



Tema 3: Expansión de recursos

El bus I²C

Protocolo de comunicación I²C



Índice de la Lección

- Introducción
- Características del bus I²C
- Conexión de dispositivos al bus: nivel físico
- Intercambio de información: nivel de enlace
- Generación del protocolo desde un microcontrolador
- Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C
- Conclusiones
- Bibliografía

Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Índice de la Lección

- **Introducción**
- **Características del bus I²C**
- **Conexión de dispositivos al bus: nivel físico**
- **Intercambio de información: nivel de enlace**
- **Generación del protocolo desde un microcontrolador**
- **Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C**
- **Conclusiones**
- **Bibliografía**

Protocolo de comunicación I²C



Introducción



En las lecciones anteriores se ha visto:

- Interacción con el entorno
 - Puertos de entrada/salida
 - Expansión de memoria externa
- Comunicación serie
 - Asíncrona
 - Sencillo interfaz síncrono

En esta lección vamos a ver:

- Expansión de recursos utilizando un bus serie
- Protocolo de comunicación
- Generación del protocolo
- Ejemplos de dispositivos

Protocolo de comunicación I²C



Introducción



Interconexión de dispositivos mediante bus serie

Ventajas

- Pocos cables de interconexión
- Componentes con encapsulado reducido
- Tarjetas reducidas
- Conexión de dispositivos a distancia

Inconvenientes

- Velocidad inferior a un bus paralelo
- Disponibilidad de circuitos que soporten el bus

Parámetros generales

- Número de hilos de conexión
- Velocidad (bits/segundo)
- Distancia máxima y número de dispositivos
- Protocolo de acceso al medio compartido
- Política de direccionamiento

Protocolo de comunicación I²C



Introducción



Origen del bus I²C (Inter Integrated Circuits Bus)

- Desarrollado por Philips a principios de los 80 como medio de interconexión entre una CPU y dispositivos periféricos dentro de la electrónica de consumo.
 - Simplificar las conexiones entre los periféricos (pistas, decodificadores, ..)
 - Aumentar de la inmunidad al ruido
 - Control de sistemas de audio y vídeo (baja velocidad)
- Actualmente diseñan dispositivos basados en I²C muchos fabricantes
 - Xicor, SGS-Thomson, Siemens, Intel, TI, Maxim, Atmel, Analog Devices
- Aplicaciones
 - Bus de interconexión entre dispositivos en una tarjeta o equipo
 - Sistema de configuración y supervisión en ordenadores servidores
 - Sistemas de gestión de alimentación
 - Conexión en serie de dispositivos externos a un ordenador
 - Tarjetas chip

Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Índice de la Lección

- Introducción
- Características del bus I²C
- Conexión de dispositivos al bus: nivel físico
- Intercambio de información: nivel de enlace
- Generación del protocolo desde un microcontrolador
- Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C
- Conclusiones
- Bibliografía

Protocolo de comunicación I²C



Características del bus I²C



Características del bus I²C

- Bus de comunicación síncrono
 - La comunicación es controlada por una señal de reloj común
- Bus formado por 2 hilos
 - SDA (*Serial DAta Line*): datos
 - SCL (*Serial CLock line*): reloj
 - También es necesaria una referencia común de masa
- Velocidad de transmisión
 - *Standard*: hasta 100 Kbits/s
 - *Fast*: hasta 400 Kbits/s
 - *High-speed*: hasta 3,4 Mbits/s
- Cada dispositivo del bus tiene una dirección única
- Distancia y número de dispositivos
 - Limitado por la capacidad del bus (inferior a 400pF). Normalmente 2 o 3 metros
- Protocolo de acceso al bus:
 - Maestro – esclavo
 - I²C soporta protocolo multimaestro

Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Índice de la Lección

- Introducción
- Características del bus I²C
- Conexión de dispositivos al bus: nivel físico
- Intercambio de información: nivel de enlace
- Generación del protocolo desde un microcontrolador
- Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C
- Conclusiones
- Bibliografía

Protocolo de comunicación I²C

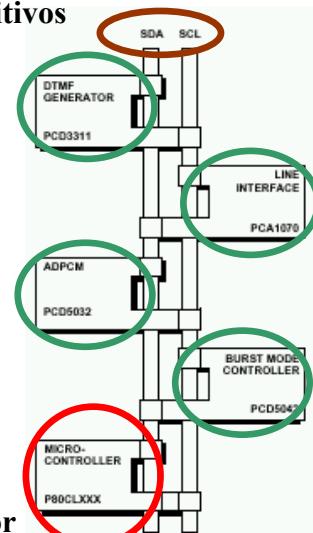
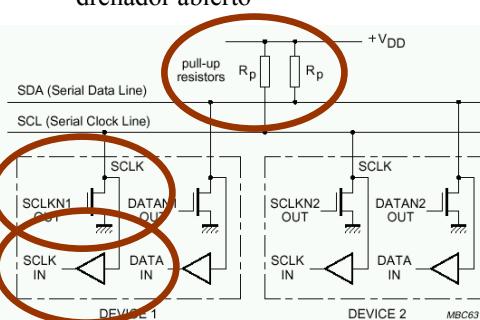


