UNIVERSIDAD DE GRANADA

ICAR

Sistemas con Microprocesadores

Comunicaciones serie

en microcontroladores

Comunicación serie

Entre microcontroladores o microcontrolador con dispositivo

Corta distancia: I^2C, SPI, One Wire, (USB) …

Media distancia: CAN**,** RS-232…

RS-232:

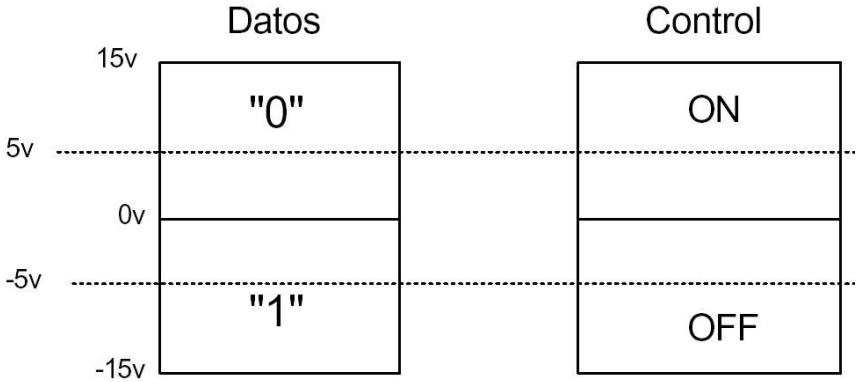
- Era el puerto serie habitual en el PC antes del USB.
- Se usa en aplicaciones embebidas y algunos periféricos.
- Fácil de programar/implementar (software/hardware).
- Transmisión de palabras de 5 a 8 bits (hasta 9 en ATmega).
- Velocidad moderada de transmisión.
- Gran cantidad de bibliotecas / API / funciones para TX/RX.
- Esta comunicación se puede virtualizar en un PC:
  - Sobre USB, Bluetooth

RS-232

Cableado mínimo necesario:

Características:

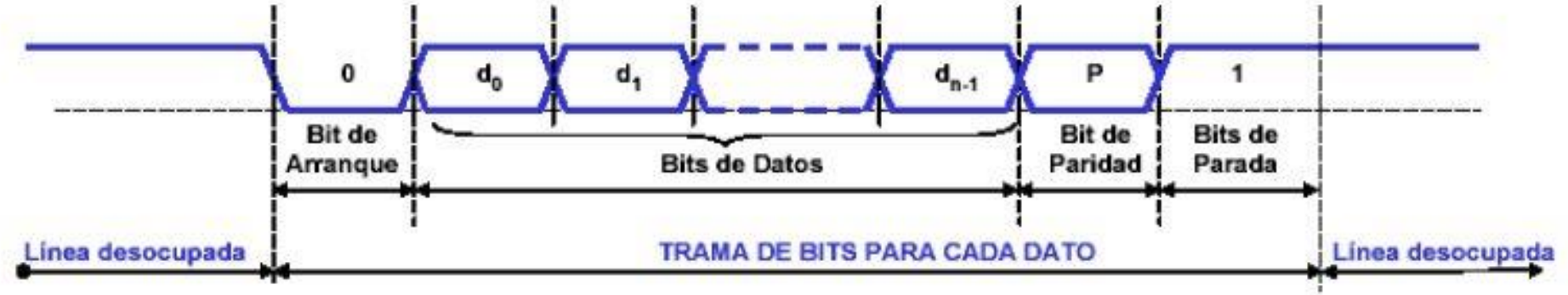
- Interconexión punto a punto
- Velocidades estandarizadas: 300 a 115200 bps, y superiores no estandarizadas
- Trans. típica: asíncrona (síncrona en otros RS)
- Modo de trans.: *full-dúplex* (*half-duplex* en otros)
- Tres especificaciones
  - Eléctrica (V.28)
  - Mecánica (ISO 2110)
  - Funcional (V.24)



Especificación eléctrica:

- Transmisión no balanceada
  - Referencias a 0V

Formato de la trama:



RS-232

Especificación funcional:

- Líneas de datos:
  - **TxD** y **RxD**
- Líneas de control de flujo:
  - Request to send (RTS)
  - Clear to send (CTS)
  - Data Carrier Detected (DCD)
- Líneas de establecimiento de conexión:
  - Data Terminal Ready (DTR)
  - Data Set Ready (DSR)
  - Ring Indicator (RI)
- Líneas de referencia:
  - **Masa (GND)**
  - Masa de protección (SGH)

DB25

DB9

Especificación mecánica:

- Conector ISO 2110 (DB25)
  - 25 pines, se usan 21.
- Conector DB9
  - Versión IBM (solo asíncrona)
- Longitud del cable: Depende de los baudios: 15 m, 1 km…

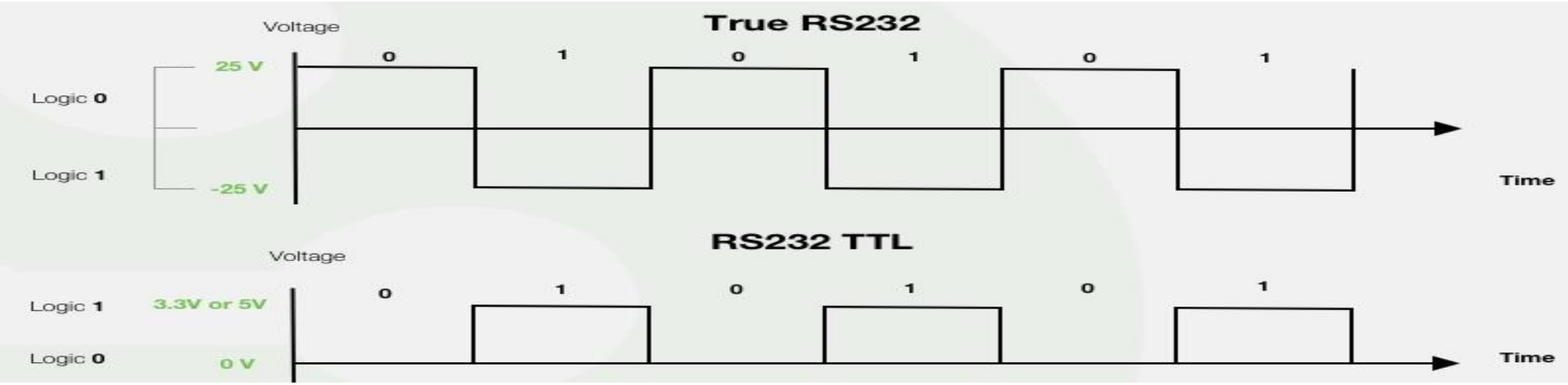
RS-232
Control de flujo

- Protocolos software
  - XON – OFF: Caracteres especiales XON y XOFF. XOFF detiene el envío de datos desde el modem al PC, XON solicita más datos.
  - ENQ – ACK (ASCII-BSC): *Enquiry*: solicitud de información. *Acknowledge*: confirmación (ASCII).

- Protocolos hardware
  - RTS – CTS: líneas de control: Request To Send – Clear To Send.
  - DTR – DSR: líneas de control: Data Terminal Ready – Data Set Ready.

