

## Acondicionamiento de señales analógicas

### DEFINICIÓN

Las señales obtenidas de los sensores y transductores que se usan en los sistemas de medición, tienen que ser procesadas y adaptadas para poder pasarlas a la siguiente etapa.

Este proceso de adaptación es lo que se conoce como acondicionamiento de la señal y como ejemplo de estos cambios se pueden mencionar los siguientes:

- La señal del sensor o transductor es demasiado pequeña, por lo que hay que amplificarla para que se pueda acoplar en la siguiente etapa
- La señal tiene interferencias no deseadas, lo cual puede ser muy común cuando los transductores no tienen un buen aislamiento eléctrico
- La señal del transductor es de tipo analógico y hay que acoplarla a un sistema digital, por lo que habrá que pasarla por un conversor analógico-digital
- La salida del transductor no tiene la impedancia adecuada para la siguiente etapa, lo que causaría pérdida de la señal de salida
- La señal del transductor es un voltaje de DC y hay que cambiarlo a pulsos
- En las primeras etapas de los sistemas de instrumentación es común que se tengan que acoplar y adaptar señales de corriente y de voltaje que sean proporcionales
- La señal de salida del transductor no es lineal, por lo que es necesario hacer una corrección

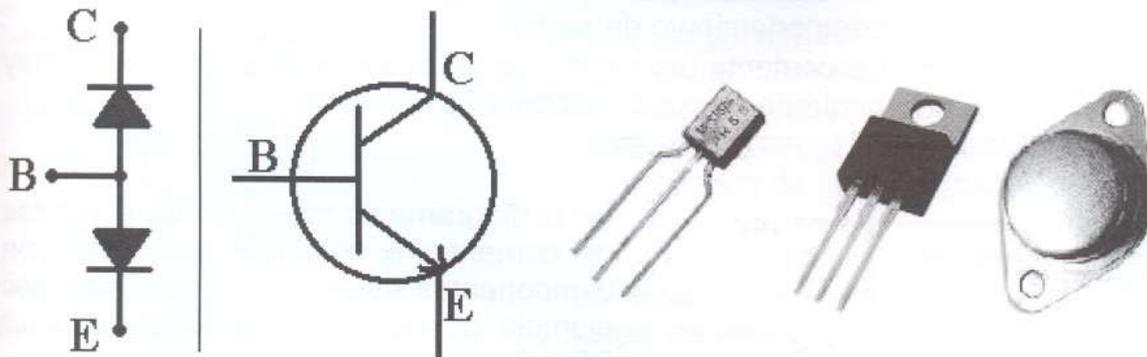
Este acondicionamiento de las señales de los transductores puede ser simple o complejo y hay elementos y configuraciones estándar para su tratamiento.

### EL TRANSISTOR

Los transistores son dispositivos semiconductores que debido a sus características de operación pueden desarrollar varias funciones principales. Una es de amplificador de señales, otra es de ser un circuito de conmutación, es decir, un interruptor (*switch*) electrónico, de oscilador y también puede ser un rectificador de señales.

Los transistores están formados por tres capas semiconductoras que forman dos uniones bipolares y que pueden tener un orden P-N-P o N-P-N, por lo que en el diseño de circuitos son considerados como elementos activos, a diferencia de los elementos pasivos formados por condensadores, resistencias y bobinas.

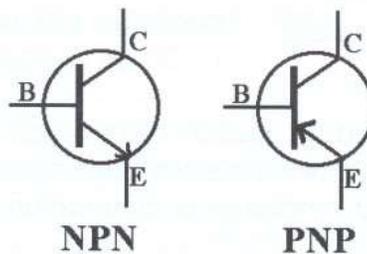
Cada capa tiene su nombre, por lo que el transistor tiene un colector (c), un emisor (E) y una base (B). Los transistores pueden tener diferentes encapsulados y su representación para el diseño de circuitos se muestra a continuación.



