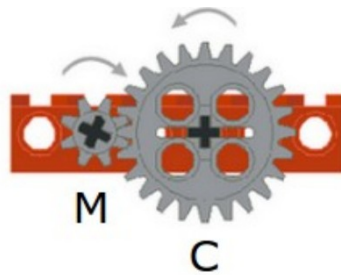
- Motor+cadena de salida
- Motores
 - De rotación
 - Lineales
- Salida manipulada con dispositivos mecánicos



Actuadores

Conversión de movimientos

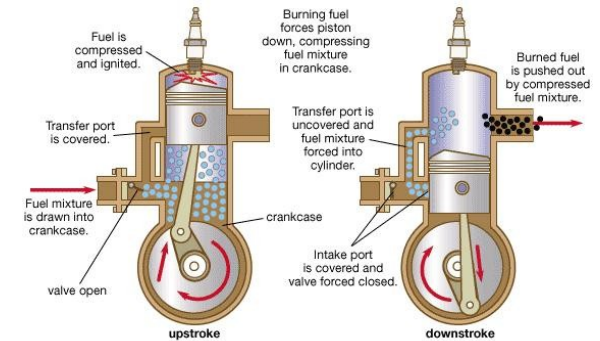
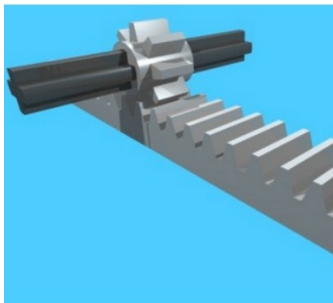
- Rotación – rotación



Relación
 Z_C/C_M
 $= 26/8 = 3:1$



- Rotación – lineal



© 2007 Encyclopedia Britannica, Inc.

Actuadores

Características:

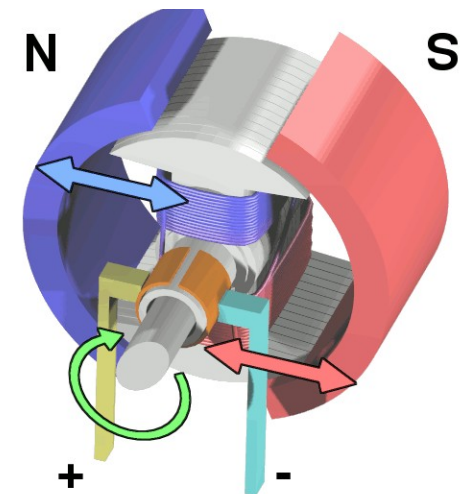
- Dimensiones y peso
- Fuerza / torque
- Velocidad de movimientos
- Potencia consumida y eficiencia
- Parámetro controlado
 - Posición, velocidad, fuerza?
- Precisión, resolución y tiempo de respuesta
- Costo y disponibilidad

Motores eléctricos

- Motores DC
- Steppers
- Servomotores

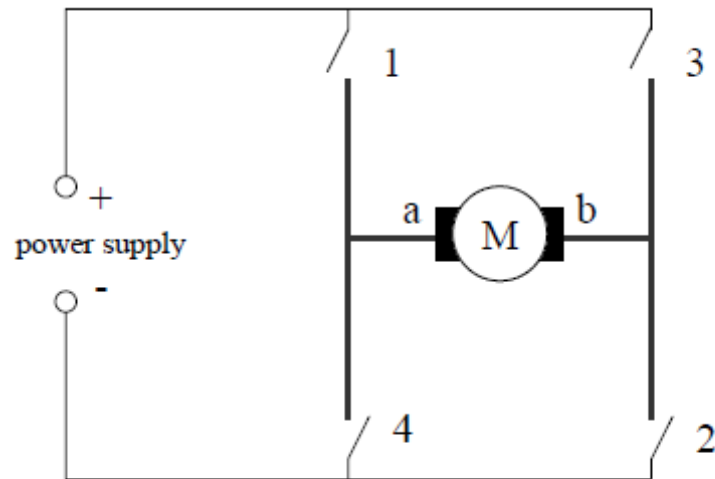
Motores DC

- Se le aplica un voltaje DC y gira
- Gira tan rápido como puede
- Bajo costo, simple.
- Gran variedad y disponibilidad
- No depende de ni ofrece ningún *feedback*

