

## CAPITULO 2

### Proceso de Acondicionamiento

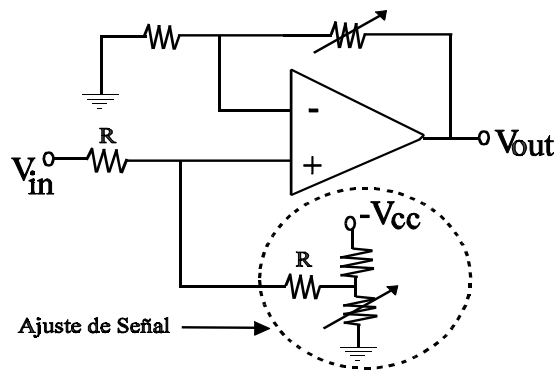
El proceso de acondicionamiento prepara una interfaz entre la señal proveniente del transductor y los dispositivos que manipulan los datos; Tarjetas de Adquisición de Datos y Controladores Programables.

Este proceso no sólo se encarga de la amplificación de una señal, también, provee el filtrado de la señal, ajuste y corrección de no-linealidades.

#### Ajuste de Señal

Por lo general, el valor mínimo de la señal entregada por los sensores es distinto de cero, lo que significa que para un estado inicial, la salida del circuito acondicionador también lo sería, por esta razón es necesario utilizar un circuito para el control de offset, que permitirá corregir este valor inicial no deseado.

La solución más sencilla es agregar a la configuración de amplificación un circuito que elimine este voltaje indeseado, siendo el más adecuado el que se presenta en la siguiente figura.



**Figura 9:** Amplificador con Control de Offset y de Ganancia

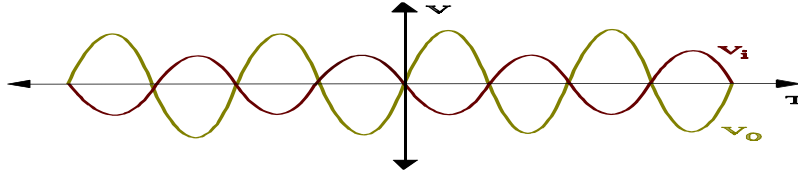
#### Amplificación

La mayoría de los sensores generan señales con muy baja amplitud, generalmente del orden de los milivolts. Tales señales difícilmente pueden ser captadas por dispositivos de adquisición de datos. En general estos dispositivos son sensibles a variaciones en la entrada del orden de los 20 milivolts. Claramente los sensores en su máximo rendimiento generan señales del orden de los 5 Milivolts, lo que no permitiría un aprovechamiento adecuado del dispositivo.

Por lo tanto, será necesario de un proceso de amplificación de la señal, siendo recomendable no amplificarla más de 10 veces a la vez. Por consiguiente, en la mayor parte de los casos será necesario que ésta etapa se subdivida en etapas sucesivas, utilizando amplificadores conectados en cascada.

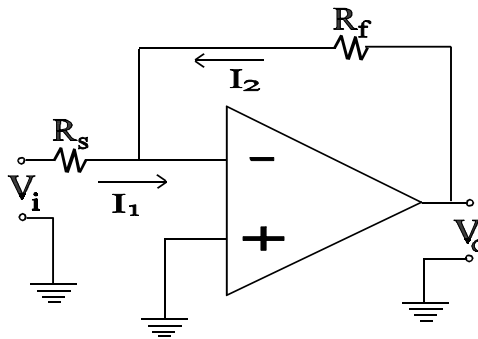
## Amplificador Inversor

Con esta simple configuración se puede obtener una señal amplificada con respecto a la de entrada, sin embargo, ésta se encuentra desplazada en  $180^\circ$  con respecto a la de entrada.



**Figura 10:** Gráfica del Comportamiento de un Amplificador Inversor

Su representación típica se muestra en la Figura 11, de la que se obtiene una relación entre la tensión de salida y entrada, que en términos generales se conoce como ganancia de tensión,  $A_v$ .