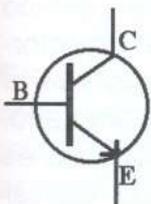
Los transistores, gracias a las tecnologías de integración, se han vuelto el principal componente de todos los circuitos integrados. Las compuertas digitales, los microprocesadores y todo tipo de circuito integrado están compuestos de millones de transistores microscópicos.

**POLARIZACIÓN DEL TRANSDUCTOR**

Como la polarización de los dos tipos de transistores bipolares es diferente, empezaremos por diferenciar su diagrama eléctrico.



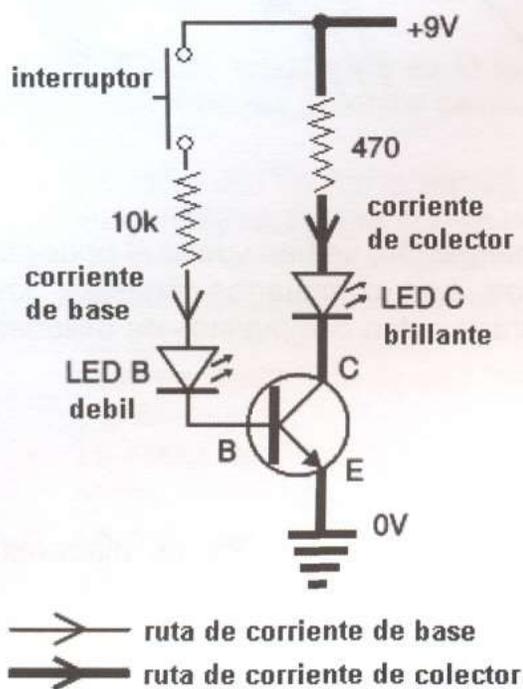
Independiente a que la elaboración de los transistores NPN es más simple, su uso puede estar definido por los criterios de diseño del circuito, ya que usándolo como *switch*, si el estímulo es un 1 convendrá usar un NPN y si el estímulo es un 0 entonces la elección será un PNP.



La operación de un transistor se basa en los siguientes conceptos

- La unión Base-Emisor se comporta como un diodo
- Una corriente de Base solamente fluye cuando el voltaje B-E es mayor a 0.7 Volts
- La corriente del Colector es igual a la corriente de Base aumentada por la ganancia del transistor, llamada  $h_{FE}$

- Se necesita incluir una resistencia en serie con la Base del transistor para limitar su corriente y evitar dañarlo
- En un extremo de operación, el transistor entraría en estado de saturación, lo que causaría un  $V_{CE}$  de 0 volts y un comportamiento de *switch*
- La corriente del Emisor es igual a  $I_C + I_B$  y como  $I_B$  es muy pequeña se puede suponer que  $I_E = I_C$



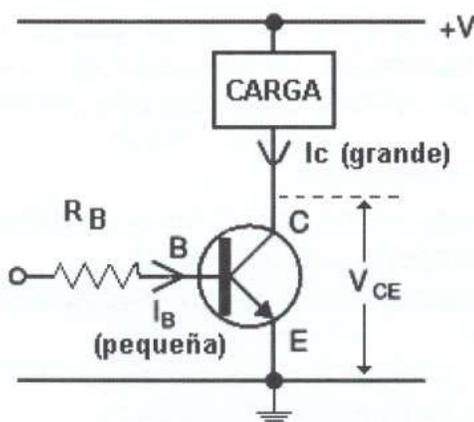
En el diagrama se muestran las dos rutas de corriente,  $I_B$  e  $I_C$  que se logran con componentes estándar. El transistor, por ejemplo, puede ser un MPS2222A o un BC548.

La corriente de Base es la que controla la corriente del Colector.

Cuando el interruptor se cierra, la pequeña corriente de Base fluye y prende el LED B con una intensidad débil. El transistor amplifica la corriente que fluye del Colector al Emisor, por lo que el LED C prende con una intensidad brillante.

Cuando el interruptor se abre, no fluye corriente por la Base, por lo que los dos LEDs se apagan.