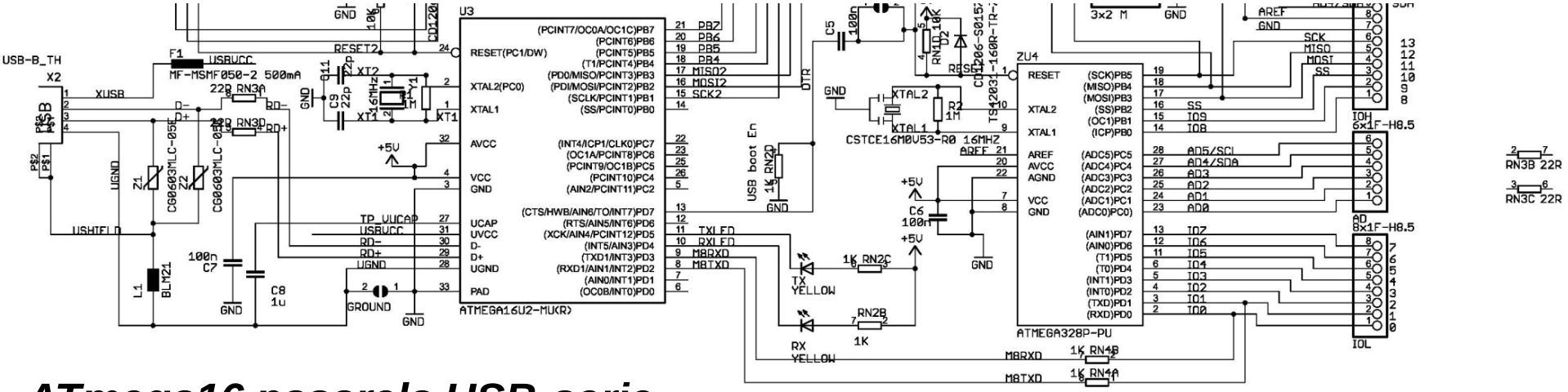
Esquema Arduino: Comunicación serie

RS232 **TTL** (no usa voltajes negativos)



- En los pines 0 (RX) y 1 (TX) de la placa Arduino

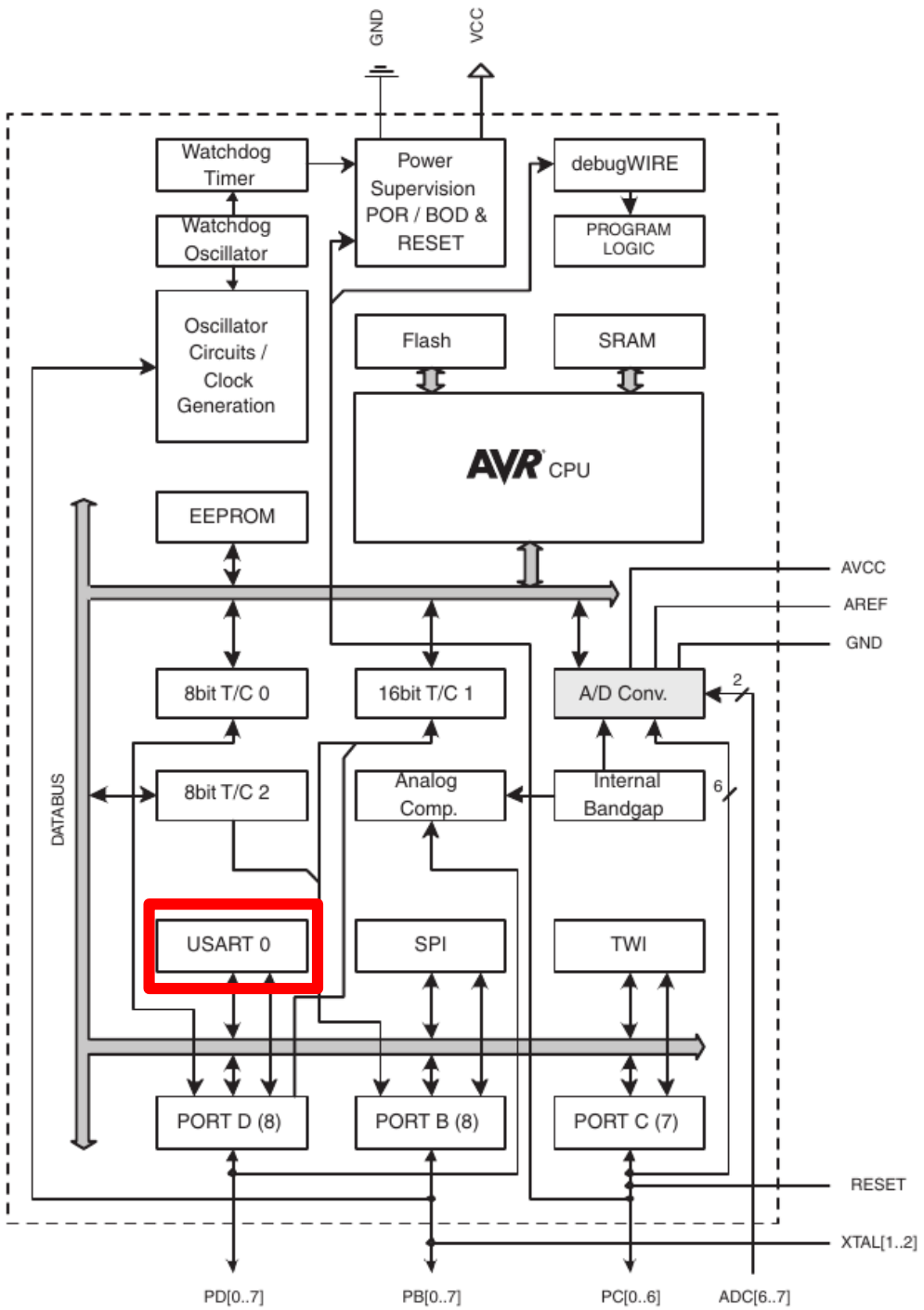
  (Arduino Mega tiene 3 puertos serie adicionales)



ATmega16 pasarela USB-serie

Cruce de líneas: RX<->TX y TX<->RX

USART en ATmega328P



Puerto serie en Arduino

- Serial:
  - Usa el circuito USART del microcontrolador
  - https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/
  - `Serial.begin()`
  - `Serial.write()`
  - `Serial.print()`
  -
```
if(Serial.available() > 0)
    salida = Serial.read();
```

- SoftwareSerial
  - Implementación software del circuito interfaz del puerto serie
  - Permite crear un puerto serie en otras patillas del microcontrolador
  - https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial

Comunicación serie con Arduino
Llamada y respuesta (*handshaking*)

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Inicia el puerto a 9600 bps
  while(!Serial) { } // Espera la conexión (sólo en Leonardo)
  pinMode(2, INPUT);  // Entrada digital pin 2 (sensor a monit.)
  establishContact(); // Envía un byte mientras no haya respues.
}

void establishContact()
{
  while(Serial.available() <= 0)
  {
    Serial.print('A');    // envía una A
    delay(300);
  }
}
```

Comunicación serie con Arduino

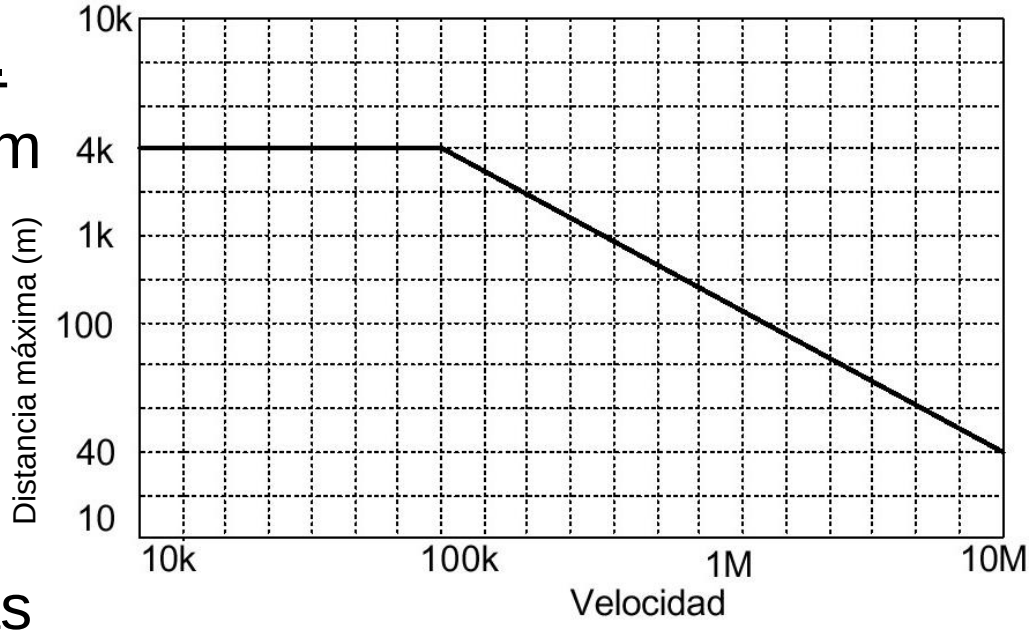
```
void loop()
{
  if(Serial.available() > 0) // Si hay un byte válido:
  {
    inByte = Serial.read(); // Lee el byte