**Figura 11:** Amplificador Inversor

Analizando este circuito se tiene que:

$$i_1 = \frac{V_i}{R_s} \quad \wedge \quad i_2 = \frac{V_0}{R_f}$$

$$i_1 + i_2 = 0 \Rightarrow \frac{V_i}{R_s} + \frac{V_0}{R_f}$$

$$\therefore \frac{V_i}{R_s} = -\frac{V_0}{R_f} \Rightarrow \frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_f}{R_s}$$

Finalmente, despejando esta última relación se obtiene que:

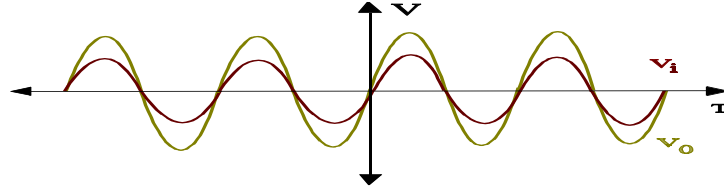
$$V_0 = -\frac{R_f}{R_s} V_i$$

Por lo tanto, la ganancia de tensión,  $A_v$ , para este esquema está definida como:

$$A_v = -\frac{R_f}{R_s}$$

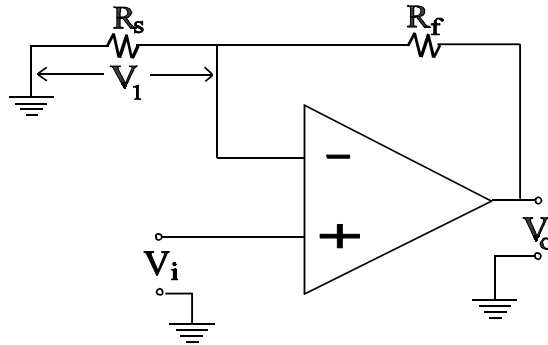
## Amplificador No-Inversor

Este circuito, presenta un comportamiento similar al del amplificador inversor, con la diferencia que las señales, tanto de salida como de entrada se encuentran en fase una de la otra.



**Figura 12:** Gráfica del Comportamiento de un Amplificador No-Inversor

Su esquema típico se muestra en la siguiente figura 13, de la que se deduce la ganancia de tensión  $A_v$ , que relaciona la tensión de salida con la de entrada.



**Figura 13:** Amplificador No-Inversor

De acuerdo al esquema anterior, se observa que entre  $R_s$  y  $R_f$ , forman un divisor de tensión, por lo tanto se cumple:

$$V_1 = \frac{R_s}{R_s + R_f} V_0$$

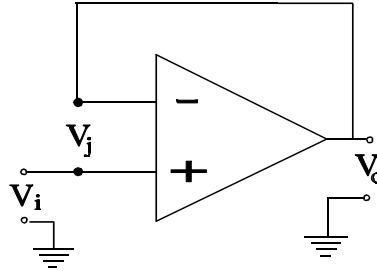
Por otro lado, se sabe que  $V_i$  debe ser igual a  $V_1$ , para que se cumpla la relación ideal,  $A = \frac{V_0}{(V_1 - V_i)} \Rightarrow \infty$ , por tanto:

$$V_i = \frac{R_s}{R_s + R_f} V_0 \Rightarrow \frac{V_0}{V_i} = \frac{R_s + R_f}{R_s} = 1 + \frac{R_f}{R_s}$$

Entonces, la ecuación característica para la ganancia de tensión del amplificador no-inversor será:  $A_v = 1 + \frac{R_f}{R_s}$

## Seguidor de Voltaje

Esta configuración, tiene relación con la del amplificador no-inversor, ya que corresponde a un caso especial de éste, con un valor de ganancia unitario. Es también conocida como Buffer, quien permite amplificar la corriente de entrada de una señal, dejando intacto su voltaje. Esto se puede demostrar analizando el siguiente circuito, Figura 14:



**Figura 14:** Seguidor de Voltaje o Buffer

Por Kirchoff, se tiene:  $V_i + V_j = V_o$

Además, por definición:  $V_o = -A V_j \Rightarrow V_j = \frac{-V_o}{A}$

Entonces, sustituyendo, el valor de  $V_j$ , la primera ecuación quedaría como:

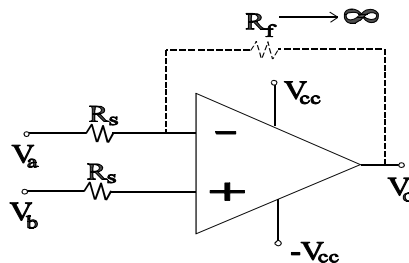
$$V_i - \frac{V_o}{A} = V_o$$

Donde,  $\frac{V_o}{A} \rightarrow 0$ , ya que,  $A \rightarrow \infty$  (por propiedad del amplificador operacional) por lo tanto:  $V_o = V_i$

## Comparador Analógico

Este circuito representado en la Figura 15, permite comparar dos voltajes aplicados uno a la entrada inversora y el otro a la no-inversora de un amplificador operacional. El resultado de esto es un voltaje de salida  $V_o$ , que obedece a la siguiente relación:

$$V_o = \begin{cases} +V_{cc} & \text{si } V_a \geq V_b \\ -V_{cc} & \text{si } V_a < V_b \end{cases}$$



**Figura 15:** Comparador Analógico

## Linealización de Señales

Las señales entregadas por un sensor deben ser directamente proporcional al estímulo aplicado, en un caso ideal, una línea recta entre el estímulo de entrada versus señal de salida, Figura 16 (a). Sin embargo, la mayoría los sensores no poseen esta característica (Figura 16 (b)).

Si el grado de no-linealidad es pequeño puede ser ignorado, teniendo en cuenta que originaría un pequeño error como resultado, sin embargo, si el grado es mayor debe incorporarse un procedimiento de linealización en el sistema, o bien puede solucionarse utilizando amplificadores con una retroalimentación tal que proporcionen efecto igual pero opuesto a las no-linealidades.

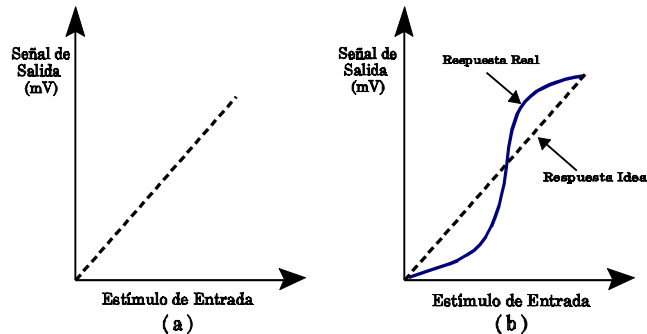


Figura 16: Gráficos de Linealidad

## Filtrado de Señales

Es común que señales entregadas por sensores estén contaminadas por ruidos eléctricos, debido a que en ambientes industriales abundan los grandes motores y máquinas eléctricas de gran tamaño que son fuentes generadoras de señales electromagnéticas que inducen corrientes no deseadas en los elementos de medición.

La solución a este problema, es filtrar la señal proveniente de los sensores, con elementos activos y pasivos, que permitan una optimización en el depurado de las señales.

En una primera etapa, la señal presenta por lo general bastantes problemas de ruido, por lo que se corre el riesgo de que al pasar por la etapa de amplificación, éste sea amplificado también, hasta llegar a niveles no convenientes. Por lo tanto, es necesario de un prefiltrado, que permita manejar la señal de entrada lo más pura posible, por ello se debe utilizar la configuración de la Figura 17, en primer lugar, antes de pasar por el proceso de amplificación.