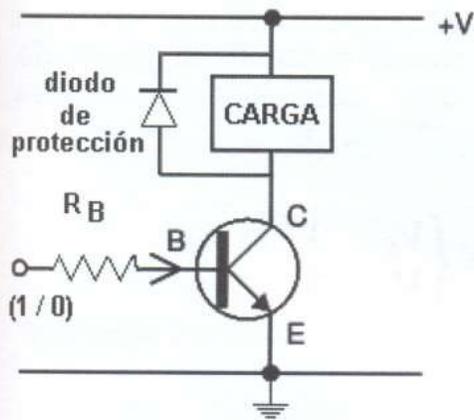
Cuando el transistor se usa como *switch* electrónico la polarización se va a los extremos de operación, por lo que se satura para cerrarlo y se apaga para abrirlo. El dispositivo a prender/apagar mediante la simulación de abrir/cerrar del *switch* se le llama carga.



La forma de operación en un transistor en configuración de *switch* es:

- Cuando el transistor está apagado la corriente de colector es cero, por lo que  $I_C \times V_{CE} = 0$
- Cuando el transistor está en estado de saturación, el voltaje Colector-Emisor es casi cero, por lo que el producto  $I_C \times V_{CE}$  es muy pequeño, lo que significa que la potencia es baja y entonces no debe causar calentamiento en el transistor.

Los valores importantes a considerar es esta configuración son la máxima corriente de colector y la mínima ganancia de corriente  $h_{FE}$ .



Si la carga del *switch* electrónico es un motor, un relevador o algún tipo de bobina, se debe incluir un diodo de protección que cuide al transistor de algún daño cuando se apaga la carga.

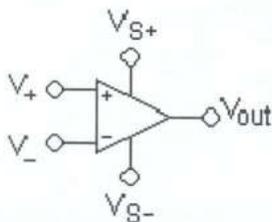
La figura muestra la polarización inversa del diodo, lo que garantiza que cuando la carga se apaga, la corriente fluya por el diodo y protege al transistor.

El transistor es un buen *switch* para DC, por lo que si se quiere controlar corriente AC o alto voltaje, se tendrá que usar un relevador.

### AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Los amplificadores operacionales son amplificadores de señal con una configuración general prediseñada y que se encuentra encapsulada en un circuito integrado. Tres de las características importantes son:

- Tienen una entrada diferencial, es decir, una entrada positiva y una negativa
- La salida del amplificador se define como  $V_{OUT} = G (V_+ - V_-)$ , por lo que la ganancia es  $g = V_o / V_i$
- En forma ideal, la impedancia de entrada es infinita y la de salida es nula



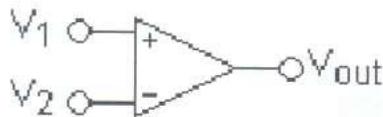
Esta figura representa el diagrama eléctrico de los amplificadores operacionales.

Los voltajes  $V_S$  son voltajes de polarización que, generalmente, pueden llegar a los niveles de 15 Volts.

El modelo uA741 de la compañía Fairchild es uno de los más conocidos.

Gracias al diseño de los amplificadores operacionales, estos pueden tener una configuración de lazo abierto y también de lazo cerrado. Si el voltaje de salida se retroalimenta como voltaje de entrada negativo, la configuración será de lazo cerrado. Los amplificadores operacionales pueden tener diferentes configuraciones, lo que los hace un dispositivo muy atractivo para acondicionar señales.

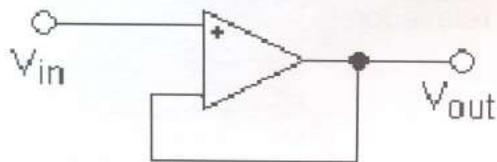
### Comparador



- Esta es una aplicación sin la retroalimentación. Compara entre las dos entradas y entrega una salida en función de qué entrada sea mayor. Se puede usar para adaptar niveles lógicos

