

## EJERCICIO N°1

### a) Explique el funcionamiento del protocolo I2C

**I2C** es un puerto y protocolo de comunicación serial, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales. El puerto incluye dos cables de comunicación, SDA y SCL. Además el protocolo permite conectar hasta 127 dispositivos esclavos con esas dos líneas, con hasta velocidades de 100, 400 y 1000 kbits/s. También es conocido como IIC ó TWI – Two Wire Interface.

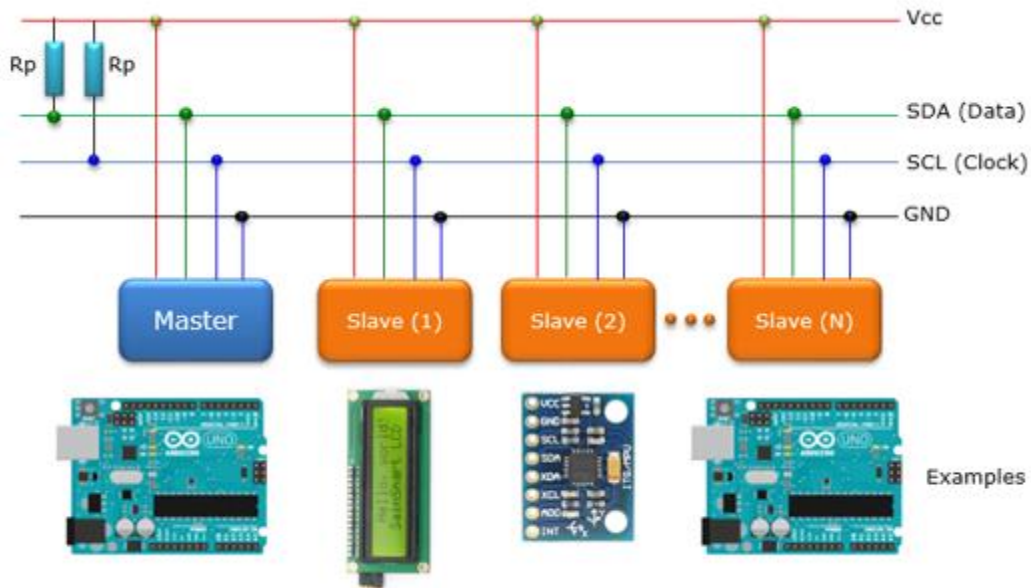
El protocolo I2C es uno de los más utilizados para comunicarse con sensores digitales, ya que a diferencia del puerto Serial, su arquitectura permite tener una confirmación de los datos recibidos, dentro de la misma trama, entre otras ventajas.

La conexión de tantos dispositivos al mismo bus, es una de las principales ventajas. Además si comparamos a I2C con otro protocolo serial, como Serial TTL, este incluye más bits en su trama de comunicación que permite enviar mensajes más completos y detallados.

Los mensajes que se envían mediante un puerto I2C, incluye además del byte de información, una dirección tanto del registro como del sensor. Para la información que se envía siempre existe una confirmación de recepción por parte del dispositivo. Por esta razón es bueno diferenciar a los distintos elementos involucrados en este tipo de comunicación.

### I2C – Esquema de comunicación y elementos

Siempre que hablamos de una comunicación oral, se entiende que es entre dos o más personas. Como consecuencia podemos también indicar que en una comunicación digital existen distintos dispositivos o elementos. En el caso de **I2C** se diferencian dos elementos básicos, un **MAESTRO** y un **ESCLAVO**. La **Figura-1**, muestra una conexión típica de tres dispositivos, el bus consiste de dos líneas llamadas, **Serial DAta – SDA** y **Serial CLock – SCL**. Es decir, Datos Seriales y Reloj Serial. En particular al bus se le conectan dos resistencias en arreglo **pull-up**, de entre 2.2K y 10K.



