

TEMA 3. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA

- 3.1 Problemas de acondicionamiento y alternativas
 - 3.1.1 Tipos de señales
 - 3.1.2 Operaciones con señales
 - 3.1.3 Errores en el acondicionamiento de señales
- 3.2 Interfaz con los sensores analógicos
- 3.3 Procesamiento analógico de señales
- 3.4 Interfaz con sensores digitales

3.1 Problemas de acondicionamiento y alternativas

- Los elementos que conectan un sistema electrónico con su entorno, sensores y actuadores, no están previstos, en general, para ser conectados directamente al núcleo del sistema, normalmente un procesador digital.
- Las etapas de acondicionamiento de señal hacen compatibles dichas conexiones.

3.1.1 Tipos de señales

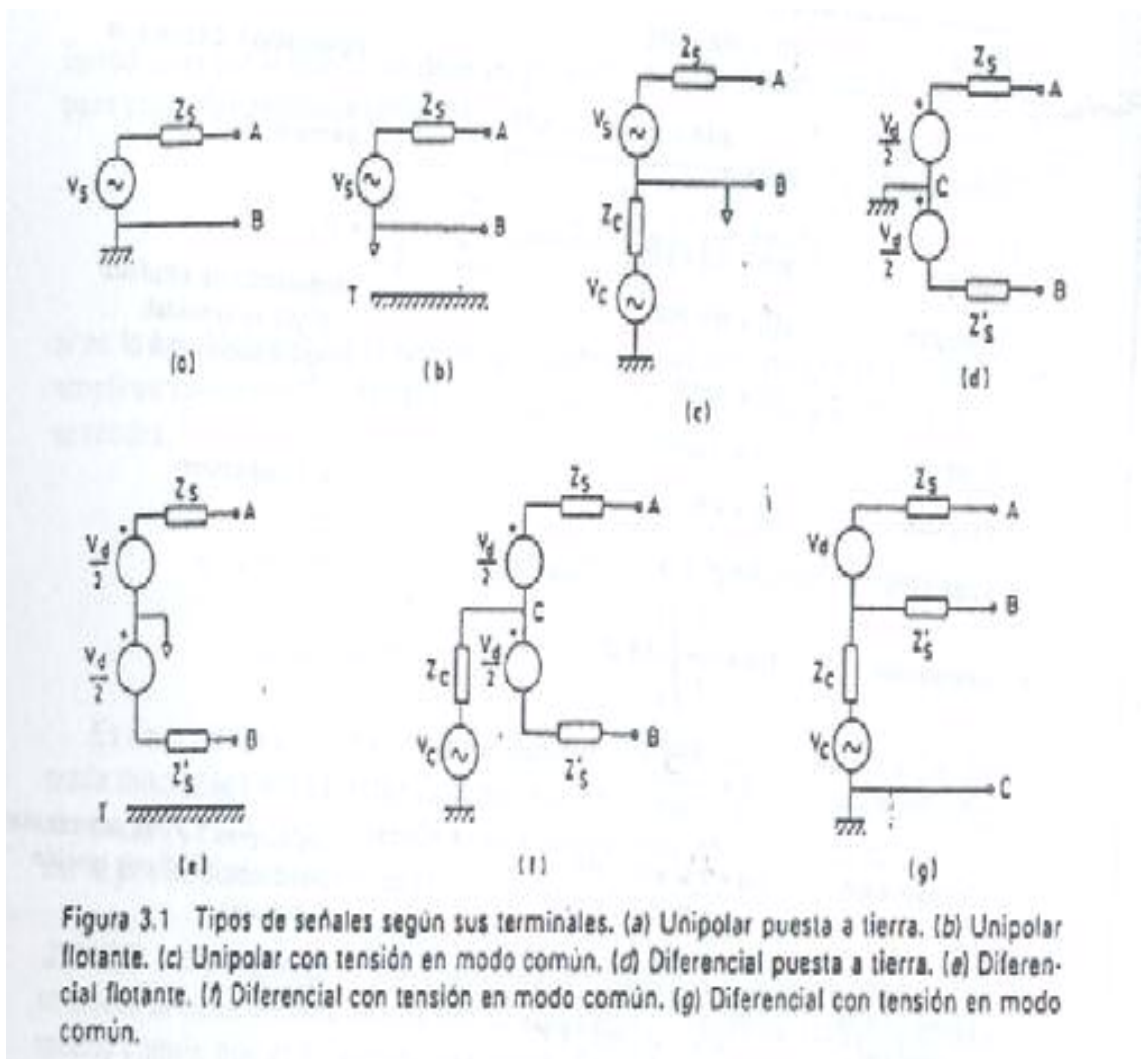
- **Señales analógicas y digitales.**

- **Señal** es toda magnitud cuyas variaciones llevan información sobre un proceso o magnitud física
- **Señal analógica:** su magnitud varía de forma continua en el tiempo
- **Señal discreta continua en el tiempo:** sólo pueden tomar unos valores concretos
- **Señal continua discreta en el tiempo:** pueden tomar cualquier valor pero en instantes de tiempo concretos
- **Señal digital:** sólo toman valores concretos en instantes determinados. Su amplitud viene dada por un código que se representa físicamente mediante señales con sólo dos niveles de tensión (“1” y “0”)
- Por extensión, suelen designarse como digitales todas las señales de amplitud discreta.

- **Señales unipolares y diferenciales**

- **Señales unipolares:** se miden entre un terminal y otro de referencia
- **Señales bipolares o diferenciales:** se miden entre dos terminales independientes del terminal de referencia