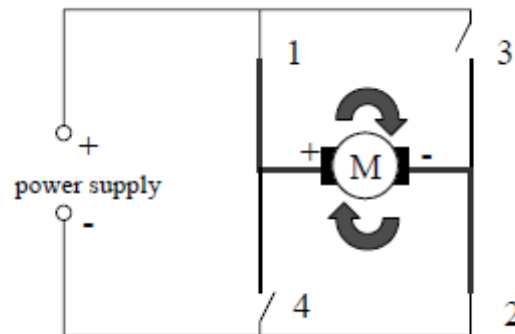


Motores DC

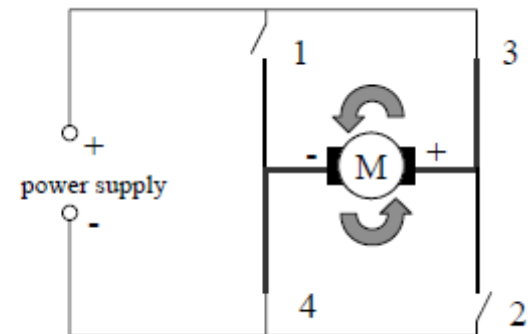
Regulación del sentido de giro: Puente-H



Horario:



Antihorario:

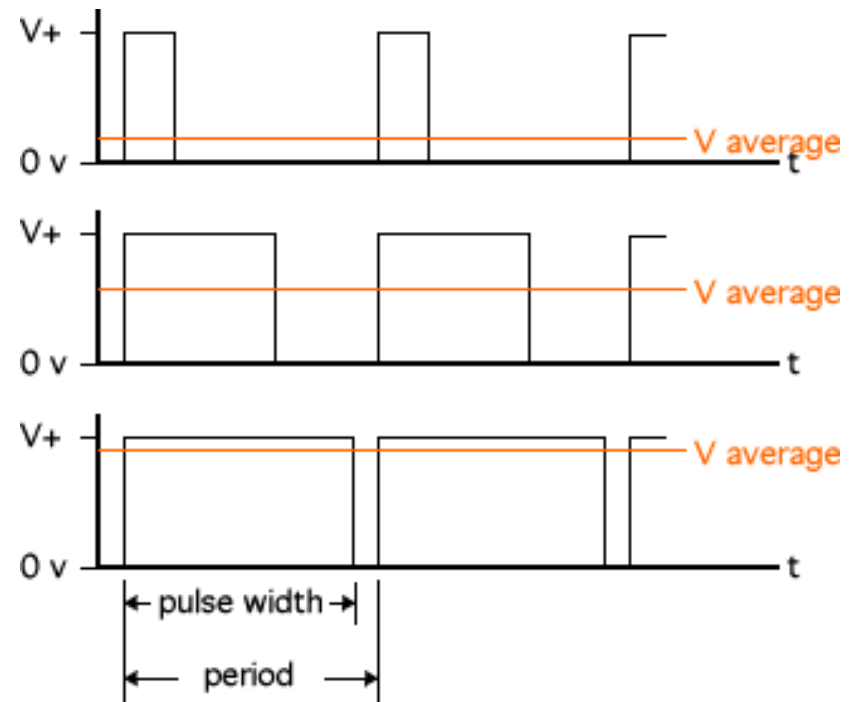


Motores DC

Regulación de velocidad

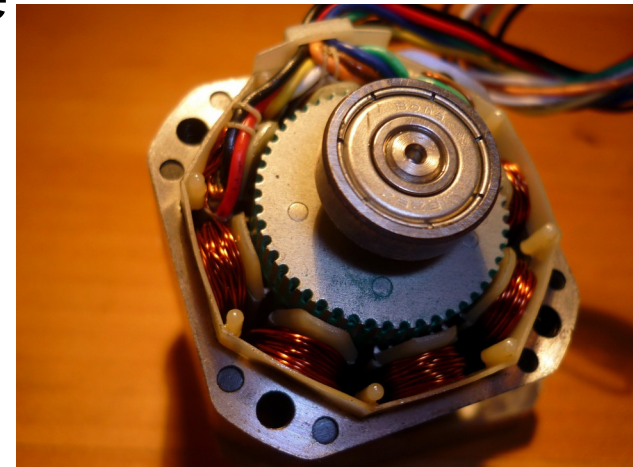
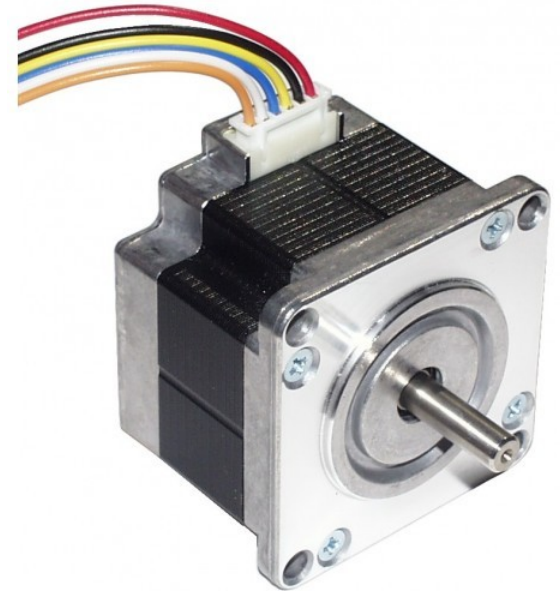
- *Pulse Width Modulation* (PWM), pulsos de período variable.

PWM



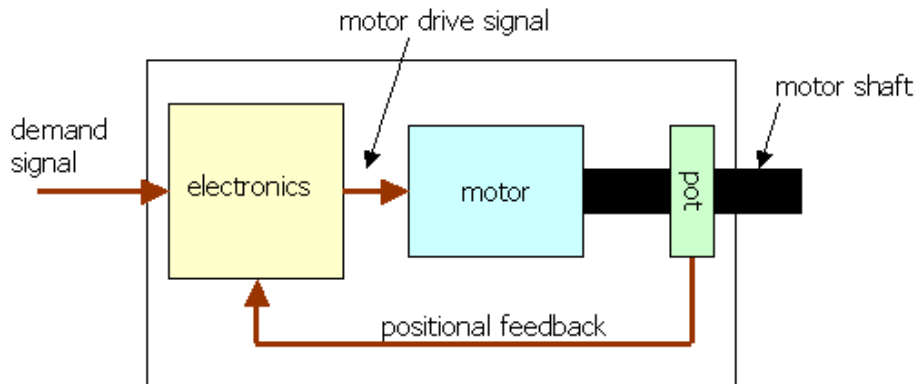
Motores *stepper*

- Avanzar un paso a la vez y mantener la posición
- Rotación consiste en pasos discretos