Conexión de dispositivos al bus: nivel físico



Conexión en bus

Dispositivos



Microcontrolador

Protocolo de comunicación I²C

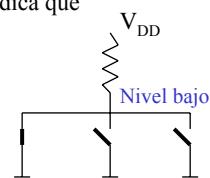
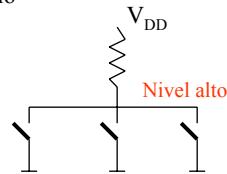


Conexión de dispositivos al bus: nivel físico



Características de una conexión en colector abierto

- Permite conectar varias fuentes de datos a un mismo hilo
- **Nivel alto en el bus**
 - Si ningún dispositivo accede al bus
 - Si ningún dispositivo transmite un cero
- **Nivel bajo en el bus**
 - Si un dispositivo pone un nivel bajo
 - Si dos dispositivos escriben a la vez siempre prevalecen los ceros
 - AND cableada
 - Si un dispositivo escribe un nivel alto pero lee un cero indica que otro dispositivo está también accediendo al bus



Protocolo de comunicación I²C

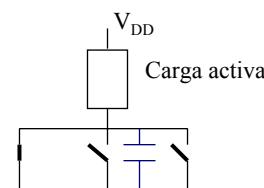
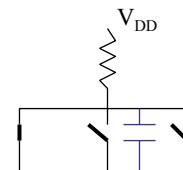
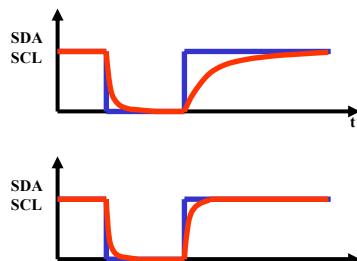


Conexión de dispositivos al bus: nivel físico



Inconvenientes de la conexión en colector abierto

- Las capacidades de la línea se cargan a través del *pull-up*
- Se puede solucionar utilizando una carga activa en lugar de un resistor



Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Índice de la Lección

- Introducción a la comunicación entre dispositivos mediante un bus serie
- Características del bus I²C
- Conexión de dispositivos al bus: nivel físico
- **Intercambio de información: nivel de enlace**
- Generación del protocolo desde un microcontrolador
- Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C
- Conclusiones
- Bibliografía

Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



Protocolo de acceso al medio: maestro - esclavo

- El maestro controla la comunicación
 - Genera la señal de reloj del bus (SCL)
 - Inicia y termina la comunicación
 - Direcciona a los esclavos
 - Establece el sentido de la comunicación
- El protocolo requiere que cada byte de información sea confirmado por el destinatario

Nomenclatura

- **Emisor:** Dispositivo que envía datos al bus
- **Receptor:** Dispositivo que recibe datos del bus
- **Maestro:** Dispositivo que inicia una transferencia, genera las señales de reloj y termina la transferencia
- **Esclavo:** Dispositivo direccionado por un maestro

Protocolo de comunicación I²C

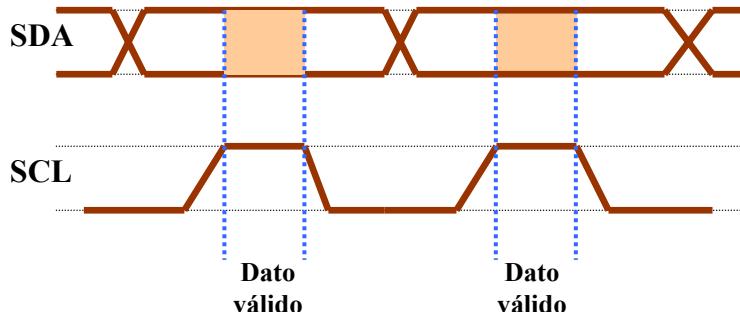


Intercambio de información: nivel de enlace



Transmisión de bits

- Los bits de datos van por SDA
- Por cada bit de información es necesario un pulso de SCL
- Los datos sólo pueden cambiar cuando SCL está a nivel bajo



Protocolo de comunicación I²C

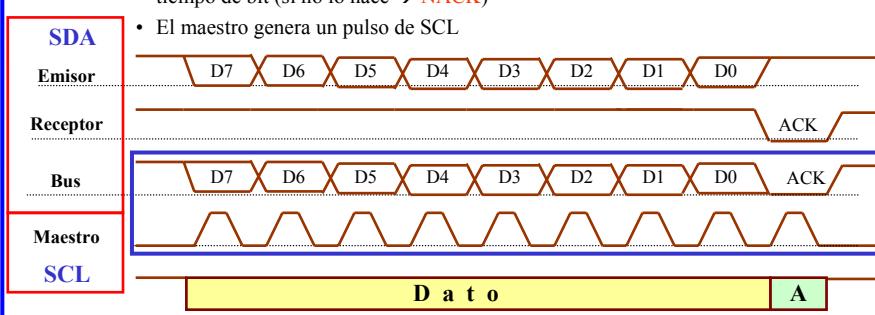


Intercambio de información: nivel de enlace



Transmisión de datos

- La unidad básica de transmisión en el byte
- Las transferencias de datos son de 8 bits
- Cada byte enviado requiere una respuesta de confirmación
 - ACK: el destinatario (maestro o esclavo) mantiene SDA a nivel bajo durante un tiempo de bit (si no lo hace → NACK)
 - El maestro genera un pulso de SCL