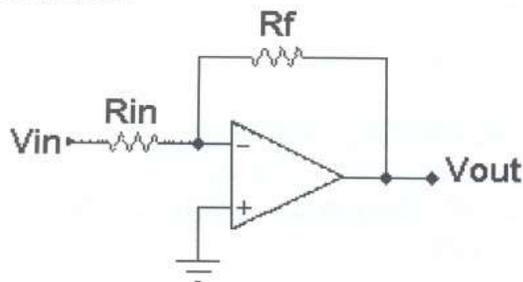
$$V_{out} = \begin{cases} V_{S+} & V_1 > V_2 \\ V_{S-} & V_1 < V_2 \end{cases}$$

### Seguidor



- El seguidor es un circuito que proporciona a la salida un voltaje igual que a la entrada
- Se usa como un *buffer*, para eliminar efectos de carga o para adaptar impedancias (conectar un dispositivo con gran impedancia a otro con baja impedancia y viceversa)

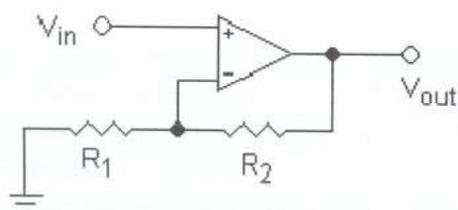
### Inversor



- El inversor es un amplificador que cambia el signo o la fase del voltaje de entra. La ganancia está determinada por la relación de resistencias

$$V_{OUT} = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}}$$

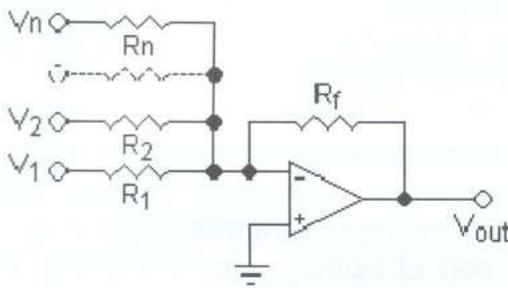
### No Inversor



- El no inversor es un amplificador de señal con una ganancia determinada por la relación de resistencias.

$$V_{out} = V_{in} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

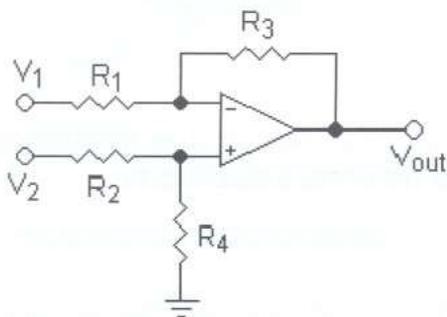
### Sumador Inversor



- El amplificador suma los voltajes de entrada e invierte la señal de salida

$$V_{out} = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

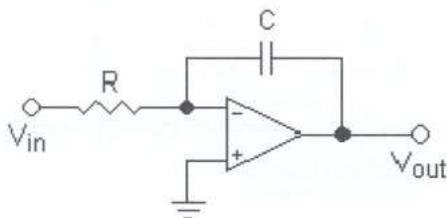
### Restador (amplificador diferencial)



- Esta configuración resta los voltajes de entrada. La polaridad del voltaje de salida depende de la magnitud de los valores de entrada

$$V_{out} = V_2 \left( \frac{(R_3 + R_1) R_4}{(R_4 + R_2) R_1} \right) - V_1 \left( \frac{R_3}{R_1} \right)$$

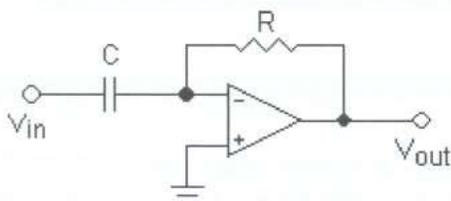
### Integrador Ideal



- La señal de entrada se integra como una función dependiente del tiempo
- La señal de salida está invertida
- $V_{inicial}$  es el voltaje cuando  $t=0$

$$V_{out} = \int_0^t -\frac{V_{in}}{RC} dt + V_{inicial}$$

### Derivador ideal



- La señal de entrada se deriva y se invierte con respecto al tiempo

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

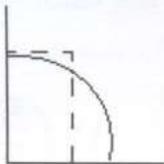
### FILTROS ANALÓGICOS

Algunas señales que entregan los sensores y transductores contienen señales de interferencia, producto del ambiente en el que se encuentran. La interferencia de la línea de voltaje o de señales de radiofrecuencia son algunos ejemplos.