    // Lee el valor del conversor y /4 -> rango: 0..255
    firstSensor = analogRead(A0) / 4;
    delay(10);  // espera 10 ms
    // Lee el segundo conversor
    secondSensor = analogRead(A1) / 4;
    thirdSensor = map(digitalRead(2), 0, 1, 0, 255);

    Serial.write(firstSensor);// envía los valores
    Serial.write(secondSensor);
    Serial.write(thirdSensor);
  }
}
```

RS-422 y RS-423-A

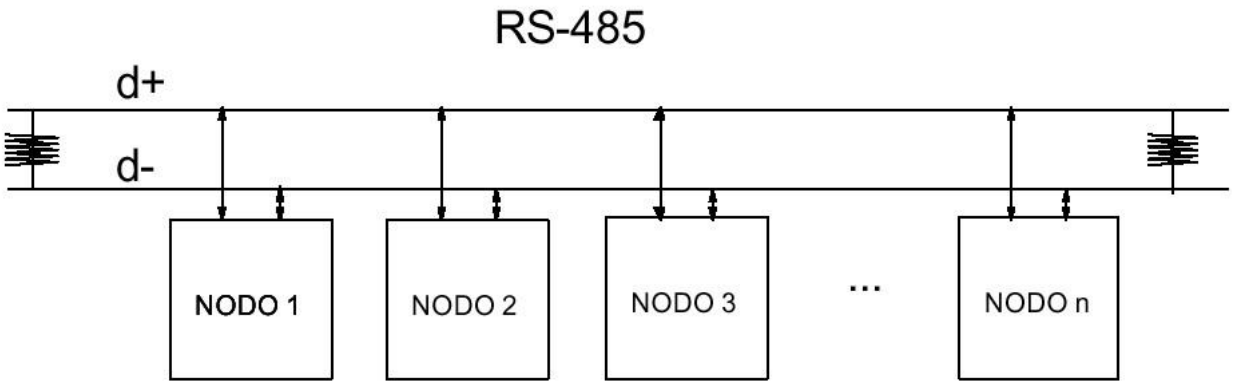
- 1 emisor, hasta 10 recept.
- Longitud de cable ~1500 m
- Utilizada en ambientes industriales, transmisión de vídeo, etc.
- Evolución de RS-232
- Especificaciones eléctricas
  - RS-423 no balanceada (no muy usado), voltaje más reducido y mayor sensibilidad que RS-232.
  - RS-422 balanceada e impedancia controlada (100 ohmios).

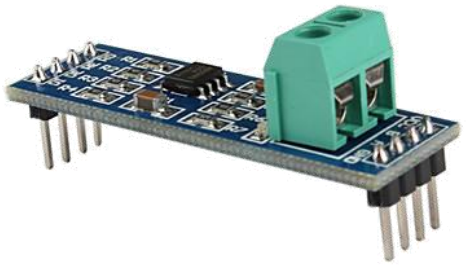


- Niveles de tensión: -6 V a 6 V
- Sensibilidad 200 mV.

RS-485

- Multipunto
  - Hasta 32 emisores y 32 receptores (equivalentes).
  - Posibilidad de conexión en alta impedancia: capacidad de *hot plug.*
- Par trenzado
  - 120 ohmios con terminadores.
  - Resistencias de pull-up y pull-down.
- Comunicación entre nodos. Maestro – esclavo. Multimaestro.
- Longitud del cable hasta ~1,2 km a bajas velocidades.





Comparación de normas:
RS-232, RS-423, RS-422, RS-485

NORMAS	RS-232	RS-423	RS-422	RS-485
Modo	Simple	Simple	Diferencial	Diferencial
Número transmisores	1	1	1	32
Número receptores	1	10	10	32
Longitud máxima	15 m	1200 m	1200 m	1200 m
Velocidad máxima	20 Kbp	100 Kbps	10 Mbps	10 Mbps
Salida transmisor	± 5 V min ± 15 V max	± 3.6 V min ± 6 V max	± 2 V min	± 1.5 V min
Carga al transmisor	3K a 7K	450 mín	100 min	60 min
R de entrada al receptor	3K a 7K	4K min	4K min	12 K min
Sensibilidad del receptor	± 3 V	± 200 mV	± 200 mV	± 200 mV

Bus I^2C (Inter-Integrated Circuit)

- Interfaz síncrono con 2 líneas pensado para la comunicación entre circuitos integrados (C.I.). Desarrollado por Philips en 1982.