Protocolo de comunicación I²C

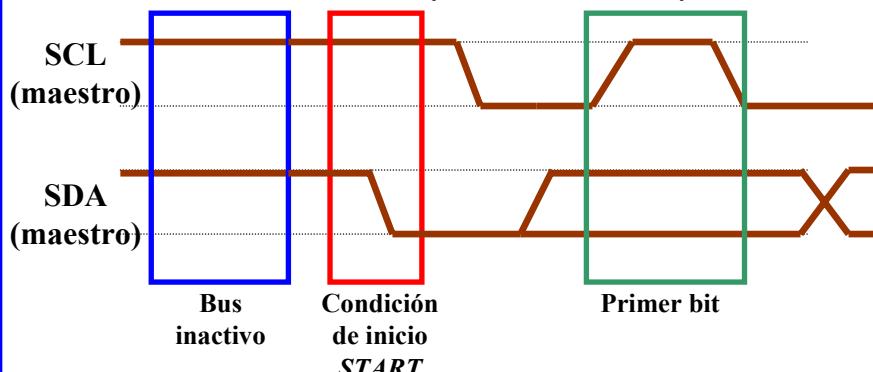


Intercambio de información: nivel de enlace



Inicio de transmisión

- La transmisión la inicia el maestro
- Flanco de bajada en SDA con SCL a nivel alto
- Cuando nadie accede al bus hay un nivel alto en SCL y SDA



Protocolo de comunicación I²C

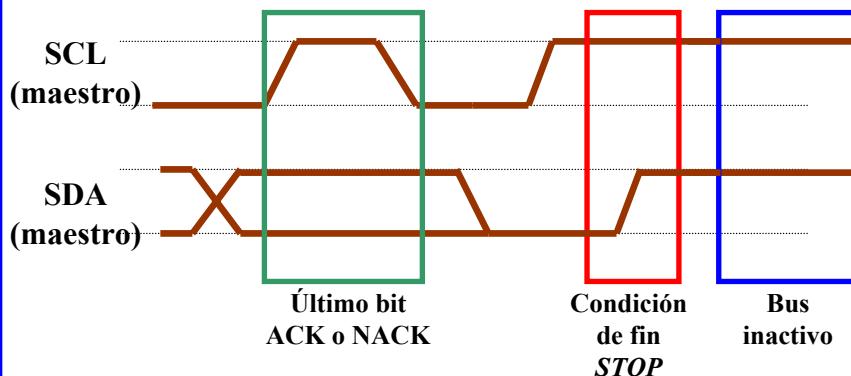


Intercambio de información: nivel de enlace



Finalización de transmisión

- La transmisión la finaliza el maestro
- Flanco de subida en SDA con SCL a nivel alto



Protocolo de comunicación I²C



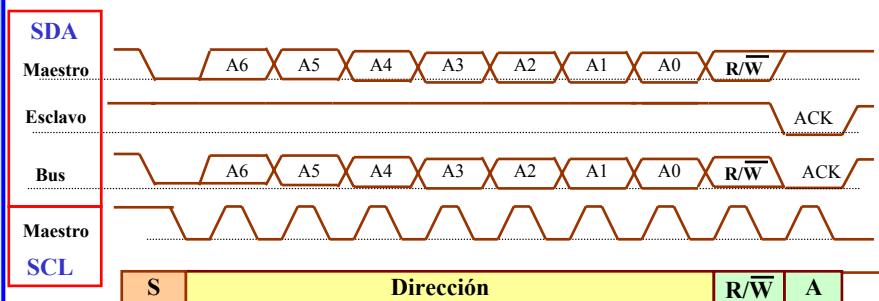
Intercambio de información: nivel de enlace



Intercambio de datos

Direccionamiento

- Tras la condición de inicio el maestro envía:
 - Dirección del esclavo (7 bits)
 - Comando de lectura o escritura ($R=1 - W=0$)



Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



Maestro envía datos a un esclavo



Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



Intercambio de datos

Maestro envía un dato a un esclavo



Maestro envía varios datos a un esclavo



Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



Maestro lee datos de un esclavo



Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



Intercambio de datos

Maestro lee un dato de un esclavo



Maestro lee varios datos de un esclavo



Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



Intercambio de datos

Maestro escribe y lee cambiando de dirección



Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



Casos particulares de respuesta

- Esclavo ocupado y no responde al ACK de dirección
 - Maestro genera condición de STOP
- El esclavo quiere interrumpir una recepción periódica de datos
 - El esclavo no responde a un dato con ACK
 - El maestro genera la condición de STOP
- El maestro quiere interrumpir una recepción de datos de un esclavo
 - El maestro no responde con ACK
 - El esclavo deja de transmitir
 - El maestro genera condición de STOP

Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



Protocolo multimaestro

- Con dos maestros en el bus existe posibilidad de conflicto

Arbitración: procedimiento para asegurar que sólo un maestro tiene el control del bus en un instante