**Figura-1.** Conexión de tres dispositivos a un bus de comunicación I2C.

El **MAESTRO** I2C se encarga de controlar al cable de reloj, por sus siglas en inglés llamada SCL – Serial CLock. Además el MAESTRO se encarga de iniciar y parar la comunicación. La información binaria serial se envía sólo por la línea o cable de datos seriales, en inglés se llama SDA – Serial DAta. Dos Maestros no pueden hacer uso de un mismo puerto I2C. Puede funcionar de dos maneras, como maestro-transmisor o maestro-receptor. Sus funciones principales son:

- Iniciar la comunicación – S
- Enviar 7 bits de dirección – ADDR
- Generar 1 bit de Lectura ó Escritura – R/W
- Enviar 8 bits de dirección de memoria
- Transmitir 8 bits de datos –
- Confirmar la recepción de datos – ACK – ACKnowledged
- Generar confirmación de No-recepción, NACK – No-ACKnowledged
- Finalizar la comunicación

El **ESCLAVO** I2C, generalmente suele ser un sensor. Este elemento suministra de la información de interés al MAESTRO. Puede actuar de dos formas: esclavo-transmisor ó esclavo-receptor. Un dispositivo I2C esclavo, no puede generar a la señal SCL. Sus funciones principales son:

- Enviar información en paquetes de 8 bits.
- Enviar confirmaciones de recepción, llamadas ACK

## **I2C – Bits de la trama del puerto**

El protocolo de comunicación I2C se refiere al conjunto de bits que son necesarios para enviar uno o varios bytes de información. En lo particular, para este protocolo existen los siguientes bits importantes:

- Inicio ó Start – S
- Parada – P
- Confirmación – ACK
- No Confirmación – NACK
- Lectura-/Escritura – L/W
- 7 bits para la dirección del dispositivo esclavo/maestro
- 8 bits de dirección ( para algunos sensores pueden ser 16 bits)
- 8 bits de datos

El conjunto de estos bits y su orden va formando distintas tramas de comunicación. Existen distintos modos de comunicación dependiendo del arreglo de estos bits. Tanto el maestro como el esclavo pueden o no generar los bits anteriores, según los modos de comunicación.

El puerto I2C está disponible si las dos líneas, SDA y SCL están en un nivel lógico alto.

## **I2C – modos de comunicación**

Los modos de comunicación en I2C se refieren a las distintas tramas que pueden formarse en el bus. Estas tramas o modos dependen de por ejemplo, si queremos leer al sensor esclavo, o si lo queremos configurar. Existen principalmente dos modos de comunicación:

- Maestro-Transmisor y Esclavo-Receptor. Este modo se usa cuando se desea configurar un registro del esclavo I2C.
- Maestro-Receptor Y Esclavo-Transmisor. Se usa cuando queremos leer información del sensor I2C.

## **Velocidad del puerto I2C**

La velocidad del puerto I2C se refiere al tiempo que le toma al puerto transferir un bit de información. Entonces, este valor se mide en bits/segundo. Típicamente vamos a encontrar la referencia en ciclos/segundo o Herz. Existen tres velocidades estándar, 100Khz, 400Khz y 1Mhz, es decir, 100kbits/s, 400kbits/s y 1000kbits/s. Por ejemplo, para la trama de la Figura-2, ese paquete de datos tiene 29 bits, por lo que a

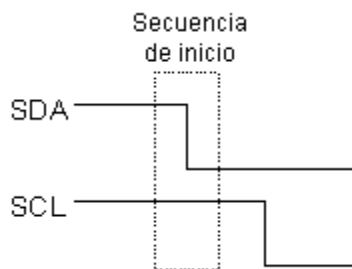
una velocidad de 100kbits/s le tomaría al puerto 0.29 ms enviar la información.

El dato digital ó lógica que leerá cada uno de los dispositivos, corresponde el voltaje en los flancos de subida de la señal de reloj – SCL.

### **Condiciones eléctricas**

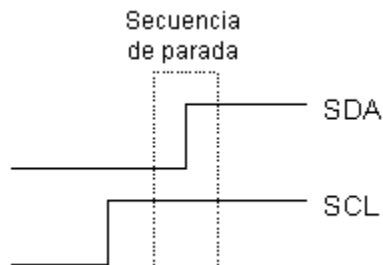
Cada uno de los bits antes descritos (**Inicio-S**, **ACK**, **NACK**, Parada, **RS**) significan condiciones eléctricas en el bus I2C. Las condiciones de voltaje son las siguientes:

- **Inicio.** La condición de inicio se genera cuando el bus está disponible, cuando mientras la línea de SCL está en alto (1), existe un flanco de bajada (un cambio de estado lógico de alto a bajo), en la línea de SDA). Este bit sólo lo puede generar el MAESTRO.