- Usa 2 líneas y masa: reloj (SCL) y datos (SDA), ambas con resistencias de *pull-up*. Semidúplex. 100 kbps, 400 kbps y actualmente 3,4 Mbps

- Cada dispositivo tiene una dirección única codificada con 7 bits (o 10 bits de manera opcional).

- Al menos hay un dispositivo maestro, que genera SCL, y uno o varios esclavos que la reciben.

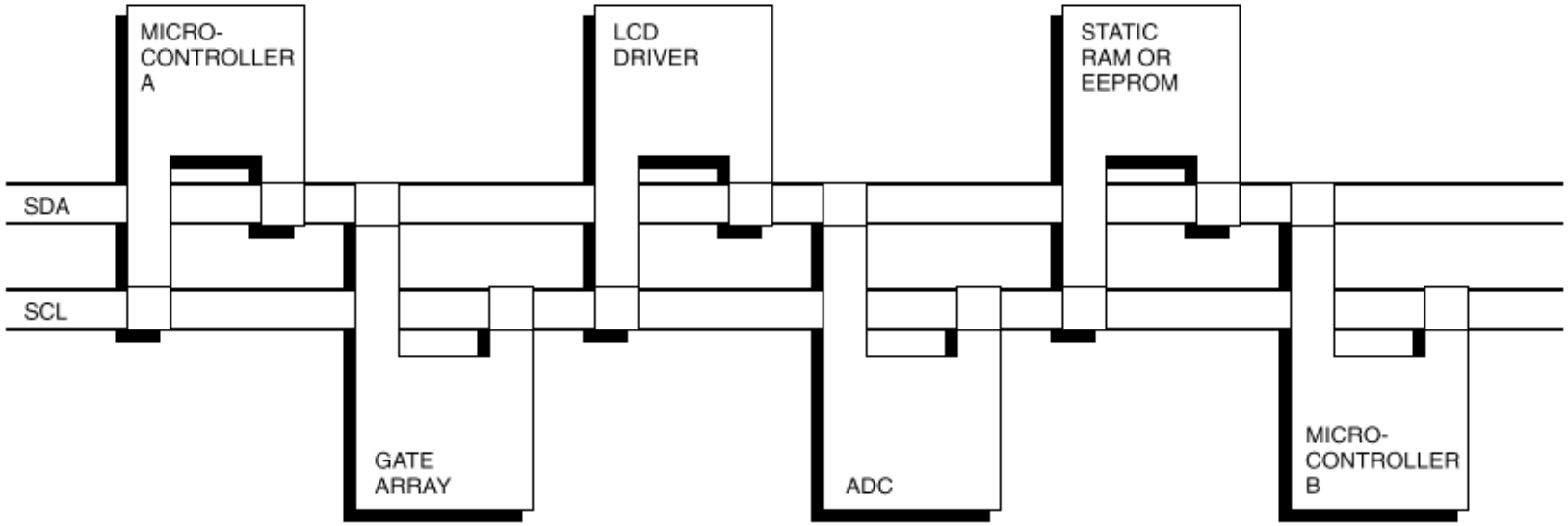
Bus I^2C

- El maestro es el único que tiene capacidad de iniciar la transferencia, decidir con quién se realiza, el sentido de la misma (envío o recepción del maestro) y cuándo se finaliza. Genera la señal de reloj (SCL).

- Se admite la presencia de varios maestros en el bus (sistema multimaestro) con un arbitraje que asegura que en cada instante sólo hay uno que controla el bus.

- Diseño modular y compacto de sistemas con microcontroladores: se añaden o quitan dispositivos sin afectar al funcionamiento del resto del sistema.

Bus I²C: conexión al bus

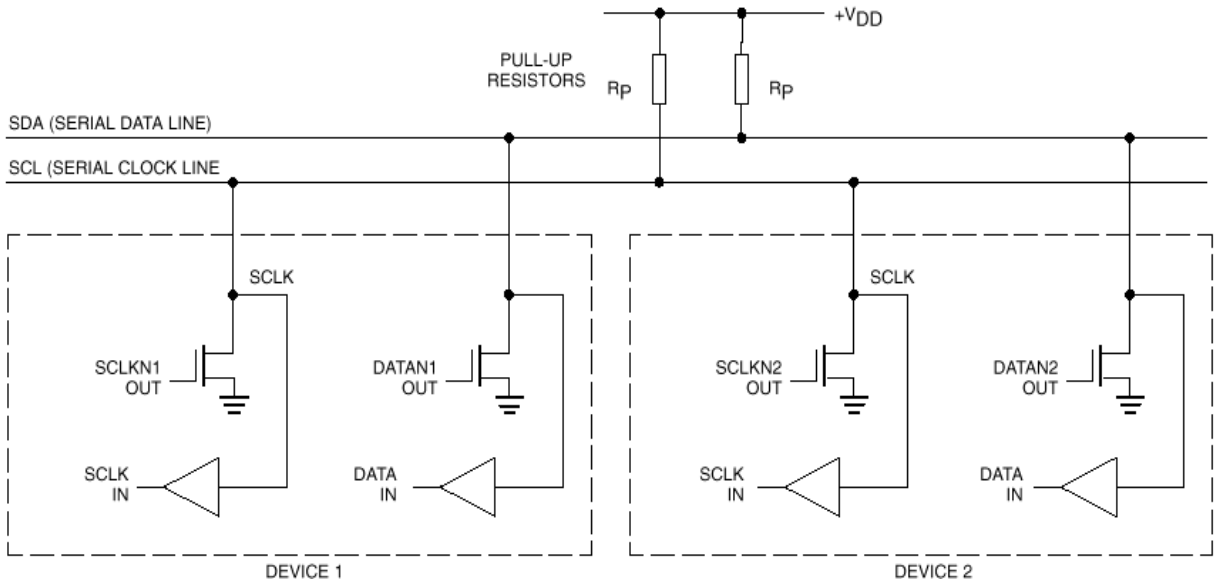


Terminología relacionada:

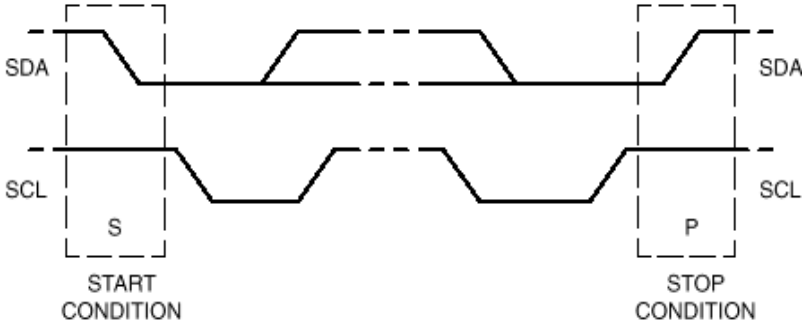
TERM	DESCRIPTION
Transmitter	The device which sends the data to the bus
Receiver	The device which receives the data from the bus
Master	The device which initiates a transfer, generates clock signals and terminates a transfer
Slave	The device addressed by a master
Multi-master	More than one master can attempt to control the bus at the same time without corrupting the message
Arbitration	Procedure to ensure that, if more than one master simultaneously tries to control the bus, only one is allowed to do so and the message is not corrupted
Synchronization	Procedure to synchronize the clock signals of two or more devices

Bus I²C: conexión al bus

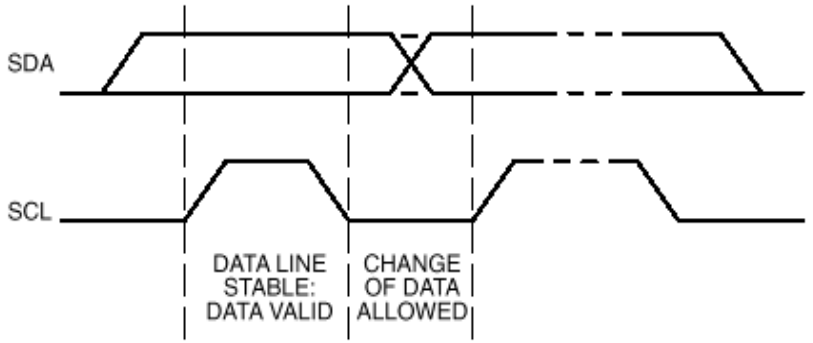
Dispositivos con salidas en colector abierto (o en drenador abierto). Bus libre (en alta, *high*) cuando todas las salidas están “desconectadas” (implementa una NOR cableada).