- Si un maestro está utilizando el bus no puede ser interrumpido por otro.
 - Desde START hasta STOP
- Si dos maestros intentan comenzar a utilizar el bus a la vez:
 - Conexión del bus en colector abierto → prevalecen los ceros
 - A la vez que ponen datos en el bus, escuchan la línea.
 - Si un maestro está intentando enviar un nivel alto y lee un nivel bajo
 - Existe otro maestro utilizando el bus
 - Deja de transmitir esperando que la línea quede libre (condición de STOP)

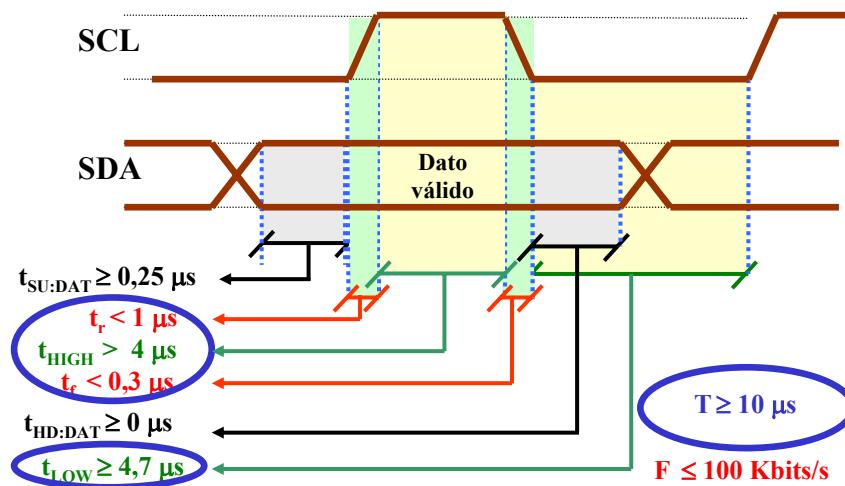
Protocolo de comunicación I²C



Intercambio de información: nivel de enlace



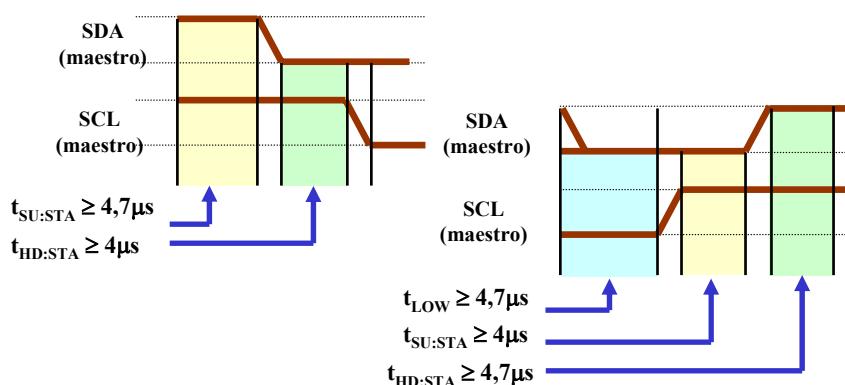
Transmisión de bits: Temporización



Intercambio de información: nivel de enlace



Temporización en *START* y en *STOP*





Protocolo de Comunicación I²C



Índice de la Lección

- Introducción a la comunicación entre dispositivos mediante un bus serie
- Características del bus I²C
- Conexión de dispositivos al bus: nivel físico
- Intercambio de información: nivel de enlace
- **Generación del protocolo desde un microcontrolador**
- Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C
- Conclusiones
- Bibliografía

Protocolo de comunicación I²C



Generación del protocolo desde un µC



Control del bus I²C desde un microcontrolador

- **Sin una unidad hardware específica**
 - El protocolo I²C se puede controlar utilizando puertos de entrada y salida
 - El maestro controla la velocidad del bus
 - No debe generar señales demasiado rápidas
 - Puede ralentizar el bus cuando quiera
 - Complicado utilizarlo como esclavo.
 - Debería cumplir la norma de tiempos
 - Sólo procesadores muy rápidos o dedicados.
 - No se permite multimaestro
- **Con una unidad hardware específica**
 - El procesador no debe preocuparse de gestionar el protocolo
 - Se puede aprovechar toda la funcionalidad del bus

Protocolo de comunicación I²C



Generación del protocolo desde un µC



Control del bus I2C utilizando puertos de E/S

– Eventos a programar

- Generación de *START*
- Generación de *STOP*
- Enviar dirección o dato y recibir *ACK*
- Recibir dato y enviar *ACK* o *NACK*

– Consideraciones temporales

- Velocidad del procesador
 - Un 8051 a 12 MHz ejecuta un ciclo máquina cada microsegundo.
 - Las instrucciones de acceso a los puertos consumen un ciclo máquina.