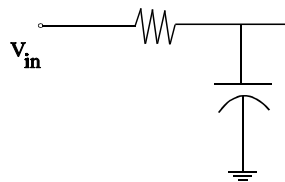
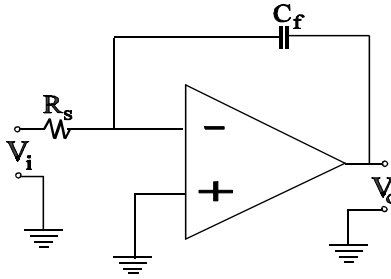


Figura 17: Filtro Pasivo de Entrada

En las siguientes etapas se realiza un filtrado más riguroso, de acuerdo con el estado actual de la señal, permitiendo así entregar una señal libre de los efectos del ruido.

Si la señal presenta una gran inestabilidad, es necesario utilizar la configuración del amplificador integrador (Figura 18), que contrarreste este efecto, asegurando así que las lecturas sean lo más estable posible.



**Figura 18:** Amplificador Integrador

Para este circuito, el voltaje de salida es proporcional a la integral del voltaje de entrada, como lo describe la siguiente ecuación:

$$V_o = \frac{1}{R_s C_f} \int V_i(t) dt$$

También existen otras configuraciones que son necesarias en el filtrado de la señal, por lo general los filtros Pasa Bajos son ideales para este trabajo, ya que comúnmente los transductores entregan señales con frecuencias tendientes a cero, por tanto, este tipo de circuitos permiten atenuar los efectos del ruido, entregando una señal limpia, lista para ser procesado por el computador.

El diseño de este tipo de filtros es más complejo, normalmente se hace referencia a su orden, que corresponde al número de impedancias capacitivas del circuito, que determinan la atenuación de la señal introducida por éste, pudiendo ser de 1er orden, 2do, 3er, etc.

En la práctica, cada orden tiene una diferencia de 6 dB por octava con respecto al siguiente, que corresponde también a la relación entre la frecuencia de corte y una frecuencia cualquiera que se encuentra n octavas por encima de ésta, considerando que una frecuencia está n octavas por encima de la frecuencia de corte si se cumple que:

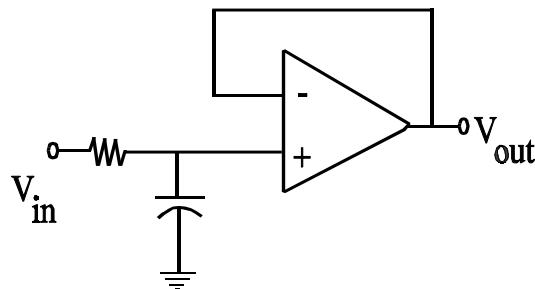
$$f = 2^n \cdot f_c$$

Definiendo como **frecuencia de corte** a aquella en que la respuesta del filtro está 3 dB por debajo de la máxima respuesta.



**Ejemplo:** si se tiene un filtro de primer orden con una frecuencia de corte de 10 KHz, se obtendrá una atenuación de 6 dB a la frecuencia de 20 KHz (una octava) y de 12 dB a la frecuencia de 40 KHz (2 octavas).

Es importante también, destacar que para construir, Filtros Pasa Bajos de órdenes grandes se suele recurrir a la implementación de varios filtros de primer y segundo orden (Figura 21.a, Figura 21.b respectivamente) en serie, como se aprecia en la Figura 21.c.



