

Sistemas Digitales I – UABCS

Conversión Digital/Analógico y Analógico/Digital

Señales ANALÓGICAS

A diferencia de las entradas digitales, las entradas analógicas nos permiten medir valores continuos, como podría ser leer la posición de una perilla o la intensidad de luz en una habitación.

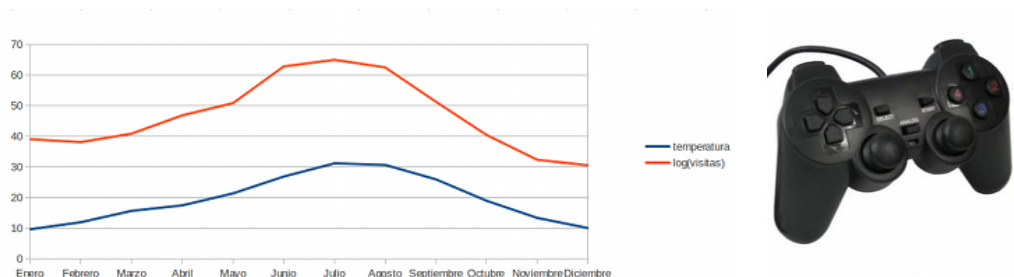


Figura 1. Señal analógica y control de videojuegos con botones digitales y palancas analógicas

Como vimos anteriormente en clase, los sistemas analógicos manejan señales continuas y los digitales manejan señales discretas. Como característica mencionábamos que las señales continuas tenían entre un punto y otro un número infinito de valores, por ejemplo, una báscula al cambiar de 1.15 kg a 1.16 kg, en realidad tiene que pasar por 1.151 kg, 1.152 kg, etc., y al pasar de 1.151 kg a 1.152 kg, debe pasar por 1.1511 kg, y antes por 1.151000001 kg, siendo un número infinito de valores intermedios. Los sistemas digitales en cambio, son discretos, ellos sí pueden pasar de 1.15 kg a 1.16 kg sin tener que pasar por todos los valores intermedios.

En esta ocasión hablaremos sobre los convertidores de Analógico a Digital y sobre los convertidores de Digital a Analógico. Curiosamente, una de las aplicaciones de los convertidores de Digital-Analógico es en la fabricación de convertidores de Analógico-Digital. Por esta razón, hablaremos primero de los convertidores de Digital-Analógico.

Convertidores de Digital a Analógico

Como se comentó a principios del curso, las señales analógicas son señales “análogas” a otras señales (Analogía: Relación de semejanza entre cosas distintas) como puede ser el audio, temperatura, presión, velocidad, peso o cualquier variable continua del mundo real.

Las señales analógicas se representan con voltaje, por ejemplo, en la siguiente imagen podemos ver la salida que arrojaría un sensor de temperatura analógico, donde se puede ver como el voltaje de salida aumenta si la temperatura medida aumenta, y el voltaje baja si la temperatura baja, siguiendo el mismo comportamiento el voltaje de salida con la temperatura medida. Se entiende entonces que la forma de la señal representa la información de temperatura en este caso.

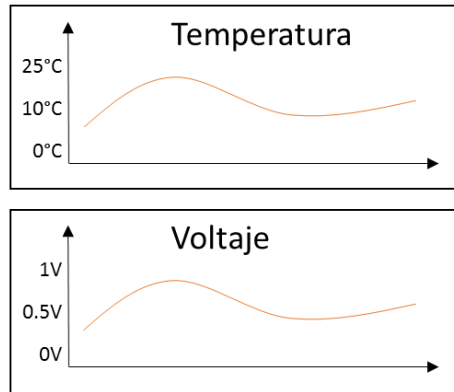
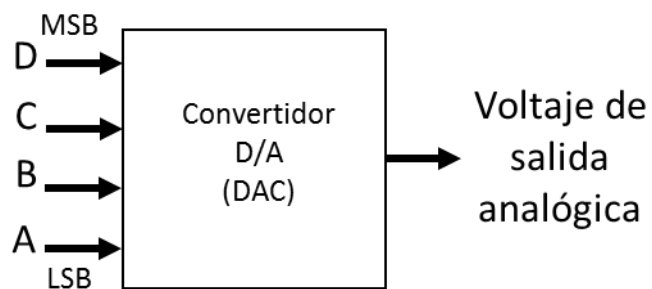


Figura 2. Señal análoga de voltaje a partir de temperatura

Si acordamos entonces que las señales analógicas son voltajes que cambian y pueden tomar cualquier valor en un rango definido (de 0 a 1 V por ejemplo, a diferencia de los sistemas digitales que son discretos, o 0 V o 5 V, no más), podemos decir entonces que los convertidores de Digital a Analógico reciben un número (valor digital) y tienen como salida un valor de voltaje proporcional al valor de entrada.