Protocolo de comunicación I²C

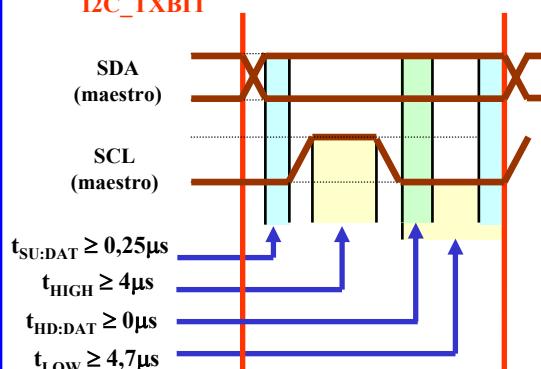


Generación del protocolo desde un µC



Control del bus I2C utilizando puertos de E/S

I2C_TXBIT



Pseudocódigo

```
SDA = BIT  
SCL = 1  
delay(4µs )  
SCL = 0  
delay(4,7µs )
```

Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Índice de la Lección

- Introducción a la comunicación entre dispositivos mediante un bus serie
- Características del bus I²C
- Conexión de dispositivos al bus: nivel físico
- Intercambio de información: nivel de enlace
- Generación del protocolo desde un microcontrolador
- **Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C**
- Conclusiones
- Bibliografía

Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Factores a tener en cuenta

- Los dispositivos tendrán **dos partes**.
 - Bloque funcional del dispositivo
 - Interfaz I²C
- **Interfaz I²C**
 - Direcccionamiento
 - Acceso a la funcionalidad del dispositivo
 - En dispositivos sencillos – lectura y escritura de datos.
 - En dispositivos complejos
 - » Configuración de modo de funcionamiento
 - » Comando + dato
- Ejemplos de dispositivo
 - puerto de E/S de 8 bits
 - Memoria serie
 - Sensor de temperatura - termostato

Protocolo de comunicación I²C



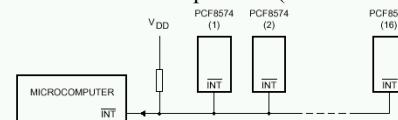
Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Puerto de 8 bits de entrada/salida – PCF8574

– Puerto de entrada y salida

- Los pines de entrada/salida se comportan de forma similar a los puertos del 8051 (pseudoentradas).
 - Las salidas implementan un colector abierto con pull – up interno
 - Si en un puerto se escribe un cero, la salida pasa a nivel bajo
 - Para configurarlo como entrada se debe escribir un nivel alto
 - Al leer se consulta el nivel del pin del puerto
- Después de la inicialización
 - Configurado como entrada (todas las salidas a nivel alto)
- Si se modifica una entrada se activa una salida de interrupción que se desactiva cuando se lee el dispositivo (a través del I²C)



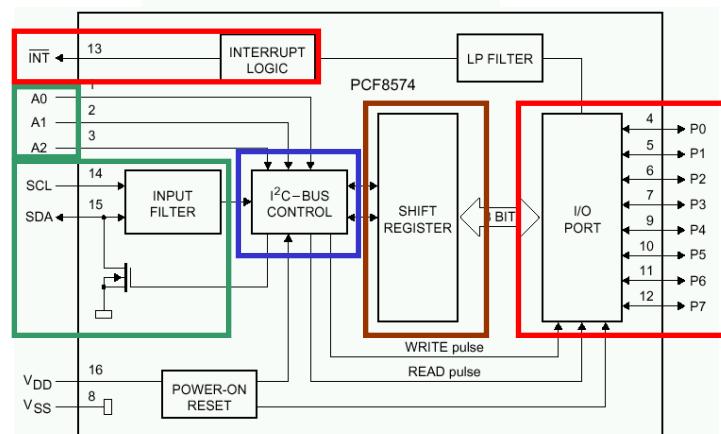
Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Puerto de 8 bits de entrada/salida – PCF8574



Protocolo de comunicación I²C



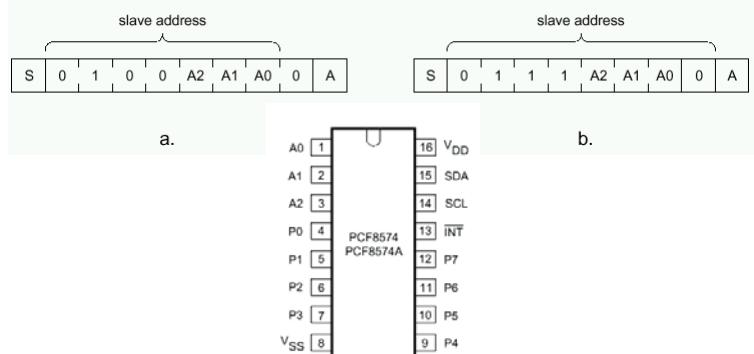
Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Puerto de 8 bits de entrada/salida – PCF8574

– Direccionamiento

- Parte de la dirección es fija. Depende del dispositivo
- Los tres bits de menor peso se configuran con pines del dispositivo