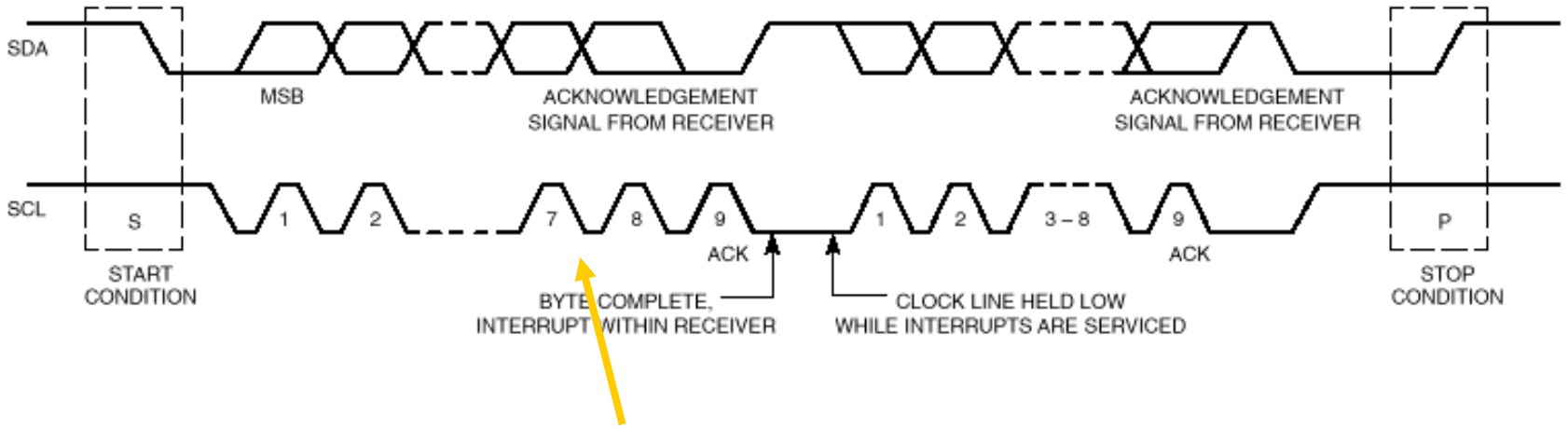
Condiciones de inicio y de parada:



Transferencia de bits en el bus:

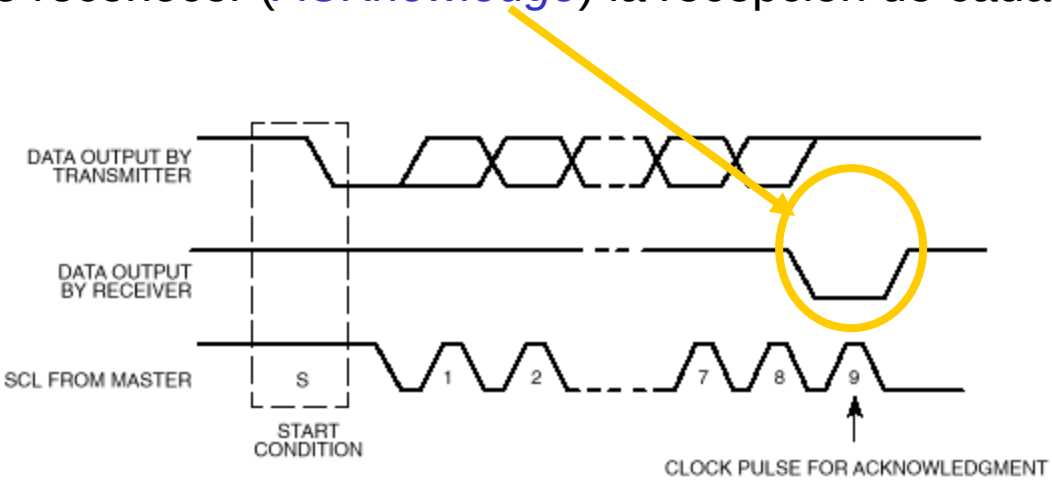


Bus I²C: transferencia de bytes



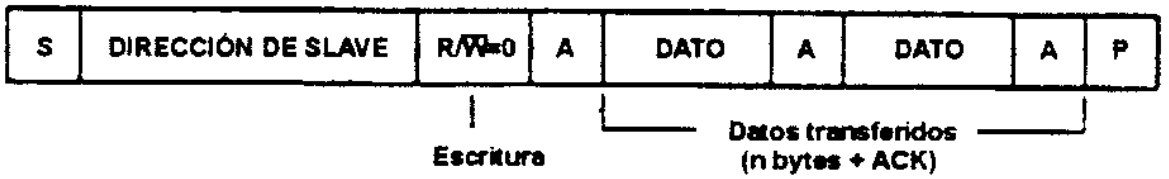
En el primer byte el maestro direcciona al esclavo (direcciones de 7 bits, + 1 bit de R/W). También puede ser una dirección de 10 bits (se da en los 2 primeros bytes).

El receptor debe reconocer (*ACKnowledge*) la recepción de cada byte.

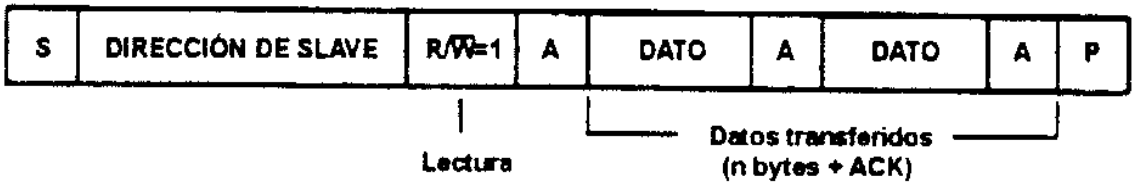


Bus I²C: formatos de trama

a) El MASTER transmite al SLAVE receptor. No cambia el byte de dirección.



b) El MASTER recibe desde el SLAVE después de enviarle a éste la dirección



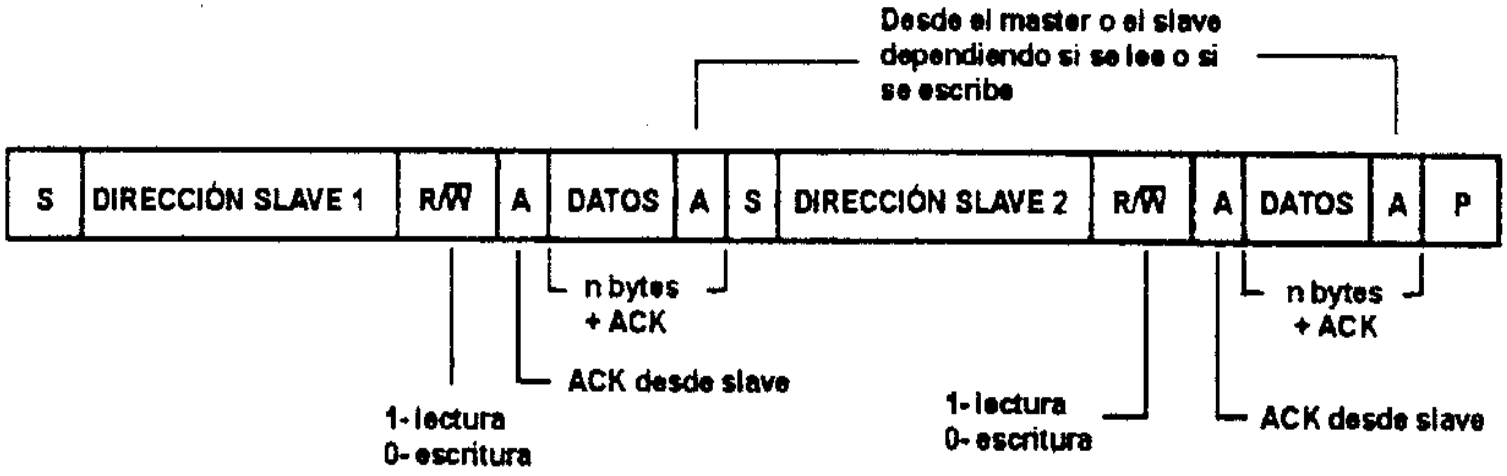
S: secuencia de inicio

P: secuencia de parada

A: ACK

Bus I²C: formatos de trama

c) El MASTER cambia el byte de dirección y selecciona un SLAVE distinto.



S: secuencia de inicio

P: secuencia de parada

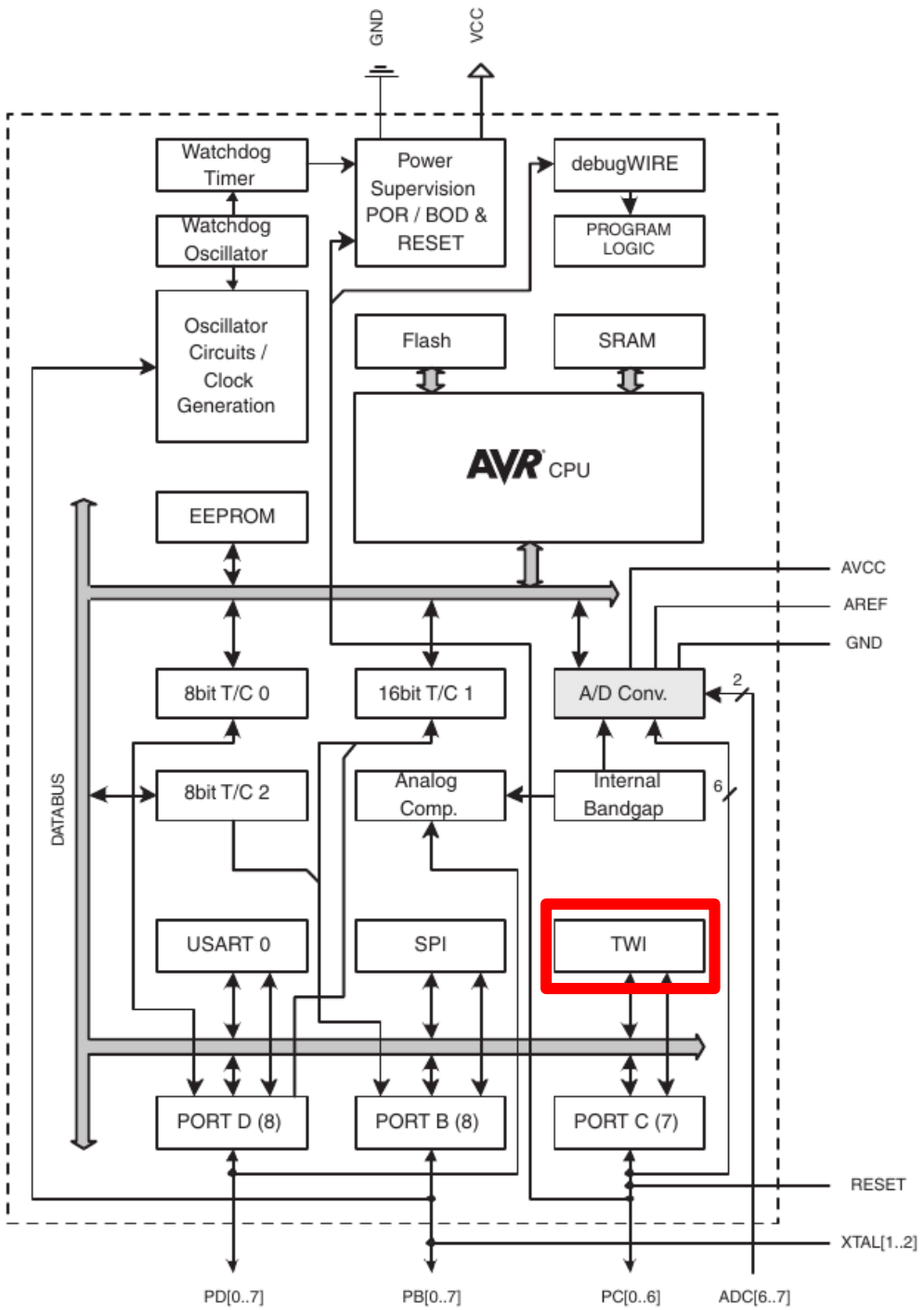
A: ACK

Circuitos típicos I^2C

-Extensor de puertos: PCF8574 (8bits), MCP23017 (16 bits)
-Reloj RTC: DS1301, DS3231 (precisión)
-Memorias EEPROM: 24C04, 24C256(32 Kbytes),
-Conversor A/D 16 bits: ADS1115
-Conversor D/A 12 bits: MCP4725
-Sensor temperatura: Si7021, SHT30, SHT31
-Acelerómetros y giróscopo: MPU6050, ADXL345 (sólo acel.)
-Pantalla OLED: SSD1306
-Pantalla TFT Color: MIKROE-2163
-Sensor de intensidad de luz UV: VEML607
-Sensor Presión y temperatura: BME280
-Control 16 servomotores: PCA9685
-Medidor intensidad: INA219
-Sensor táctil capacitivo: CAP1188

I²C en ATmega328P

I²C = TWI (Two Wire Interface)



I²C con Arduino: Biblioteca Wire

- Ejemplo de uso de Wire:
  - https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire
  - `#include <Wire.h>`
  - `Wire.begin() / Wire.begin(DIR_I2C)`

  Condiciones de inicio y parada desde el maestro:
  - `Wire.beginTransmission()` y `Wire.endTransmission()`
  - Petición desde el maestro: `Wire.requestFrom()`

  Escritura y lectura:
  - `Wire.write()`
  -
```
if(Wire.available())
    salida = Wire.read()
```

  Interrupciones recepción y petición (en el esclavo):
  - `Wire.onReceive()` `Wire.onRequest()`

Ejemplo I²C: EEPROM 24C256

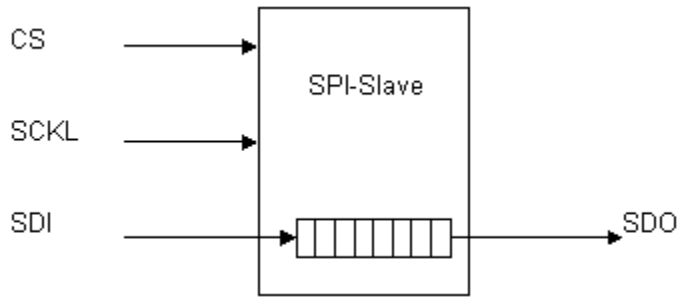
- Voltaje: 4,5V…5,5V (24C256), 2,5V…5,5V (24LC256)
- Tamaño: 256 kbits
- Consumo máximo en escritura: 3 mA a 5,5 V
- Consumo *standby*: 500 nA a 5,0 V
- Compatible 100 kbps y 400 kbps
- Circuito de protección "*power on/off*"
- Protección de escritura hardware (patilla WP)
- 1,000,000 ciclos de borrado/escritura
- Hasta 64 bytes en modo página
- Tiempo de escritura típico: 5 ms (byte o página)
- Hasta 8 dispositivos en el mismo bus
- Retención de datos > 200 años

- Funciones acceso Arduino: http://playground.arduino.cc/Code/I2CEEPROM

`i2c_eeprom_write_byte, i2c_eeprom_read_byte, …`

Bus SPI (Serial Peripheral Interface)

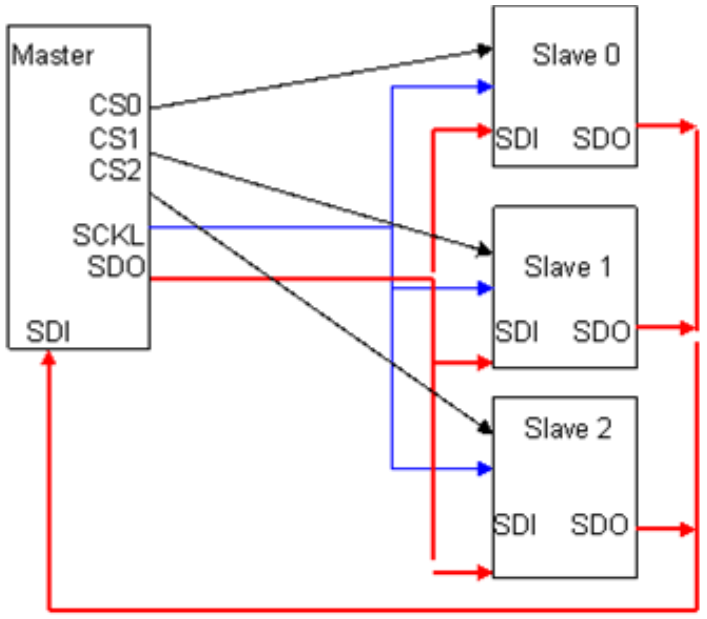
- Desarrollado por Motorola en la década de 1980.
- Otra versión reducida: MicroWire (National Semiconductor).
- Se utiliza principalmente para comunicación vía serie entre un microcontrolador (maestro) y los periféricos (esclavos).
- También se pueden conectar 2 microcontroladores a través de SPI.
- Conversores, sensores, memorias, potenciómetros, …
- SPI funciona en una configuración maestro-esclavo.
- Señales: reloj (SCLK), selección de chip (CS), Serial Data In (SDI) y Serial Data Out (SDO).
- *Full-dúplex*
- ~20 Mbps



Bus SPI con múltiples dispositivos

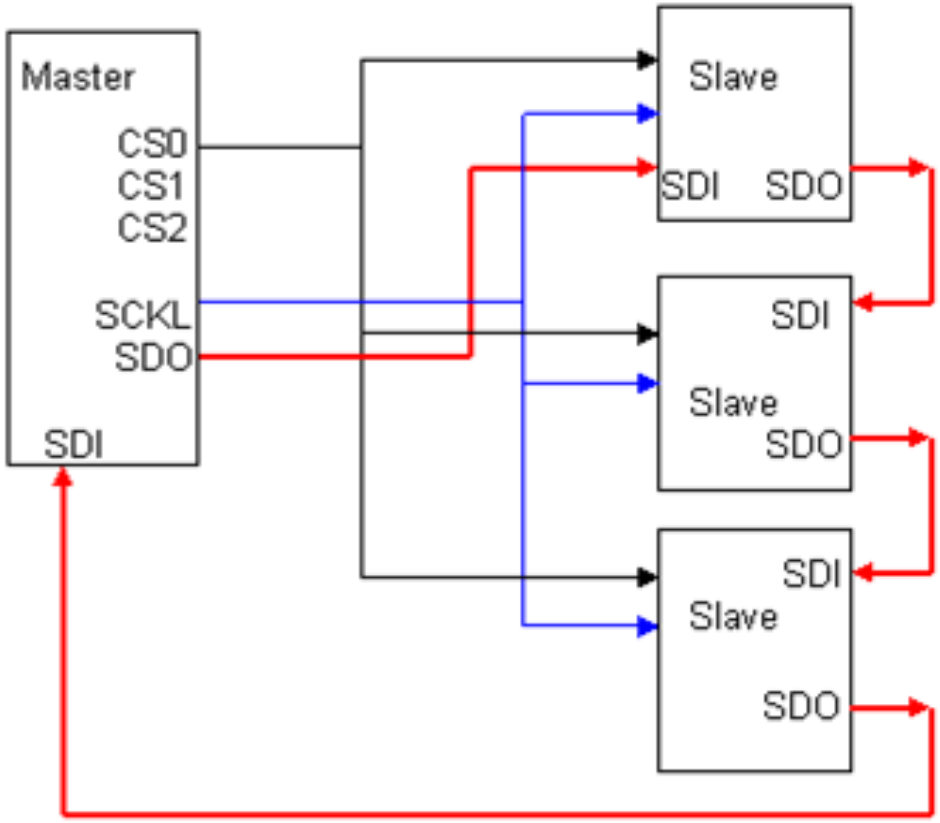
- Sólo hay un maestro, el número de esclavos depende de líneas de selección.
- Maestro envía relojes y selecciona circuitos integrados. Activa los esclavos con quien se quiere comunicar.
- En esta configuración hay 3 dispositivos esclavos. Las líneas SDO están unidos a la línea SDI del maestro.