La siguiente imagen muestra un diagrama a bloques de un convertidor de Digital-Analógico de 4 bits de entrada:



D	C	B	A	Voltaje Salida
0	0	0	0	0 Volts
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
1	1	0	0	4
1	1	0	1	5
1	1	1	0	6
1	1	1	1	7
0	0	0	0	8
0	0	0	1	9
0	0	1	0	10
0	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15 Volts

a)

b)

Figura 3. a) Diagrama a bloques de un convertidor D/A. b) Los 16 posibles valores que se tienen en 4 bits

Para hacer más fácil de ver, en este ejemplo la **resolución** es de 1 V, por lo que el mínimo cambio entre un valor y otro es de 1 V, que corresponde al valor de entrada en binario (un 6 a la entrada digital arrojará 6 V, un 10 digital arrojará 10 V).

En la siguiente figura se muestran las salidas que entregaría el convertidor de digital a analógico si se conecta a su entrada un contador de 4 bits (sus valores cambian de 0000 a 1111). Se puede ver que la salida analógica no es precisamente una señal continua, sino un valor discreto, se entiende entonces que este tipo de convertidores tiene una salida “pseudo analógica”.

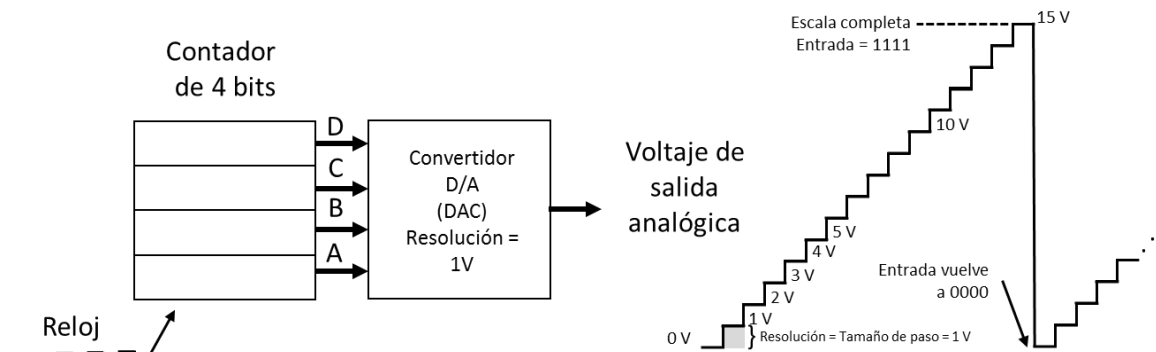


Figura 4. Diferentes salidas de un convertidor de Digital a Analógico con resolución de 1 V

En este ejemplo, el tamaño de paso o resolución es de 1 V, por lo que no es posible lograr 2.5 V o cualquier valor fraccionario. Para tener más resolución (un tamaño de paso menor) se puede o bien aumentar el número de bits del convertidor o disminuir el voltaje máximo a la salida. En este convertidor el voltaje máximo a la salida es de 15 V y tiene 4 bits de entrada (16 combinaciones, del 0 al 15):

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Voltaje máximo a la salida}}{\text{Valor digital máximo en la entrada}}$$

$$\text{Resolución} = \frac{15\text{ V}}{15} = 1\text{ V}$$

Si nuestro convertidor de 4 bits tuviera una salida de 0 a 1 V, entonces dividiríamos ese 1 V en 16 escalones (de 0 a 15) y su resolución sería de 0.06 V, un nivel de detalle mucho mayor.