- Si el terminal de referencia está conectado a tierra, se dice que la señal es unipolar (o diferencial) **puesta a tierra**
- Si el terminal de referencia es independiente de tierra, la señal se denomina unipolar(o diferencial) **flotante**. En este caso, cualquier terminal se puede conectar a tierra sin que se altere el circuito

- Si entre el terminal de referencia y tierra existe una tensión, se trata de una señal unipolar(o diferencial) **con tensión en modo común**. Está prohibido conectar a tierra cualquier terminal.
- La compatibilización de los terminales de la señal con los terminales de entrada del dispositivo siguiente es una de las funciones del acondicionamiento de señales.



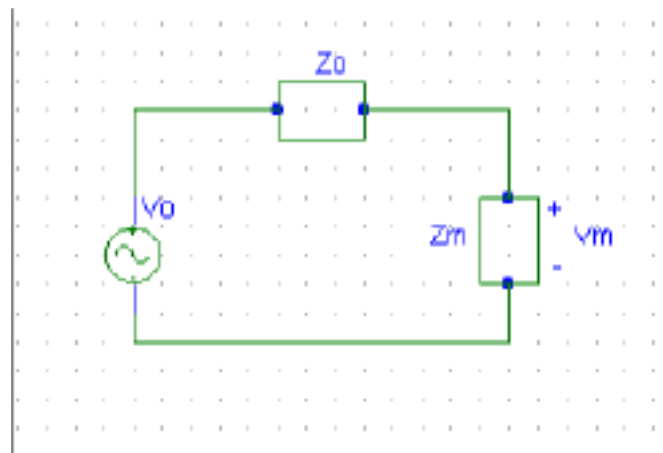
▪ Señales de alta y baja impedancia

- Al conectar dos elementos de un sistema o bien se desea que la tensión o corriente de entrada de un elemento coincida con la correspondiente a la salida del elemento precedente, o bien se desea transferir la máxima potencia.
- En ambos casos hay que adaptar la impedancia, y esta es otra de las funciones del acondicionamiento
- Para evitar la atenuación de la señal (efecto de carga) si se mide tensión se debe dar que:

$$Z_m \gg Z_o \quad (m = \text{entrada} , o = \text{salida})$$

$$V_m = V_o \frac{Z_m}{Z_o + Z_m}$$

$$Z_m \gg Z_o \quad \rightarrow \quad V_m = V_o$$

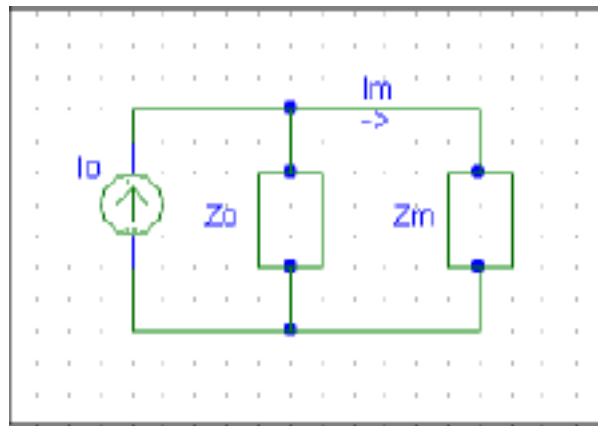


- Para evitar la atenuación de la señal (si se mide intensidad) se debe dar que:

$$Z_m \ll Z_o \quad (m = \text{entrada} , o = \text{salida})$$

$$i_m = i_o = \frac{Z_o}{Z_o + Z_m}$$

$$Z_m \ll Z_o \quad \rightarrow \quad i_m = i_o$$



- Si se desea transmitir la máxima potencia se puede comprobar que $Z_m = \text{conjugado}(Z_o)$