Protocolo de comunicación I²C

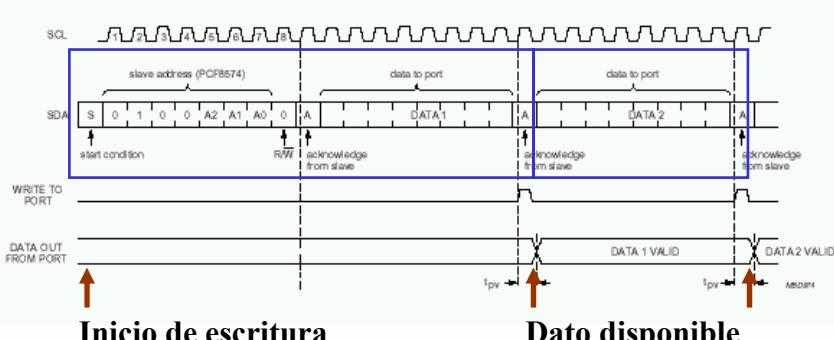


Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Puerto de 8 bits de entrada/salida – PCF8574

– Escritura en el puerto



Protocolo de comunicación I²C



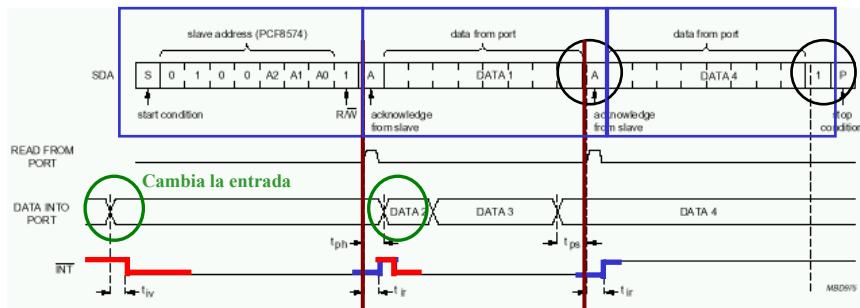
Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Puerto de 8 bits de entrada/salida – PCF8574

– Lectura del puerto

- Si se modifica una entrada se activa una interrupción
- La línea de interrupción tiene salida en colector abierto.



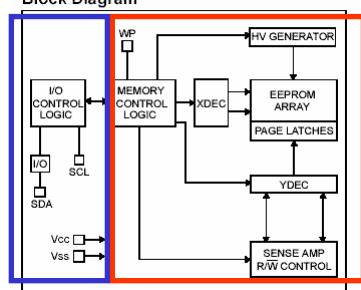
Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



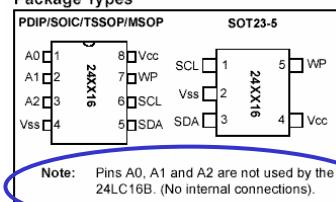
Memoria serie

MICROCHIP
24AA16/24LC16B
16K I²C™ Serial EEPROM

Block Diagram



Package Types



Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Memoria serie - Comando

Memoria de 16K bits (2KBytes)

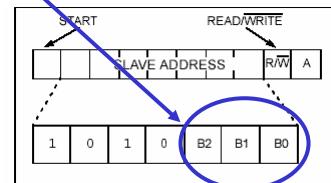
Organizada en 8 bloques de 256 bytes

Dirección de bloque (3 bits)

Dirección de byte (8 bits)

Lectura / escritura

| Operation | Control Code | Block Select | R/W |
|-----------|--------------|---------------|-----|
| Read | 1010 | Block Address | 1 |
| Write | 1010 | Block Address | 0 |



Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Memoria serie - Escritura

FIGURE 4-1: BYTE WRITE

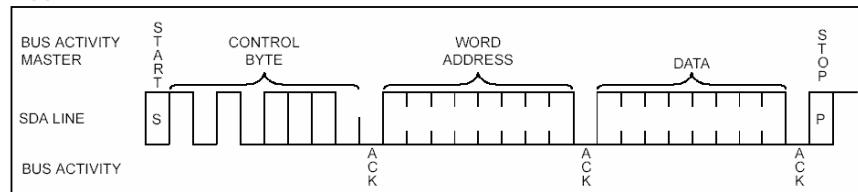
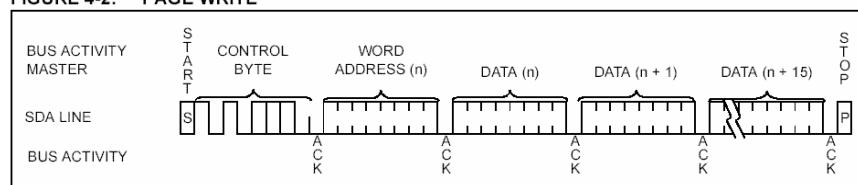