En esta ocasión no veremos el detalle del funcionamiento interno por cuestiones de simplicidad, se muestra un ejemplo con fines de referencia sin más explicación:

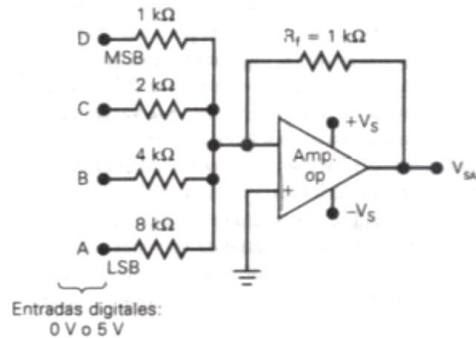


Figura 5. Circuitería interna de un convertidor de D/A de 4 bits

Existen diferentes aplicaciones para los convertidores de Digital a Analógico, por ejemplo control de velocidad de un motor, control de temperatura de un horno, intensidad de una luz o casi cualquier variable física. La reconstrucción de señales es otra aplicación, por ejemplo, reconstruir una señal de audio para escucharla en una bocina después de haber sido digitalizada. Otra aplicación es en la fabricación de convertidores de Analógico a Digital, como se mostrará en la siguiente sección.

Convertidores de Analógico/Digital

Un convertidor A/D toma un voltaje de entrada analógico y después de cierto tiempo produce un código de salida digital que representa la entrada analógica. En términos generales, la idea de las señales es similar a lo visto en el convertidor D/A, pero en sentido opuesto:

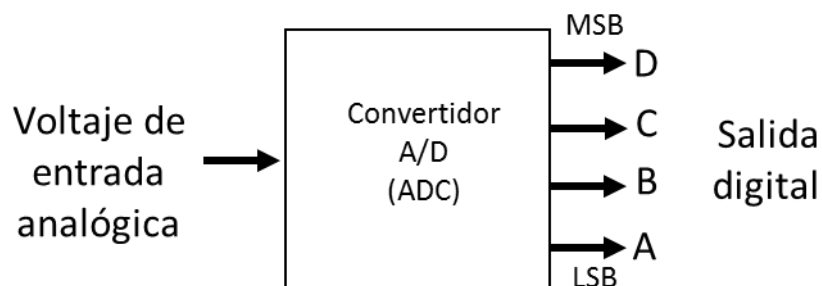


Figura 6. Idea general de un convertidor A/D

Ahora se coloca a la entrada la señal analógica y nos entregará un número que corresponda a la conversión. El concepto de resolución visto anteriormente sigue aplicando aquí. Si en este convertidor A/D de 4 bits definimos que el voltaje máximo a la entrada es de 5 V, quiere decir que dividiremos esos 5 V en 16 escalones por los 4 bits de salida (del 0 al 15) y su resolución será de:

$$\text{Resolución} = \frac{5 \text{ V}}{15} = 0.33 \text{ V}$$

Esto significa que se pueden distinguir cambios de 0.33 V y no menores a eso, por ejemplo podemos convertir 1.0 V a digital, pero si queremos convertir 1.1 V o 1.2 V no detectaríamos cambio, a menos que sea 1.4 V entonces sí.

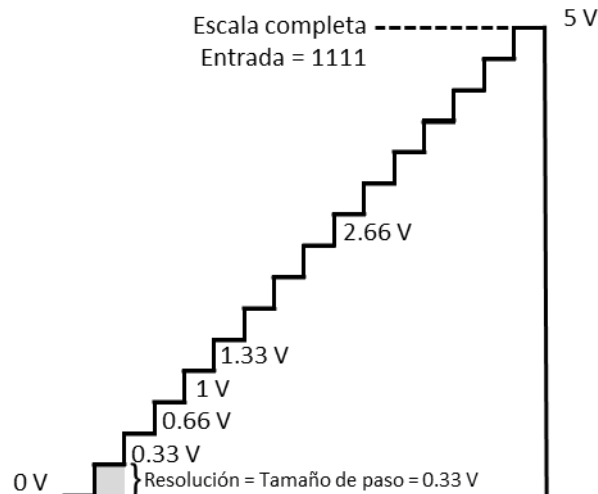


Figura 7. Escalones que se forman con 4 bits y 5 V como entrada máxima

Conversión Analógico/Digital

Veamos ejemplos de conversión de valores en un convertidor A/D, para eso partamos del convertidor de 4 bits y 5 V máximo a la entrada que acabamos de mencionar.

Si al convertidor anterior colocamos 0 V a la entrada analógica entonces arrojará un 0 digital a la salida (0000 en binario). Si colocamos en cambio un 5 V (el valor máximo a la entrada) entonces arrojará un 15 (el valor máximo a la salida, 1111 en binario).