Si las impedancias son resistencias:

$$P_m = \frac{V_m^2}{R_m} = \frac{V_o^2}{(R_o + R_m)^2} R_m$$

$$\frac{dP_m}{dR_m} = v_o^2 \frac{R_o - R_m}{(R_o + R_m)^3}$$

Si P_m es máxima (derivada nula), $R_o = R_m$

3.1.2 Operaciones con señales

- Las operaciones con señales es una tarea muy común en los SADS (amplificación, integración, suma, ...)
- **Operaciones con señales analógicas.**
 - Se clasifican en lineales y no lineales, es decir si se cumple el principio de superposición o no. Principio de superposición: el resultado de aplicar la operación a la suma de dos señales es la suma de las señales resultantes al aplicar la operación a cada señal por separado.
 - Algunos ejemplos: suma, producto, división, potencia, integración, derivación, comparación, recorte, valor absoluto, valor máximo, valor mínimo, ...

Tabla 3.1 Algunas operaciones habituales en el acondicionamiento de señales analógicas.

Suma	$z(t) = x_1(t) + y(t)$ $z(t) = x(t) + b$	Polarización, b constante
Promediado	$z(t) = \frac{x_1(t) + x_2(t) + \dots + x_n(t)}{n}$	n entero
Resta	$z(t) = x(t) - y(t)$	
Producto	$z(t) = x(t) \cdot y(t)$ $z(t) = k \cdot x(t)$	Modulación de amplitud si y(t) es senoidal Amplificación por k
División	$z(t) = x(t)/y(t)$	1
Potencia	$z(t) = x^n(t)$	n < 1, radicación
Logaritmo	$z(t) = \ln x(t)$	
Integración	$z(t) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$	
Derivación	$z(t) = \frac{dx(t)}{dt}$	
Comparación	$z(t) = 1 \text{ si } x(t) > y(t)$ $= 0 \text{ si } x(t) < y(t)$	Los valores 1 y 0 se representan con dos niveles de tensión distintos
Limitación de amplitud	$z(t) = x(t) \text{ si } x(t) < V$ $= V \text{ si } x(t) \geq V$	Recorte
Limitación de velocidad	$z(t) = x(t) \text{ si } \left \frac{dx(t)}{dt} \right < S$ $z(t) = x(t), \text{ si } \left \frac{dx(t)}{dt} \right \geq S$	
Valor absoluto	$z(t) = x(t) $	Rectificación de onda completa
Valor máximo	$z(t) = \max [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]$ $z(t) = \max [x(t)]$	Detección de pico
Valor mínimo	$z(t) = \min [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]$ $z(t) = \min [x(t)]$	Detección de valle

- Operaciones con señales digitales

- El acondicionamiento de señales digitales es menos común que el de analógicas, que son las señales ofrecidas por la mayoría de los sensores.
- Se distinguen dos clases de operaciones:
 - Sobre la información representada por el código (aritméticas, lógicas, registros, conversiones). Se pueden realizar con un microprocesador o con un elemento específico
 - Sobre los parámetros físicos (frecuencia, fase, tiempo, amplitud) En la mayoría de estas operaciones sólo podemos utilizar componentes específicos.

Tabla 3.2 Algunas operaciones habituales con señales digitales que se pueden realizar con circuitos integrados.

1 Sobre la información representada por el código	
— Aritmética decimal o binaria:	Sumar/restar Contar/descontar Multiplicar Dividir
— Operaciones lógicas:	AND OR NOT EX-OR
— Almacenar (registros)	
— Conversiones:	Serie/paralelo Codificar/decodificar Complementar a 9 Cambio de estado (biestables)
2 Sobre los parámetros físicos	
— Sobre la frecuencia:	Multiplicar Dividir Osciladores
— Sobre la fase:	Comparadores de fase (EX-OR)
— Sobre el tiempo:	Retardo Monoestables Diferenciar Integrar
— Sobre la amplitud:	Conversión de niveles de tensión Recuadrar (disparador Schmitt) Inhibir cambios estado (eliminar rebotes)