**Figura-4.** Condición de INICIO-I2C. Estando el bus disponible, hay un flanco de bajada en la línea SDA.

- **Paro.** La señal o bit de PARO se genera cuando hay un flanco de subida en la línea de datos, mientras que la línea de reloj se encuentra en alto. Está condición sólo es posible generarla desde el MAESTRO.



**Figura-5.** Condición de paro en el puerto I2C.

- **ACK.** Confirmación de recepción. Esta condición se crea cuando estando la señal SCL en alto, SDA esta en bajo. Esta señal la puede generar tanto el MAESTRO como el ESCLAVO.
- **NACK.** Este bit es usado en el esquema de comunicación donde se leen varios bytes de un ESCLAVO en una sola transmisión. Entonces, el bit NACK se usa cuando ya no se quieren recibir más bytes. La condición sólo la puede generar el MAESTRO.

b) Que son los sensores resistivos? Como se conectan a través de un divisor resistivo? Que es el acondicionamiento de señales?

Un sensor resistivo es un dispositivo que convierte cantidades físicas medidas tales como desplazamiento, deformación, fuerza, aceleración, humedad, temperatura, etc. en valores de resistencia. Dispositivo sensor resistivo. Existen principalmente sensores de deformación resistiva, como el tipo de deformación por resistencia, tipo piezoresistivo, resistencia térmica, sensible al calor, sensible al gas y a la humedad. El medidor de deformación en el sensor tiene un efecto de deformación del metal, es decir, deformación mecánica bajo la acción de una fuerza externa, de modo que el valor de resistencia cambia en consecuencia. Hay dos tipos de galgas extensométricas de resistencia: metal y semiconductor. Los medidores de deformación de metal están disponibles en alambre, papel de aluminio y película. Los medidores de tensión de semiconductores tienen las ventajas de una alta sensibilidad (generalmente docenas de veces de seda y papel de aluminio) y pequeños efectos laterales.

Los sensores piezoresistivos son dispositivos fabricados por resistencia a la difusión sobre un sustrato de un material semiconductor de acuerdo con el efecto piezoresistivo del material semiconductor. El sustrato puede usarse directamente como un elemento sensor de medición, y la resistencia de difusión está conectada en forma de un puente en el sustrato. Cuando el sustrato se deforma por una fuerza externa, los valores de resistencia cambiarán y el puente producirá una salida desequilibrada correspondiente. El material del sustrato (o diafragma) utilizado como sensor piezoresistivo es principalmente una oblea de silicio y una oblea de silicio. Los sensores piezoresistivos de silicio hechos de obleas de silicio se están volviendo cada vez más populares, especialmente para los sensores piezoresistivos de estado sólido que miden la presión y la velocidad. El sensor de termistor mide principalmente la temperatura y los parámetros relacionados con la temperatura utilizando la característica de

que el valor de resistencia cambia con la temperatura. Este tipo de sensor es adecuado cuando la precisión de detección de temperatura es relativamente alta. Una gama más amplia de materiales de resistencia térmica son platino, cobre, níquel y similares. Tienen las características de gran coeficiente de resistencia a la temperatura, buena linealidad, rendimiento estable, amplio rango de temperatura y fácil procesamiento. Se utiliza para medir temperaturas en el rango de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $500^{\circ}\text{C}$ .

## **ACONDICIONAMIENTO DE CIRCUITOS RESISTIVOS**

Existen esencialmente 3 formas de acondicionar un sensor resistivo: divisor de tensión, fuente de corriente y puente de Wheatstone. Se describen cada una de estas opciones, señalando algunas ventajas y desventajas de su uso.

### **Acondicionamiento por divisor de tensión**

Probablemente la forma más simple de acondicionar un sensor resistivo es formar un divisor de tensión entre el sensor y un resistor fijo, como se ve en la Figura 6-1, donde  $R1$  es una resistencia de valor fijo y  $R_S$  Representa el sensor resistivo.