**Figura 19:** Filtro Paso Bajo de Primer Orden

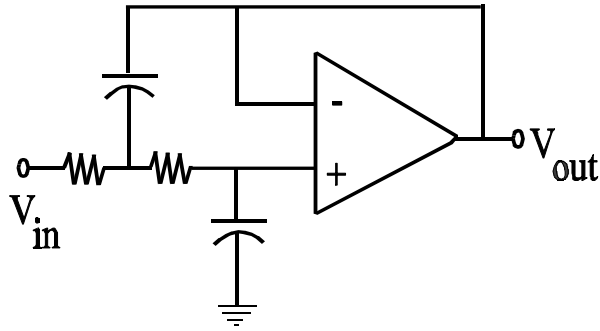


Figura 20: Filtro Paso Bajo de Segundo Orden

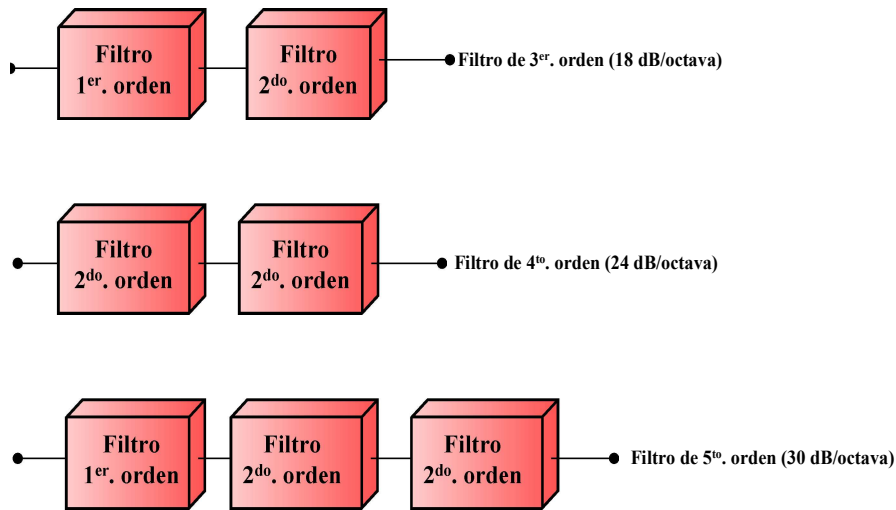


Figura 21: Diseño de Filtros

Por otro lado, existen tres principales configuraciones de Filtros Paso Bajos, entre los que se destacan, el Filtro de Butterworth, quien presenta una respuesta de frecuencia muy plana y es el más utilizado en el acondicionamiento de señales para sistemas de control, ofreciendo una atenuación de 3 dB a la frecuencia de corte y un tiempo de respuesta bastante bueno, no siendo adecuado para trabajar a frecuencias altas. A continuación se presentan las configuraciones típicas de primer y segundo orden para el filtro de Butterworth.

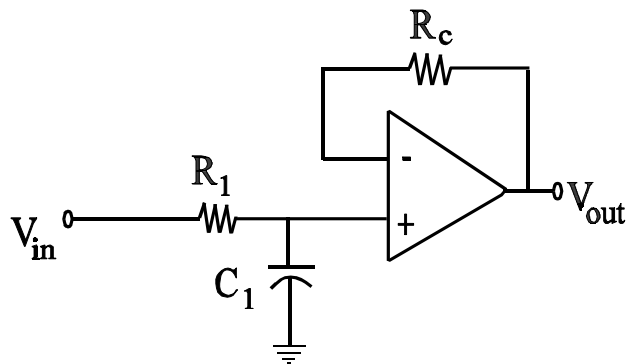
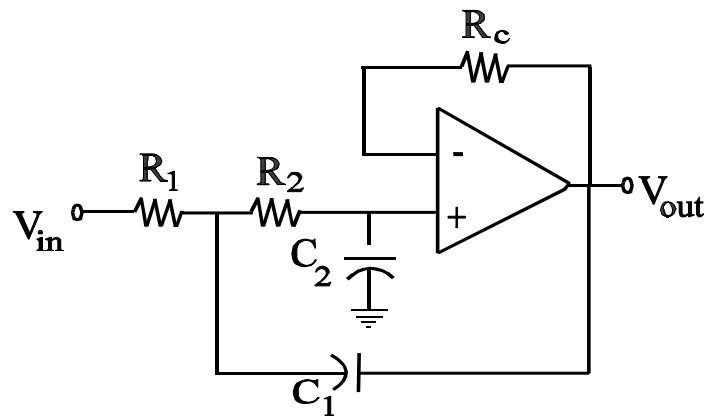


Figura 22: Filtro Activo Pasa Bajos Butterworth de Primer Orden



**Figura 23:** Filtro Activo Pasa Bajo Butterworth de Segundo Orden