FIGURE 4-2: PAGE WRITE



Protocolo de comunicación I²C

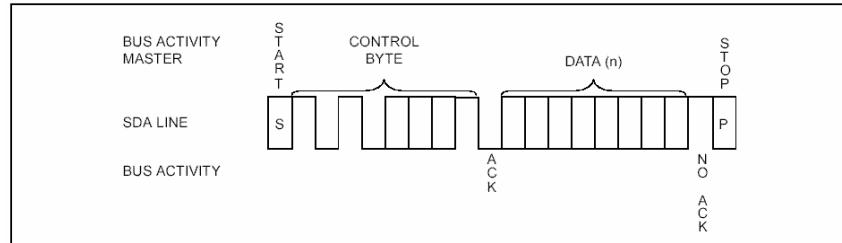


Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Memoria serie - lectura

FIGURE 7-1: CURRENT ADDRESS READ



Con cada lectura se autoincrementa un puntero interno

Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Memoria serie - lectura

FIGURE 7-2: RANDOM READ

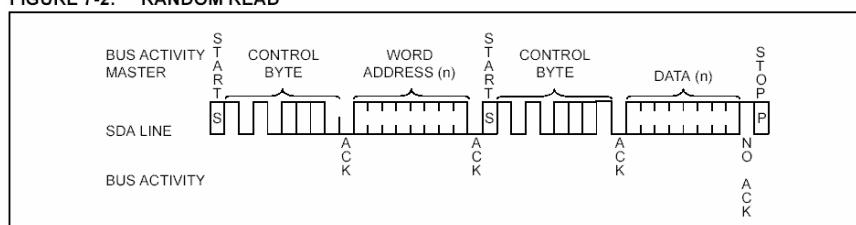
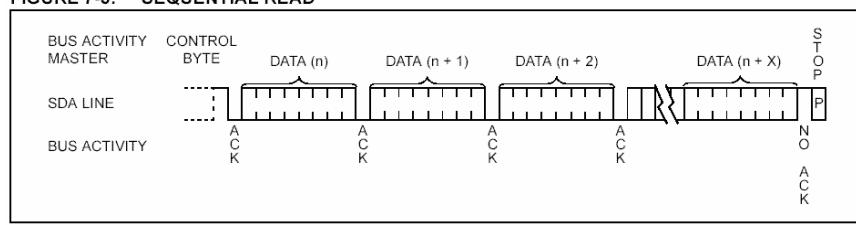


FIGURE 7-3: SEQUENTIAL READ



Protocolo de comunicación I²C

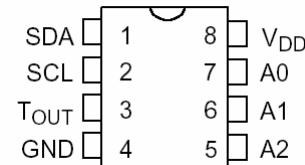


Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Termómetro / Termostato DS1621

- Margen de temperatura: -55 a +125°C
- Resolución: 0.5°C
- T^a almacenada en 9 bits (2 bytes)
- Rango de alimentación: 2.7-5.5V
- Tiempo de conversión: 1 seg.
- Parámetros del termostato (TH y TL) almacenados en memoria no volátil (eprom)
- No requiere circuitería externa.



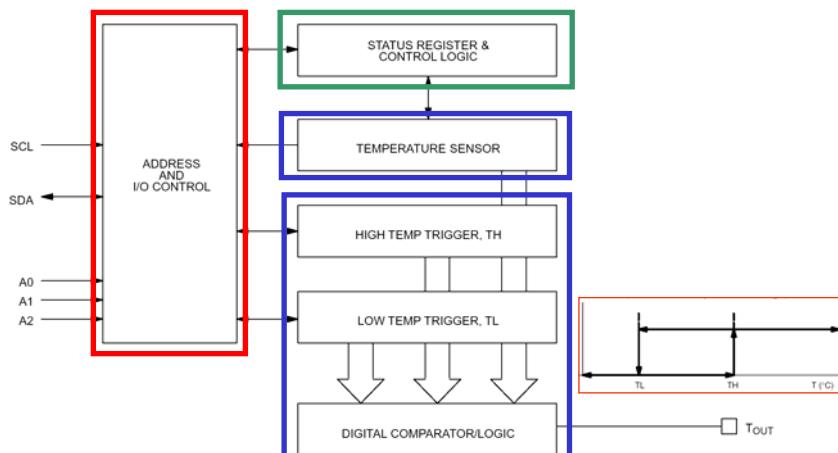
Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Termómetro / Termostato



Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Termómetro / Termostato

| MSB | | | | | | | | | LSB |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

T = -25°C

| TEMPERATURE | DIGITAL OUTPUT (Binary) | DIGITAL OUTPUT (Hex) |
|-------------|----------------------------|-------------------------|
| +125°C | 01111101 00000000 | 7B00h |
| +25°C | 00011001 00000000 | 1900h |
| +1½°C | 00000000 10000000 | 0080h |
| +0°C | 00000000 00000000 | 0000h |
| -1½°C | 11111111 10000000 | FF80h |
| -25°C | 11100111 00000000 | E700h |
| -55°C | 11001001 00000000 | C900h |

Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



Termómetro / Termostato

Registro de Configuración

| | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|---|---|-----|-------|
| DONE | THF | TLF | NVB | 1 | 0 | POL | 1SHOT |
|------|-----|-----|-----|---|---|-----|-------|

- **DONE.** Flag de fin de conversión.
- **THF.** Flag ($T^a > TH$).
- **TLF.** Flag ($T^a < TL$).
- **NVB.** Flag indicador de que la grabación en eeprom está en proceso.
- **POL.** Polaridad de la salida Tout.
- **1SHOT.** Selección del modo de conversión única o continua. En el modo de conversión continua, el termostato puede funcionar de forma autónoma, sin necesidad de uC, una vez configurados TH y TL.