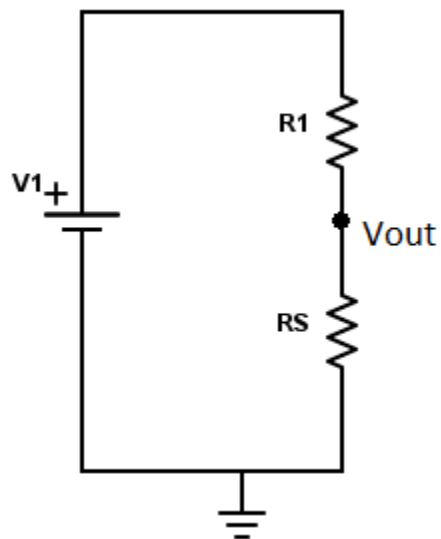


Figura 6-1. Conexión de sensor resistivo por divisor de tensión

Si analizamos este circuito podemos observar que el voltaje  $V_{out}$  está dado por

$$V_{out} = V_1 \frac{R_s}{R_s + R_1} \quad \text{Eq. 6.1}$$

De este modo, si el valor de  $R_s$  varía, el valor de  $V_{out}$  también los hace proporcionalmente.

Evidentemente este circuito es muy simple y económico de implementar, por lo cual puede resultar conveniente. Sin embargo, debemos analizar un poco más sus características para encontrar las consideraciones que debemos tener a la hora de implementarlo y las posibles desventajas de esta configuración.

### Relación directa o inversa

En el circuito de la Figura 6-1, vemos que la ecuación nos presenta una relación directa entre el voltaje y a la resistencia, puesto que a mayor resistencia tendremos mayor voltaje. En caso de requerir que la relación sea inversa, bastará con invertir el orden de las resistencias como se aprecia en la Figura 6-2.

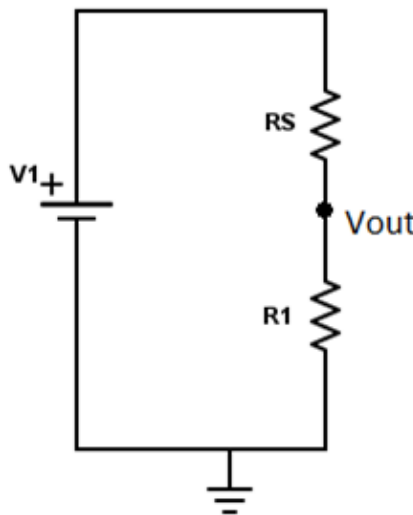


Figura 6-2. Conexión de sensor resistivo por divisor de tensión con relación inversa

En este caso la ecuación para el voltaje  $V_{out}$  sería:

$$V_{out} = V_1 \frac{R_1}{R_s + R_1} \text{ Eq. 6.2}$$

Y tendríamos que, a medida que sube la resistencia, baja el voltaje de salida. La elección acerca de cuál de las dos opciones es más conveniente, depende de cual sea la relación entre la resistencia y la variable a medir (si es directa o inversa) y de la conveniencia o necesidades propias del sistema de medición.

### **Variación de la resistencia y variación del voltaje**

Algunos sensores resistivos presentan una amplia variación de la resistencia con la variable a medir, pero algunos otros tienen una variación de resistencia muy limitada. Para ilustrar esto veamos el ejemplo de dos sensores resistivos diferentes:

□ Las fotorresistencias son elementos resistivos sensibles a la luz. Cuando una luz incide sobre este elemento, su resistencia se reduce y cuando están en condiciones de oscuridad, la resistencia aumenta. Los valores de una fotorresistencia pueden variar desde un valor de  $100\Omega$  a plena luz hasta  $1M\Omega$  o más en la oscuridad. La variación exacta depende del elemento específico, dado que existen de varios valores; pero en general tenemos una variación bastante amplia.

□ La pt100 es un RTD, un tipo de sensor de temperatura muy utilizado que varía su resistencia de acuerdo a la temperatura. Su nombre se deriva de la resistencia que presenta a  $0^\circ\text{C}$  (es decir, la resistencia a  $0^\circ\text{C}$  es de  $100\Omega$ ). La variación de la resistencia puede consultarse en tablas que se especifican en la base de datos, pero como referencia podemos mencionar que a  $100^\circ\text{C}$  la resistencia de la pt100 es de  $138.5\Omega$ . ¡En  $100^\circ\text{C}$  la resistencia sólo ha cambiado en  $38.5\Omega$ !

Por su puesto, si la variación de la resistencia es pequeña, la variación en el voltaje también lo será.