Los filtros analógicos pueden eliminar estas señales parásitas limitando el ancho de banda a través de generar diferentes segmentos, diferentes túneles que permitan pasar solamente la señal que se desea transmitir. El límite entre lo que se pasa y entre lo que se rechaza se conoce con el nombre de frecuencia de corte.

Los filtros se clasifican de acuerdo con los segmentos de frecuencia que dejan pasar o que rechazan. De esta forma la clasificación puede ser de cuatro tipos diferentes:

#### 1. Filtro pasa bajas



Permite el paso de señales desde una frecuencia 0 hasta la frecuencia de corte establecida

#### 2. Filtro pasa altas



Permite el paso de señales a partir de la frecuencia de corte establecida

#### 3. Filtro pasa banda



Permite el paso de señales dentro de un rango superior e inferior de frecuencias

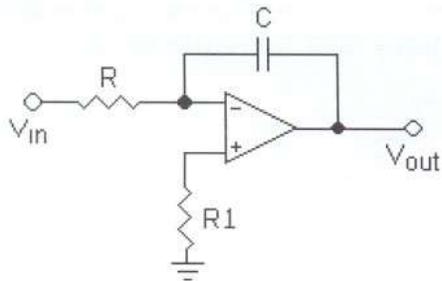
#### 4. Filtro supresor de banda



Permite el paso de señales en todo el espectro excepto en un rango establecido de frecuencias

En los filtros, la frecuencia de corte se considera cuando la señal alcanza el 70.7% de su valor, lo que equivale a una atenuación de 3 dB.

Los filtros también se clasifican en pasivos y activos. Los filtros pasivos están formados por resistencias, condensadores y bobinas.



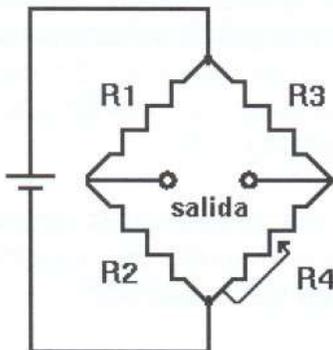
Filtro activo pasa bajas

Una de sus desventajas es que la frecuencia se puede modificar por el consumo de energía de los componentes.

Los filtros activos se refieren a los circuitos con elementos semiconductores como transistores y amplificadores operacionales y no tienen la desventaja de los filtros pasivos. Las configuraciones de Integrador y Derivador de los amplificadores operacionales son usadas como filtros.

### EL PUENTE DE WHEATSTONE

Es un arreglo de resistencias muy usado para medir los cambios en una de ellas, lo cual produce un cambio de voltaje en su salida.



Este circuito resistivo puede operar con voltaje directo en un rango menor a 12 volts.

Cuando el puente está en equilibrio, significa que el voltaje de salida es 0, por lo que implica que  $R1=R2$  y  $R3=R4$ .

Si la resistencia variable  $R4$  es el elemento sensor que se está usando y cambia su valor, el voltaje de salida va a cambiar en consecuencia.

En ocasiones, estos sensores requieren de un elemento de compensación para evitar cambios adicionales como podría ser por factores de temperatura.

### CONVERSORES ANALÓGICO-DIGITALES

El mundo en que vivimos genera señales de tipo analógicas. Los sensores y transductores de señales, siempre van a generar señales analógicas. Para que

estas señales puedan ser incorporadas a sistemas digitales del tipo circuitos electrónicos digitales o computadoras, es necesario cambiar estas señales analógicas a señales digitales.

