

# 1. Interfaz con el mundo analógico

Una **cantidad digital** tendrá un valor que se especifica como una de dos posibilidades: 1 o 0. BAJO o ALTO, cierto o falso, etc. En la practica, una cantidad digital, como podría ser un voltaje, en realidad puede tener un valor que se encuentra en cualquier punto entre intervalos específicos y definimos valores dentro de un rango determinado para obtener el mismo valor digital. Por ejemplo para la lógica TTL sabemos que:

0 [V] a 0.8 [V] = 0 lógico

2 [V] a 5 [V] = 1 lógico

a cualquier voltaje por debajo del rango 0 a 0.8 [V] se le da el valor digital de '0' y a cualquier voltaje en el intervalo de 2 a 5 [V] se le asigna el valor digital de '1'. Los valores exactos de voltaje no son significativos, por que los circuitos responden de la misma manera a todos los valores de voltaje dentro de un rango determinado.

En contraste un **cantidad analógica** puede adoptar cualquier valor sobre intervalo continuo de valores, y lo que es mas importante, su valor exacto es significativo.

Cuando un sistema digital, por ejemplo una computadora, se emplea para observar o controlar un proceso físico, debemos establecer la diferencia entre la naturaleza digital de la computadora y la naturaleza analógica de las variables de proceso.

Elementos que intervienen cuando una computadora monitorea y controla una variable física que se supone analógica.

**Transductor.** Es un dispositivo que convierte la variable física en una variable eléctrica.

**Convertido analógico digital.** La salida analógica eléctrica del transductor sirve como entrada analógica para el ADC. El ADC convierte esta entrada analógica en una salida digital.

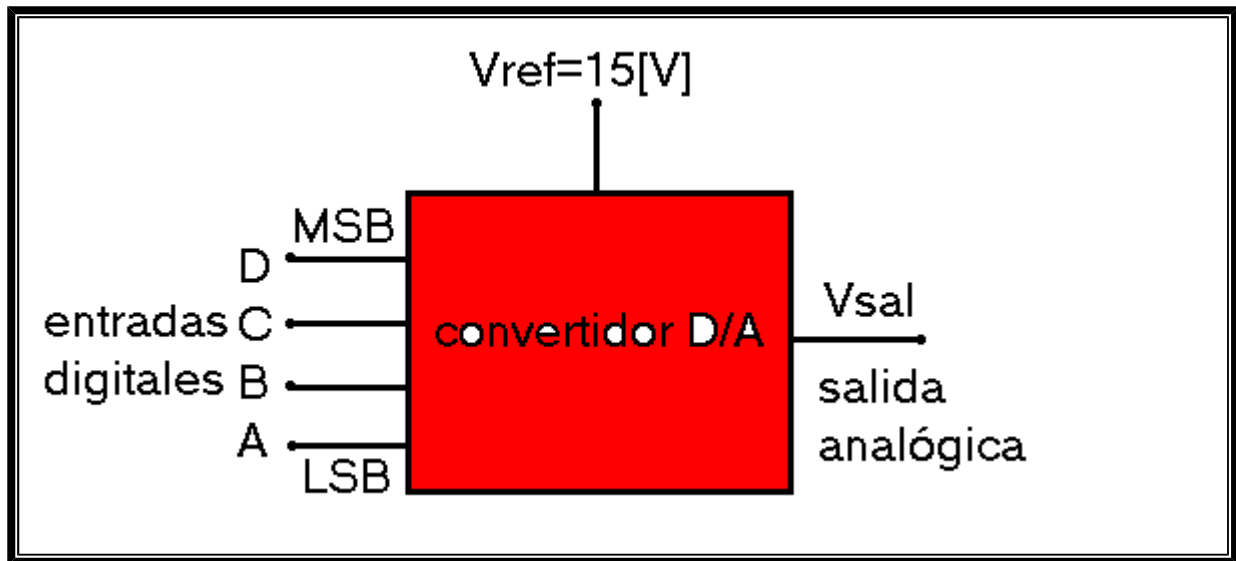
**Computadora.** Procesa las señales de entrada y decide que hacer en las situaciones planteadas.

**Convertidor DAC.** Esta salida digital de la computadora se conecta a un DAC, que lo convierte en un voltaje o corriente analógica proporcional.

**Actuador.** La señal analógica del DAC con frecuencia se conecta a algún dispositivo o circuito que sirve como actuador para controlar la variable física. Para nuestro ejemplo de la temperatura del agua, el actuador podría ser una válvula controlada eléctricamente que regule el flujo del agua caliente hacia el tanque, de acuerdo con el voltaje analógico del DAC. La velocidad del flujo variará en proporción a ese voltaje analógico, con 0[V] sin producir ningún flujo y 10 [V] produciendo el flujo máximo.