3.1.3 Errores en el acondicionamiento de señal

- **Error**; discrepancia entre la salida real y la esperada en el caso de operaciones con señales analógicas
- **Fallo**; discrepancia en el caso de señales digitales (estas señales son más inmunes a los errores, por tanto se habla de fallos más que de errores)
- Señal de muy baja frecuencia ($f < 0,01$ Hz) → **errores estáticos**
- Mayor frecuencia → **errores dinámicos**
- **Errores estáticos.**
 - **Errores aditivos o de cero**; constantes respecto a la entrada
 - **Errores multiplicativos o de ganancia** (o de factor de escala); proporcionales a la entrada
 - **Error absoluto** = e = valor obtenido – valor ideal
 - **Error relativo** = $e / \text{valor ideal}$
 - Ejemplo: En un amplificador inversor

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_i$$

La tolerancia en las resistencias produce un error de ganancia, mientras que la tensión de offset produce un error de cero

- **Derivas.**
 - Las características de transferencia de una etapa de acondicionamiento de señal y algunas fuentes de error vienen influidas por factores ambientales (temperatura, tiempo cronológico, tensión de alimentación).
 - Esto obliga a considerar los errores de cero, que fueron anulados en el proceso de calibración en unas condiciones y momento dados, que ya no serán cero en otro momento

- Errores dinámicos.

- Dos etapas en la respuesta de un sistema a una señal de entrada: transitoria y estacionaria
- **Etapla transitoria:** desde el inicio hasta que la salida alcanza su valor final
- **Etapla estacionaria:** la salida alcanza su valor final
- El error dinámico se considera en la fase estacionaria, y depende de la forma de la entrada aplicada, aunque suelen considerarse entradas senoidales
- Cuando la operación es lineal, los errores se pueden dividir en aditivos y multiplicativos.

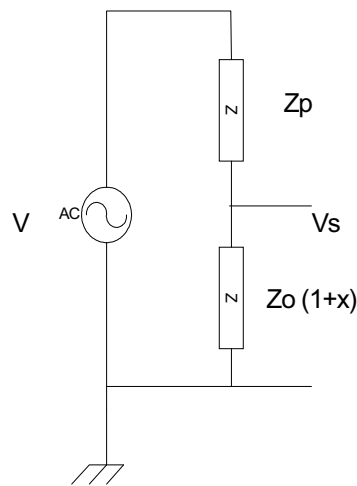
3.2 Interfaz con los sensores analógicos

- Los sensores analógicos pueden ser **moduladores** o **generadores**, según necesiten o no un aporte de energía de alimentación para realizar la transducción.
- Los primeros se denominan moduladores porque la magnitud medida modifica o “modula” la alimentación suministrada. La mayor parte de la energía de la salida procede de la alimentación auxiliar.
- Los sensores generadores ofrecen una señal de salida cuya energía procede del sistema donde se mide.
- La interfaz **sensor generador-CAD** requiere amplificación y adaptación de impedancias
- Algunos sensores moduladores basados en una variación de impedancia tienen una salida en forma de señal alterna modulada en amplitud. Su interfaz debe incluir entonces una demodulación o un CAD especial.
- La mayoría de los sensores ofrecen simplemente una variación de impedancia del tipo $Z=Z_0 (1+x)$.
- Las tensiones, en lugar de las intensidades, son mucho más utilizadas como señales, debido a que presentan un tratamiento más sencillo.

- Divisores de tensión

- Un divisor de tensión, donde Z_p es una impedancia de valor fijo bien conocido, ofrece una tensión de salida dependiente de las variaciones de una impedancia, que es interna al sensor y su variación dependerá de la variable que se mide.

$$v_s = V \frac{Z_o(1+x)}{Z_p + Z_o(1+x)}$$



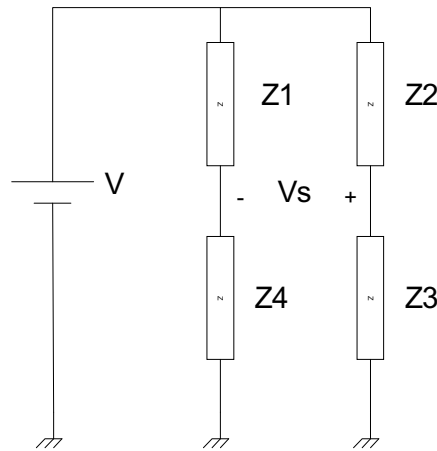
- La operación no es lineal. Si $x \ll 1$ se puede aproximar:

$$v_s = V \frac{Z_o(1+x)}{Z_p + Z_o}$$

Ahora la salida es lineal. El inconveniente es que sólo conseguiremos que V_s presente variaciones pequeñas en torno a un valor grande. Si se emplea un amplificador con alta ganancia existe el problema de la saturación. La solución es eliminar el término Z_o , mediante un puente de impedancias.