Pero cuánto saldrá si se coloca un voltaje de 2.8 V a la entrada?

Hay varias formas de calcular el valor en la salida digital, podemos razonar algunas ideas, como que el valor de salida tiene que estar entre 0 y 15, al ser 2.8 V es un valor cercano a la mitad (que sería 2.5 V) entonces nos tiene que dar un valor cercano a la mitad del rango (si el máximo a la salida es 15, debe de estar cercano a 7 u 8). Una forma de calcularlo es usando una regla de 3:

$$5V - 15$$

$$2.8V - x$$

Usando la regla de 3:

$$x = \frac{2.8V * 15}{5V}$$

$$x = 8.4$$

La salida digital está en enteros del 0 al 15, entonces redondeamos y podemos decir que la salida será 8. Como vimos anteriormente, la resolución es de 0.33 V, por lo que solo se pueden distinguir cambios en escalones de 0.33 V.

Qué pasaría si quisiéramos poder distinguir valores menores a 0.33 V? tendríamos que aumentar la resolución (hacer que el tamaño del escalón sea menor), una forma de hacerlo es aumentar el número de bits a la salida, por ejemplo, que sea de 8 bits en lugar de 4. ¿Cuántas combinaciones hay en 8 bits?

1 bit son dos combinaciones, del 0-1

2 bits son 4 combinaciones, del 0-3

3 bits son 8 combinaciones, del 0-7

4 bits son 16 combinaciones, del 0-15

5 bits son 32 combinaciones, del 0-31

6 bits son 64 combinaciones, del 0-63

7 bits son 128 combinaciones, del 0-127

8 bits son ... combinaciones, del 0-...

Entonces, ¿cuál sería la resolución del convertidor si tenemos 5 V como máximo a la entrada y 256 escalones (valores del 0 al 255)?

$$\text{Resolución} = \frac{5 \text{ V}}{255} = 0.0196 \text{ V}$$

En este caso, con 8 bits tenemos 256 escalones 16 veces más que con 4 bits, por lo que los escalones serán 16 veces más pequeños:

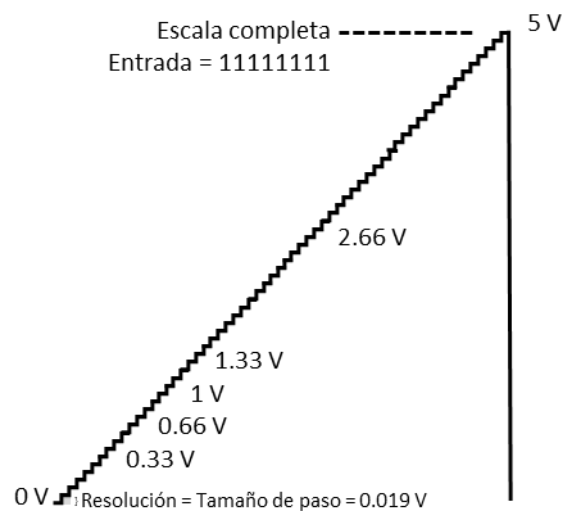


Figura 8. Mayor resolución con 8 bits (no es el tamaño real de escalón, es solo ilustrativo)

Con un convertidor de 8 bits y 5 V como máximo a la entrada analógica, qué valor arrojará a la salida para un 3.4 V a la entrada analógica?

Siguiendo la regla de 3, se calcula:

$$5V - 255$$

$$3.4V - x$$

entonces:

$$x = \frac{3.4V * 255}{5V}$$

$$x = 173.4$$

Podemos decir entonces que 3.4 V a la entrada analógica resultará en un 173 digital.

Cuando usamos un convertidor A/D, lo que normalmente vemos es la salida digital y nosotros debemos calcular cuánto voltaje hay en la entrada analógica. ¿Si este convertidor de 8 bits arroja un 83 a la salida, cuánto voltaje hay en la entrada analógica? Para resolverlo podemos usar la regla de 3:

$$5V - 255$$

$$x - 83$$

entonces:

$$x = \frac{83 * 5V}{255}$$

$$x = 1.62 V$$

El proceso de conversión A/D es generalmente más complejo y largo que el proceso D/A, y se han creado y utilizado muchos métodos, el tema de los convertidores de A/D es muy extenso, en esta ocasión no vamos a entrar en todo el detalle debido, nos brincarémos a ver un circuito integrado que ya es un convertidor de A/D utilizando la técnica de aproximaciones sucesivas, el ADC0804.