Comandos (1 byte):

- Lectura de la temperatura [AAh]
- Acceso a TH [A1h]
- Acceso a TL [A2h]
- Acceso al Reg. de Config. [Ach]
- Inicio de conversión [EEh]
- Parar la conversión [22h]

Protocolo de comunicación I²C

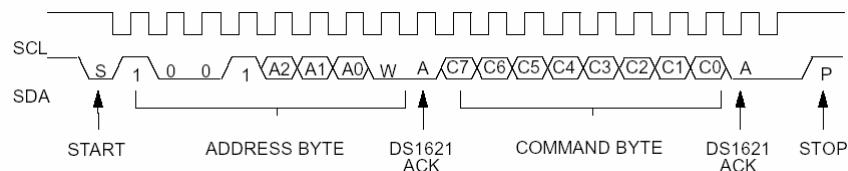


Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



DS1621. Protocolo de acceso

Comando Inicio/Stop de conversión



Protocolo de comunicación I²C

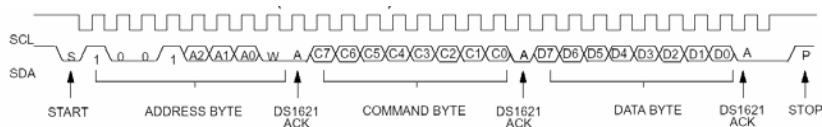


Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



DS1621. Protocolo de acceso

Escritura de un dato en un registro (1byte) (Reg. De Config.)



Protocolo de comunicación I²C

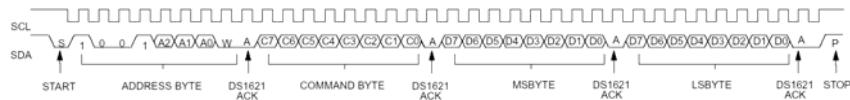


Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



DS1621. Protocolo de acceso

**Escritura de un dato en un registro (2bytes)
(TH, TL)**



Protocolo de comunicación I²C

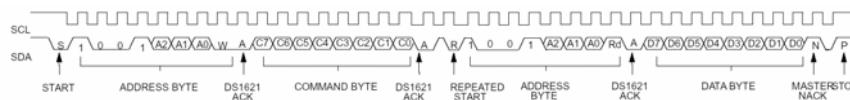


Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



DS1621. Protocolo de acceso

**Lectura de un dato (1byte) de un registro
(Reg. De Config.)**



Protocolo de comunicación I²C

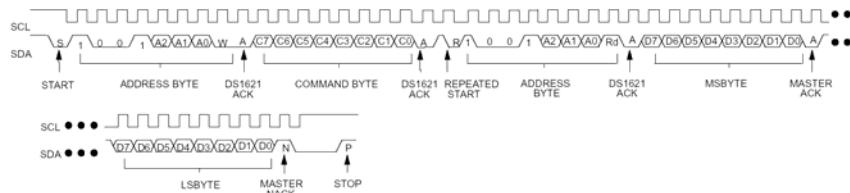


Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



DS1621. Protocolo de acceso

Lectura de un dato (2 bytes) de un registro
(T^a, TH, TL)



Protocolo de comunicación I²C



Ejemplos de dispositivos que utilizan I²C



DS1621. Protocolo de acceso

Configuración del dispositivo (modo de conversión continua).

Configurar valores de TH y TL (si opción termostato).

Comando de Inicio de conversión (1^a vez)

Llamada a rutina de lectura de la T^a:

Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Índice de la Lección

- Introducción a la comunicación entre dispositivos mediante un bus serie
- Características del bus I²C
- Conexión de dispositivos al bus: nivel físico
- Intercambio de información: nivel de enlace
- Generación del protocolo desde un microcontrolador
- Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C
- **Conclusiones**
- Bibliografía

Protocolo de comunicación I²C



Conclusiones



Conclusiones

Un bus serie permite reducir el tamaño general del circuito

El protocolo del bus I²C contempla

Conexión de nivel físico

Intercambio de datos

El protocolo se puede implementar

Utilizando puertos de entrada/salida → maestro

Unidad específica

Gran cantidad de dispositivos compatibles con I²C

Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Índice de la Lección

- Introducción a la comunicación entre dispositivos mediante un bus serie
- Características del bus I²C
- Conexión de dispositivos al bus: nivel físico
- Intercambio de información: nivel de enlace
- Generación del protocolo desde un microcontrolador
- Ejemplos de dispositivos que utiliza el bus I²C
- Conclusiones
- **Bibliografía**

Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Referencias

Bibliografía

“El bus I²C. De la teoría a la práctica”

Dominique Paret Ed. Paraninfo. 1995. (ISBN: 84-283-2167-1)

“The I²C-BUS Specification” Versión 2.1 Enero 2000

Hoja de características de los componentes explicados

Protocolo de comunicación I²C



Protocolo de Comunicación I²C



Referencias

Enlaces de Internet

The I2C FAQ

<http://www.ping.be/~ping0751/i2cfaq/i2cindex.htm>

Single Master I2C driver routines

<http://www.specs.de/users/danni/appl/hard/i2c/>

I2C Bus Technical Overview and Frequently Asked Questions (FAQ)

by Axel Wolf, ESAcademy based on the I2C FAQ by Vince Himpe

Embedded Systems Academy:

<http://www.esacademy.com/faq/i2c/index.htm>