- Puentes de impedancias

- Suele haber una o varias impedancias de valor $Z_0(1+x)$, y el resto son fijas.
- Se elegirán impedancias resistivas o reactivas en función del tipo de sensor.
- Consideremos un puente resistivo, con un solo sensor y una impedancia resistiva $R_0(1+x)$, colocada en la posición de R_3



- La tensión V_s es entonces

$$V_s = V \left(\frac{R_0(1+x)}{R_0(1+x) + R_2} - \frac{R_4}{R_4 + R_1} \right)$$

- Si una de las resistencias es ajustable y hacemos $V_s=0$ cuando $x=0$, se cumple entonces:

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_0} = k$$

y V_s queda:

$$V_s = V \left(\frac{Kx}{(k+1)(k+1+x)} \right)$$

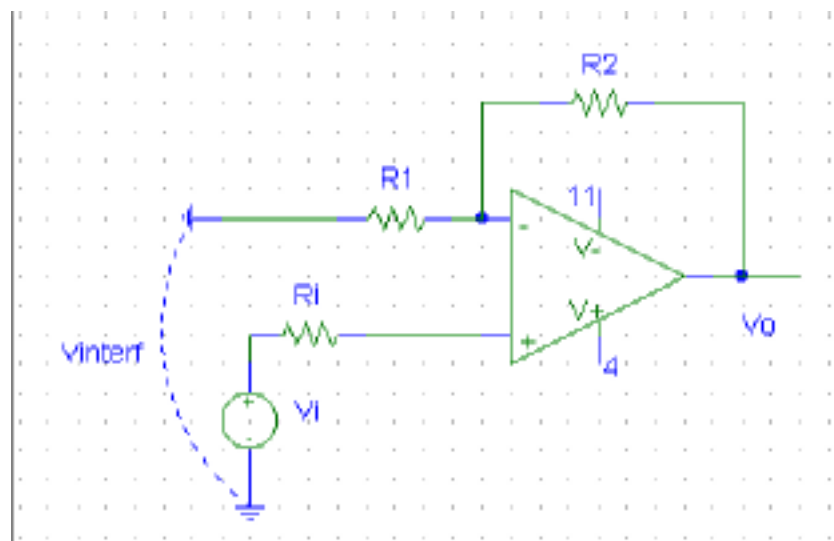
- Entonces, en el caso $x \ll k + 1$, se puede aproximar

$$V_s = V \left(\frac{Kx}{(k+1)^2} \right)$$

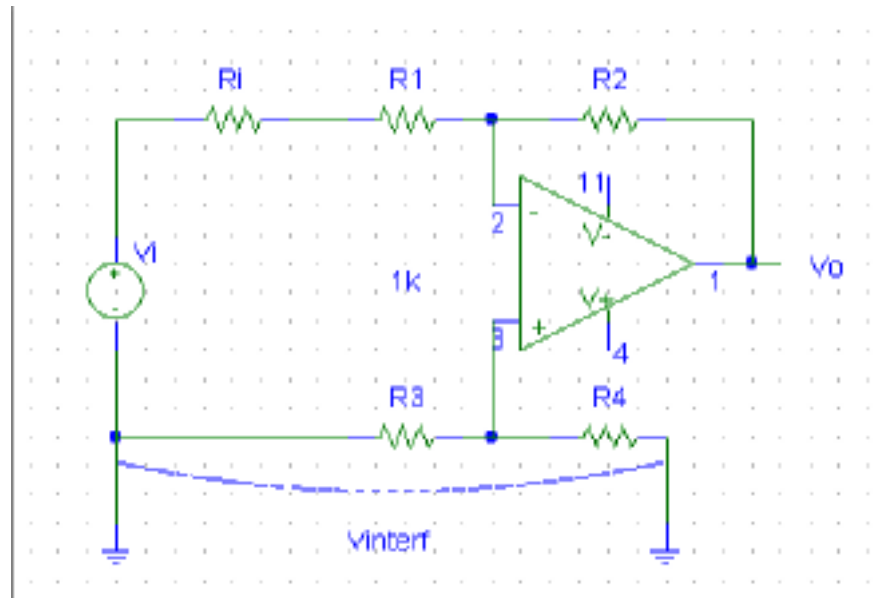
ahora, tenemos una relación lineal, y el margen de variación de V_s está centrado en $V_s = 0$