## **2. Conversión de digital a analógica.**

Básicamente, la conversión A/D es un proceso de tomar un valor representado en código digital (como binario directo o en BCD) y convertirlo en un voltaje o corriente que sea proporcional al valor digital. En la siguiente figura se muestra el símbolo de un convertidor D/A común de cuatro bits:



El enfoque sobre la circuitería interna lo veremos más adelante; por el momento examinaremos las diferentes relaciones de entrada-salida.

Note que hay una entrada para el voltaje de referencia,  $V_{ref}$ . Esta entrada se usa para determinar la **salida a plena escala**, o valor maximo que el convertidor puede producir. Las entradas digitales, por lo general se derivan del registro de salida de un sistema digital. Los  $2^4=16$  números binarios distintos representados mediante estos cuatro bits se enlistan en la siguiente figura:

D	C	B	A		V <sub>sal</sub>	
0	0	0	0		0	Volts
0	0	0	1		1	
0	0	1	0		2	
0	0	1	1		3	
0	1	0	0		4	
0	1	0	1		5	
0	1	1	0		6	
0	1	1	1		7	
1	0	0	0		8	
1	0	0	1		9	
1	0	1	0		10	
1	0	1	1		11	
1	1	0	0		12	
1	1	0	1		13	
1	1	1	0		14	
1	1	1	1		15	

Para cada valor digital le corresponde un valor analógico. De hecho, para este caso, el voltaje de salida analógico  $V_{sal}$  es

igual en volts al número binario. También podría haber sido el doble del número binario o algún otro factor de proporcionalidad. La misma idea sería válida si la salida del D/A fuera una corriente  $I_{sal}$ .

En general: salida analógica =  $K \times$  entrada digital

## **Salida analógica**

La salida de un DAC no es una cantidad analógica por que solo puede adoptar valores específicos como los 16 niveles de voltaje posibles para  $V_{sal}$ , siempre que  $V_{ref}$  sea constante. En tal sentido es en realidad digital. Sin embargo, como veremos, el número posible de valores distintos de salida se puede incrementar y la diferencia entre valores sucesivos puede disminuir al aumentar el número de bits de entrada. Esto nos permitirá una salida que sea más y más como una cantidad analógica que varíe continuamente en un rango de valores. En otras palabras, la salida del DAC es una cantidad "seudoanalógica". Seguramente refiriéndose a ésta como analógica ya que es una aproximación a una cantidad analógica.

## **Factores de ponderación de las entradas**

Para el DAC de la figura pasada se debe observar que cada entrada digital aporta una cantidad diferente a la salida analógica. Esto se puede apreciar fácilmente si examinamos los casos donde solo una entrada es ALTA (tabla). Las contribuciones de cada entrada se ponderan de acuerdo con su posición en el número binario. Así, A, que es el LSB, tiene un factor de ponderación de 1 [V]; B tiene un factor de ponderación de 2 [V]; C tiene un factor de ponderación de 4 [V]; y D, el MSB, tiene el factor de ponderación mayor, 8 [V]. Los factores de ponderación se incrementan al doble de manera sucesiva para cada bit, iniciando con el LSB. De tal manera, podemos considerar  $V_{sal}$  para la entrada digital 0111, podemos sumar las ponderaciones de los bits C, B y A con el fin de obtener  $4 [V] + 2 [V] + 1 [V] = 7 [V]$ .

D	C	B	A		V <sub>sal</sub> [V]
0	0	0	1		1
0	0	1	0		2
0	1	0	0		4
1	0	0	0		8

**EJEMPLO:** un convertidor D/A de cinco bits produce  $V_{sal}=0.2$  [V] para una entrada digital de 00001. Determine el valor de  $V_{sal}$  para una entrada de 11111

**Solución:**

Es obvio que 0.2 [V] es el factor de ponderación del LSB. Así los factores de ponderación para los otros bits deben ser 0.4 [V], 0.8 [V], 1.6 [V], 3.2 [V], respectivamente. Entonces para una entrada digital de 11111, (qué es el MSB), el valor de  $V_{sal}$  será  $3.2 + 1.6 + 0.8 + 0.4 + 0.2 = 6.2$  [V] (muy curioso)

E	D	C	B	A		V <sub>sal</sub> [V]
0	0	0	0	1		0.2
0	0	0	1	0		0.4
0	0	1	0	0		0.8
0	1	0	0	0		1.6
1	0	0	0	0		3.2

**$2^5 = 32$  combinaciones**

## Resolución tamaño de escalón

La resolución de un convertidor D/A se define como el cambio menor que puede producir en la salida analógica como un resultado en la entrada digital. En el primer ejemplo podemos observar que la resolución es de 1 [V]

La resolución siempre es igual al factor de ponderación del LSB y también se le denomina **tamaño del escalón**.

En general, para un DAC de N bits el número de niveles distintos será  $2^N$  y el número de escalones será  $2^N - 1$ .

**Salida analógica = K x (entrada digital)**

**Resolución = K = ( $A_{fs}$ ) / ( $2^N - 1$ )**

**$A_{fs}$ : salida analógica a plena escala.**

**n: es el número de bits.**