 - Varios modos posibles, según cuantas bobinas se energicen
- Resolución depende del número de bobinas
- No ofrece ni usa *feedback*



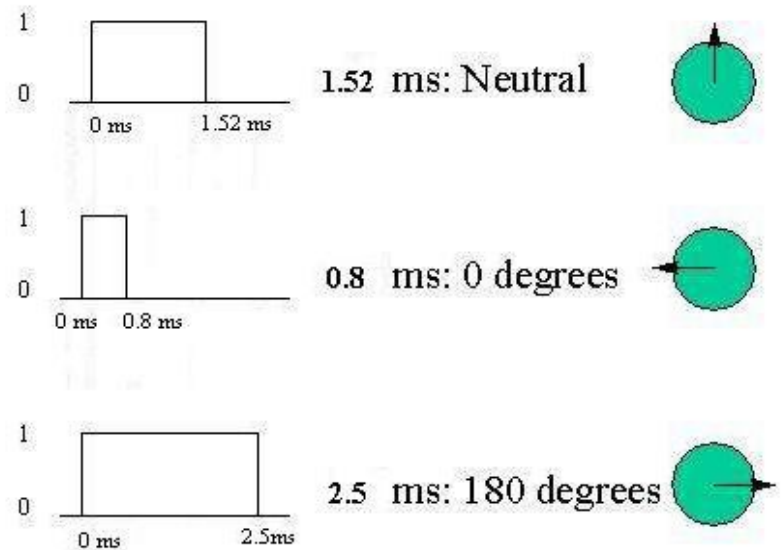
Servomotores

- DC + encoder + sistema de control
- De posición o de rotación continua
- Control digital
 - Señalización PWM
 - Protocolo de comunicaciones



Servomotores RC

- RC Servos
 - Bajo costo
 - Tamaños, montajes y control estándar
 - Gran variedad de prestaciones



Ejemplo

- Mover Servo con Potenciometro

Preguntas