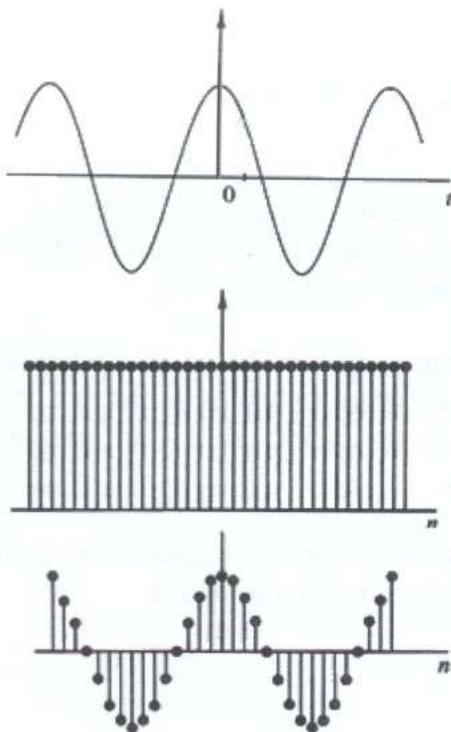
Para manejar esta conversión, el sistema binario, con dígitos 0 y 1, es la base teórica para poder manejarla. Estos dígitos binarios, desde el punto de vista de la electrónica, son llamados bits. Cuando un número se representa por este sistema, la posición del dígito en el número binario indica el peso asignado a cada dígito, peso que tiene un equivalente en un sistema decimal y que aumenta en un factor de 2, representado por la expresión  $2^n$

$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
8	4	2	1
Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Como ejemplo, el número decimal 12 en un sistema binario tiene la siguiente representación

$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
8	4	2	1
1	1	0	0

La comprobación de  $8 + 4$  confirma que la conversión fue correcta.



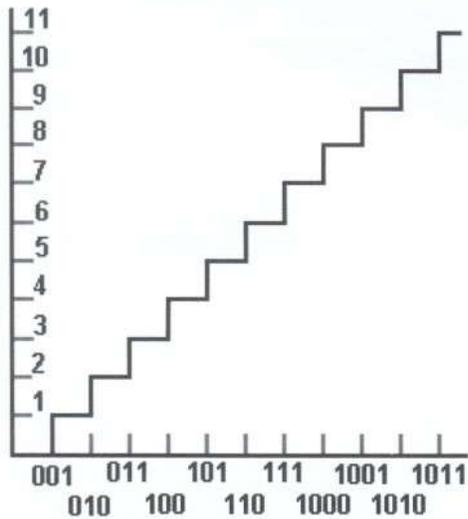
Según el número de bits, será la capacidad del convertor, ya que a mayor número de bits, la resolución y el rango de amplitud de la señal a manejar serán mayores. En caso de usar 4 bits, solamente se podrán distinguir 16 números incluyendo el 0.

La operación de los conversores analógico-digital se basa en un circuito de muestreo de la señal y el módulo de conversión.

En la parte superior de la figura se ve la señal que se quiere convertir. En la parte central se representa el circuito de muestreo que tomará una lectura de la señal con una frecuencia fija. En la parte inferior se ven los valores recolectados por el circuito de muestreo que simula la señal original, mostrando solamente los valores muestreados.

Estas muestras se pasan al conversor analógico-digital y así se obtendrá su equivalente en el número de bits que tenga el conversor.

La frecuencia de muestreo de una señal es importante, ya que define la fidelidad con la que se va a reproducir en forma binaria. El teorema de Nyquist - Shannon, conocido como el teorema de muestreo, dice que para poder ser reconstruida, la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos del doble de la frecuencia máxima de la señal original.



Hay varios métodos de conversión analógico-digital. El método de escalera es muy usado en dispositivos de bajo precio y consiste en incrementar la cuenta binaria hasta que ésta coincida con el valor analógico a comparar.

La figura ilustra una entrada analógica en el eje vertical y una salida digital equivalente en el eje horizontal.

La longitud de la palabra binaria determina la resolución del conversor, definiendo el cambio de señal más pequeño que puede detectar a su salida.

De esta manera un convertidor analógico-digital de una longitud de palabra de 8 bits, con un intervalo de señal analógica de 5 volts, el número de niveles en una palabra es de  $2^8 = 256$ , y por ello la resolución es  $5/256 = 19.5$  mV.