El ADC0804

Este circuito es un convertidor A/D de 8 bits, como todo convertidor A/D requiere una señal de reloj, en este caso se logra con una resistencia y un capacitor externo conectados en las terminales CLK R y CLK IN. Maneja por separado la tierra analógica de la digital, pero si se utiliza una misma fuente, se conectan juntas las 2 tierras (como es nuestro caso). La entrada CS es para habilitar el circuito, se debe conectar a tierra para que opere. La entrada RD define si la conversión realizada se muestra o no en sus 8 salidas DB0 a DB7, en nuestro caso siempre la tendremos en tierra para que sí muestra la conversión en las salidas. La entrada WR es la que utilizaremos para indicar en qué momento hacer una nueva conversión, la conversión solo se realizará en el momento que coloquemos tierra en esta entrada, si el valor en la entrada analógica cambia, no se realizara una nueva conversión sino hasta que volvamos a conectar y desconectar esta entrada a tierra. INTR y VRef/2 no las utilizaremos en esta ocasión. La entrada analógica a convertir la pondremos en las entradas VIN. VIN(-) irá en tierra y VIN(+) es donde colocaremos la señal analógica a convertir. Finalmente las salidas DB0-DB7 las conectaremos a LED's para ver el resultado.

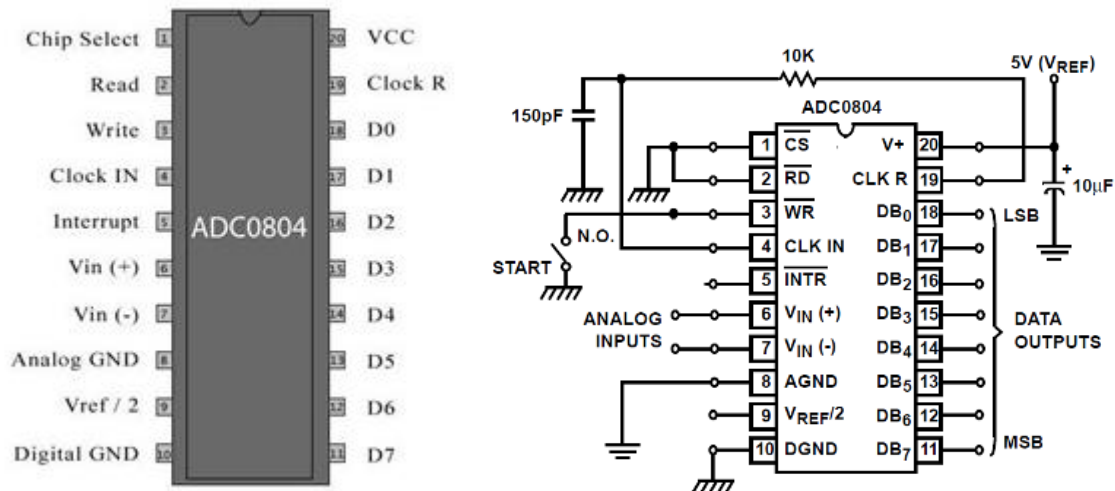


Figura 9. ADC0804 distribución de terminales y conexión básica

El potenciómetro como variador de voltaje (por si no recuerdan cómo funcionan)

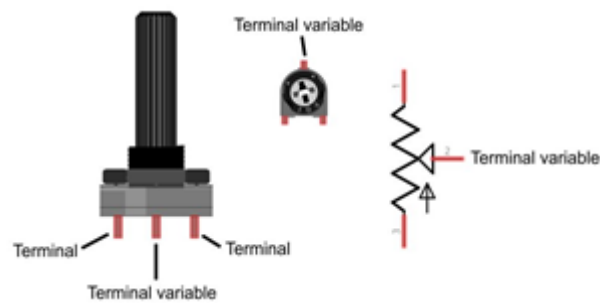


Figura 10. Potenciómetro

Los potenciómetros son resistencias variables, que al girar una perilla podemos cambiar su valor desde 0 Ohms hasta el valor máximo que se tenga, por ejemplo 10k.