El maestro determina el C.I. con el que se quiere comunicar con las líneas CS. La salida de los esclavos que no están transmitiendo pasa a un estado de alta impedancia.

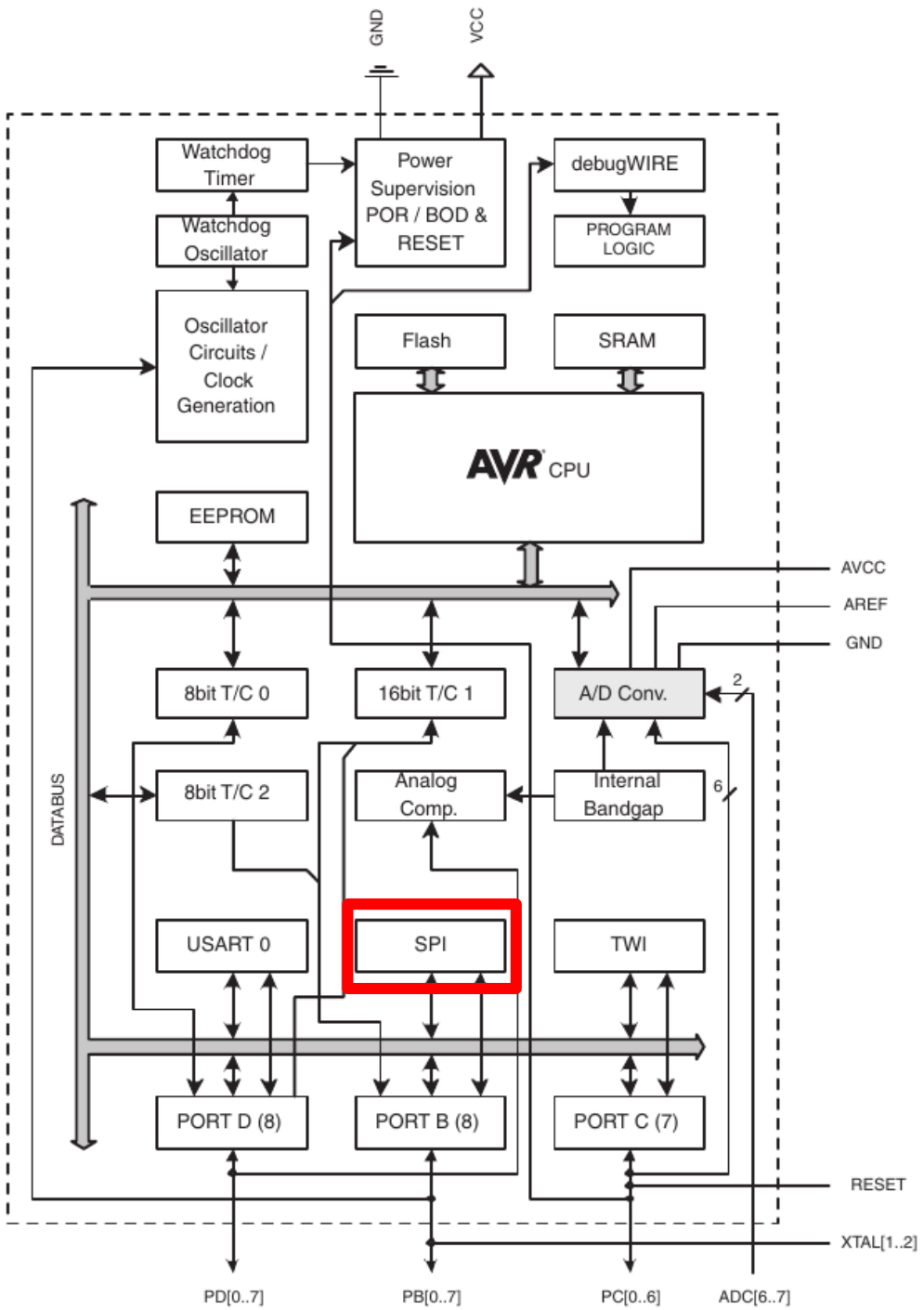


SPI: Configuración en cascada

- Cada esclavo se conecta en cascada de manera que la salida de un esclavo es la entrada de otro. El conjunto se trata trata como un único esclavo y se conecta a la misma CS.



SPI
en
ATmega328P



SPI en Arduino

- Métodos SPI:
  - https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/communication/SPI/
  - `#include <SPI.h>`
  - `SPI.begin()` (en `setup()`)

  Tanto para lectura como escritura síncrona:
  - `dato = SPI.transfer(0) / SPI.transfer(dato)`

- Inicializa el bus definiendo parámetros de funcionamiento:
  - `SPI.beginTransaction(SPISettings(Fclk, MSBFIRST, SPI_MODE<X>));`

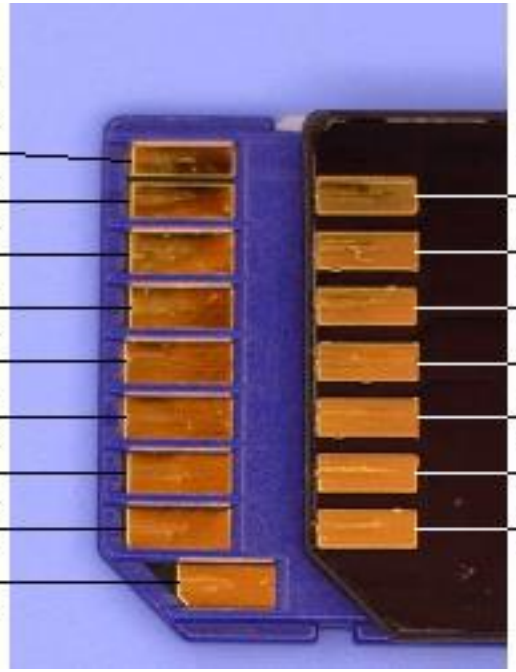
  …
  - `SPI.endTransaction();`
  - Los dispositivos SPI conectados pueden requerir distintas velocidades

Uso de SD/MMC mediante SPI

- Las tarjetas SD/MMC soportan:
  - modo nativo de comunicación (más rápido)
  - Comunicación mediante SPI
- Voltaje: 3V…3V3

SDC

No	SD	SPI
8	DAT1	
7	DAT0	DO
6	Vss2	
5	CLK	SCLK
4	Vcc	
3	Vss1	
2	CMD	DI
1	CAT3	CS
9	DAT2	



MMC

No	MMC	SPI
7	DAT	DO
6	Vss2	
5	CLK	SCLK
4	Vcc	
3	Vss1	
2	CMD	DI
1	RES	CS

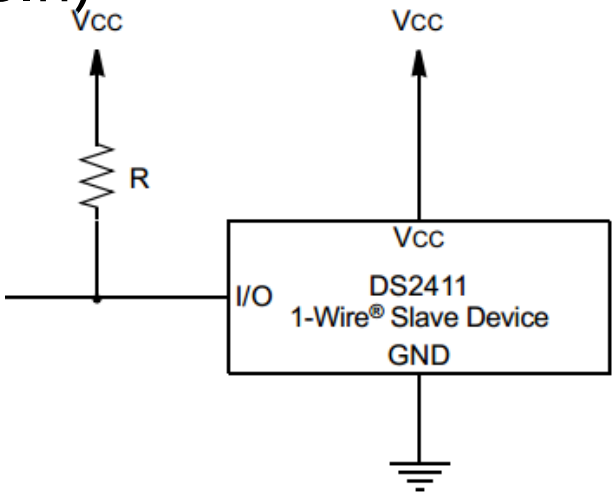
- Acceso con biblioteca SD de Arduino (SD.h)
- https://naylampmechatronics.com/blog/38_tutorial-arduino-y-memoria-sd-y-micro-sd.html

Bus 1-Wire

- Diseñado por Dallas Semiconductor
- Bus basado en 1 hilo + GND. (2,8v...6v)
- Incluye alimentación, bidireccional (half-dúplex).

(15,4 kb/s…125 kb/s) (Difícil > 30 kb/s)

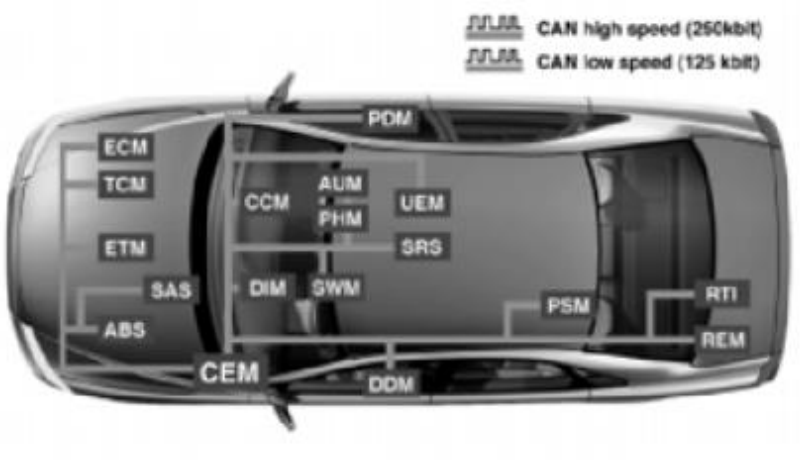
- 1 Maestro, múltiples dispositivos
- Se identifican por dirección (ID) única de 64 bits (8 b check)
- Sensores temperatura (DS18B20), iButton, …