Se tienen 3 terminales, la terminal del centro es la que varía, de modo que al colocar la perilla al extremo izquierdo se tendrán 0 Ohms entre la terminal central y la terminal izquierda, mientras que se tendrá la máxima resistencia con la terminal derecha. Al mover la perilla se varía entonces la resistencia entre la terminal central y sus extremos. Si se mide la resistencia entre las terminales de los extremos, siempre se tendrá la resistencia máxima (por ejemplo 10k) y no variará.

Si se conecta GND y 5 V en las terminales de los extremos respectivamente, tendremos un voltaje variables en la terminal central, desde 0 a 5 V. Esto podría servir para conectar a una entrada analógica como la del ADC0804.

Práctica convertidor A/D

Finalmente, en equipos de máximo 3 y mínimo 1, les pediré una práctica en otro simulador que pueden encontrar de forma gratuita, Proteus, que en su versión gratuita viene limitado, entre las limitaciones es que no pueden guardar su trabajo, solo lo pueden usar y al cerrar se perderá. Pueden por su cuenta buscar otra versión que sí les permita guardar, pero yo solo les pediré capturas de pantalla de su práctica sin que tengan que guardar el trabajo.

Lo pueden descargar de aquí:

<https://www.labcenter.com/downloads/prodemo.exe>

25.8 MB

La práctica consistirá únicamente en conectar el ADC0804 en el simulador y realizar algunas conversiones de ejemplo. Realicé un video donde se muestra lo que hay que hacer, ustedes deberán repetir los pasos y probar diferentes valores de conversión.

VIDEO: <https://youtu.be/X3lc-zqEUM8>

Deben entregar un reporte con portada y donde describan el circuito ADC0804, su conexión, material necesario y algunos ejemplos donde muestren las operaciones para calcular las conversiones de diferentes valores analógicos a digitales (por ejemplo, para 3.1 V en la entrada analógica da 158 digital) y operaciones opuestas, por ejemplo para un 96 en la salida digital, debe de tener 1.88 V en la entrada analógica.

Práctica opcional, el sensor de temperatura analógico LM35

Si desean agregar un componente más realista, de forma opcional (no contará extra en calificación) pueden colocar un sensor de temperatura LM35 en lugar del potenciómetro y probar diferentes valores para convertir.

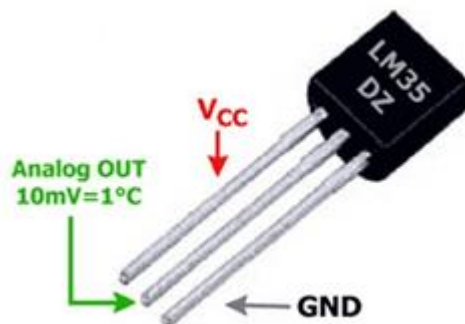


Figura 11. Sensor de temperatura LM35

Este sensor se conecta únicamente a GND y +5V para funcionar y en la terminal del medio arroja un voltaje que cambia dependiendo la temperatura. Arroja 10 mV por cada 1 °C, por lo que entregará 100 mV para 10 °C o 240 mV para 24 °C.

$$1\text{ V} = 1000\text{ mV}$$

$$0.1\text{ V} = 100\text{ mV}$$

$$0.01\text{ V} = 10\text{ mV}$$

Por lo tanto, para 24 °C entregará 240 mV = 0.24 V

Si la salida analógica de este sensor se coloca en la entrada del convertidor A/D, entonces esos 0.24 V se convertirán a digital entregando un cierto valor digital:

Siguiendo la regla de 3, se calcula:

$$5V - 255$$

$$0.24V - x$$

entonces:

$$x = \frac{0.24V * 255}{5V}$$

$$x = 12.24$$

Se tiene entonces un 12 a la salida digital, que, si se razona toda la lógica, corresponde a 24 °C de temperatura. Del mismo modo, se puede calcular a la inversa, si se tiene un 18 a la salida digital, ¿a qué temperatura corresponde? Primero podemos calcular a cuánto voltaje corresponde a la entrada analógica ese 18 en la salida digital:

$$5V - 255$$

$$x - 18$$

entonces:

$$x = \frac{18 * 5V}{255}$$

$$x = 0.35\text{ V}$$

Se tiene entonces que para un 18 en la salida digital, corresponde a 0.35 V en la entrada analógica, que en particular para el sensor de temperatura LM35, 0.35 V = 350 mV = 35 °C.

La práctica en este caso se trata de probar diferentes valores de temperatura y comprobar que la salida digital corresponde con los cálculos.