- Biblioteca OneWire de Arduino (OneWire.h)
- http://playground.arduino.cc/Learning/OneWire

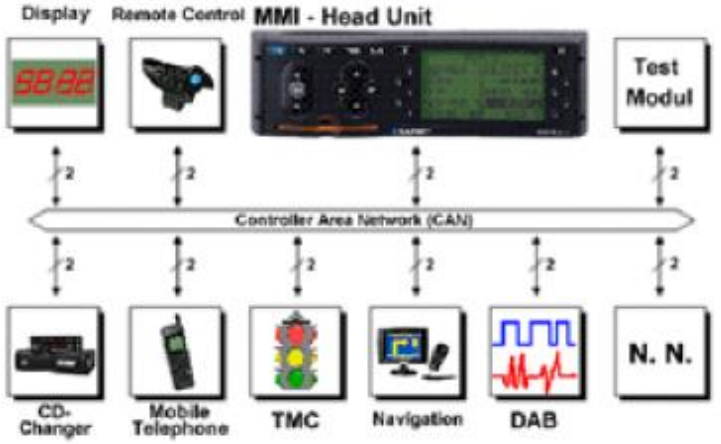


Bus CAN (*controller area network*)

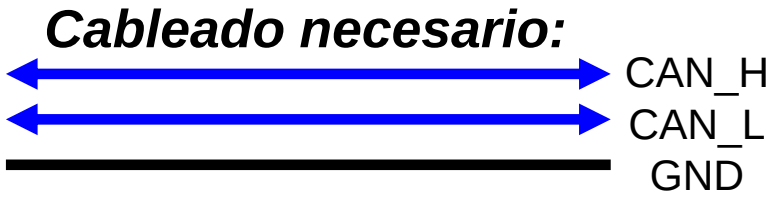
Historia:

- Desarrollado en 1983 por Bosch. Originalmente para aplicaciones en automoción.
- Idea inicial: comunicar entre si varios microcontroladores. Para:
  - control del motor
  - control de transmisión automática
  - sistemas de frenos ABS (antibloqueo de ruedas)…
  - Conectar sensores y actuadores
- Desde 1992 se utiliza en coches, y la mayoría de las compañías de automoción europeas lo utilizan.





Bus CAN



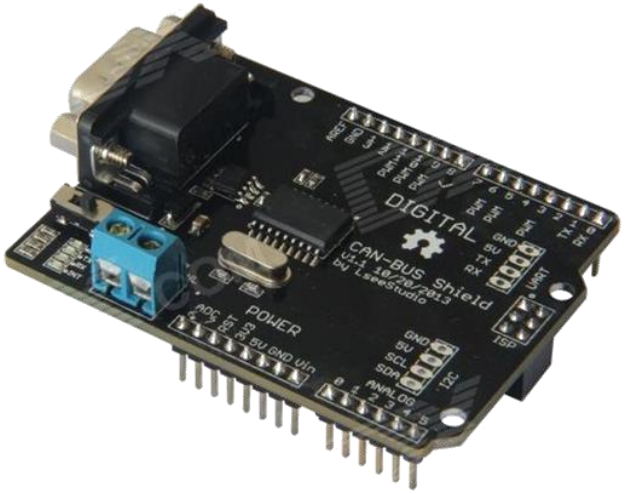
- Flexibilidad. Se pueden añadir nodos, sin que ello perturbe el funcionamiento de los demás nodos.
- Gran fiabilidad en la transmisión:
  - Detección de errores
  - Señalización y envío de errores
  - Reenvío automático de mensajes corruptos cuando el bus está activo de nuevo
- Distinción entre errores temporales y fallos permanentes de nodos.
- Desconexión automática de nodos defectuosos.
- Puede operar en ambientes con condiciones extremas de ruido e interferencias.
- Distancias de entre 20 m (a 1 Mbps) a 5 km (10 kbps)

Bus CAN con Arduino

- Se necesita un circuito interfaz para conectarlo al microcontrolador ATmega328P.

```
#include <CAN.h>

uint8_t messageAvailable(void); // ¿Hay msj CAN?
char getMessage(messageCAN *msje); // Recibe msj CAN
sendMessage(messageCAN *msje); // Envía msj CAN
printMessage(messageCAN *msje); // Imprime msj
```



Automóviles

- El bus EOBD es obligatorio para todos los coches de gasolina desde 2001 y diésel desde 2004.

ELM327

```
#include <WaspCAN.h>

// Funciones directas
unsigned int getEngineLoad();
unsigned int getEngineCoolantTemp();
unsigned int getFuelPressure();
unsigned int getIntakeMAPressure();
unsigned int getEngineRPM();
unsigned int getVehicleSpeed();
  …
```


EOBD