- Amplificación

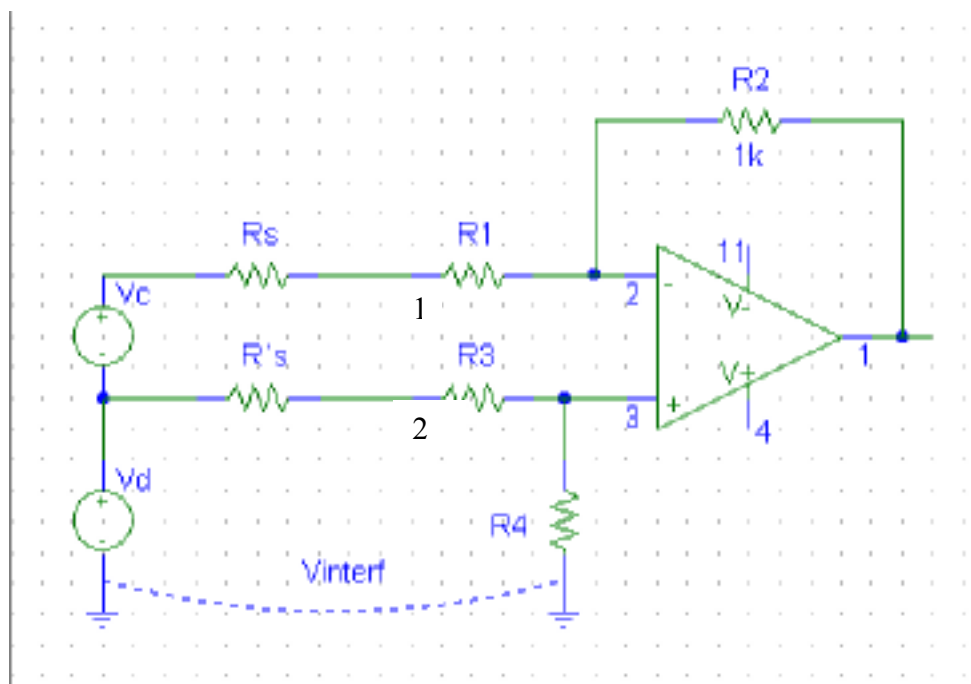
- Las señales procedentes de los sensores generadores de tensión, de los divisores de tensión y de los puentes han de ser amplificadas para adaptarlas a la entrada de los CAD. A veces hay que desplazar su valor mínimo para que sea cero.
- La entrada del CAD es unipolar. Por tanto, si la señal disponible es diferencial, el amplificador debe convertirla en unipolar.
- **Amplificadores diferenciales**
 - Si se quiere amplificar una señal unipolar se puede utilizar, en principio, un amplificador elemental (inversor o no) basado en un AO. Sin embargo, es frecuente que exista una tensión de interferencia en modo común entre los terminales de referencia del sensor y del amplificador. Por tanto, con la anterior configuración se está amplificando también esta interferencia, lo cual no es correcto.



- Para solucionar este problema se emplea un amplificador diferencial



- Para amplificar una señal diferencial se emplea, obviamente, el amplificador diferencial.



- Siendo V_1 y V_2 las tensiones en los terminales de entrada del **amplificador diferencial** se define:
 - **Tensión en modo diferencial:** $V_D = V_1 - V_2$
 - **Tensión en modo común:** $V_C = (V_1 + V_2) / 2$
 - **Ganancia en modo diferencial y en modo común,** G_D y G_C respectivamente, tal que $V_O = G_D V_D + G_C V_C$
 - **Relación de rechazo en modo común:** $CMRR = G_D / G_C$

- El amplificador diferencial debe rechazar la tensión en modo común con una alta CMMR. (Ver tema 2.)

- **Amplificadores de instrumentación**

Este apartado se trata en el tema 2.

Amplificadores de aislamiento

- Las tensiones en modo común altas dañan los amplificadores, independientemente de que su CMRR sea suficiente.
- La solución es eliminar la continuidad óhmica entre la entrada y la salida. A estos amplificadores se los denomina amplificadores de aislamiento (AA).
- El terminal de referencia de entrada es flotante respecto al terminal de referencia de salida, y puede que ambos sean flotantes respecto al de referencia de alimentación
- Se procuran medios para pasar tanto las señales con la información como la potencia de la alimentación de una parte a la otra (transformadores, optoacopladores, ...)

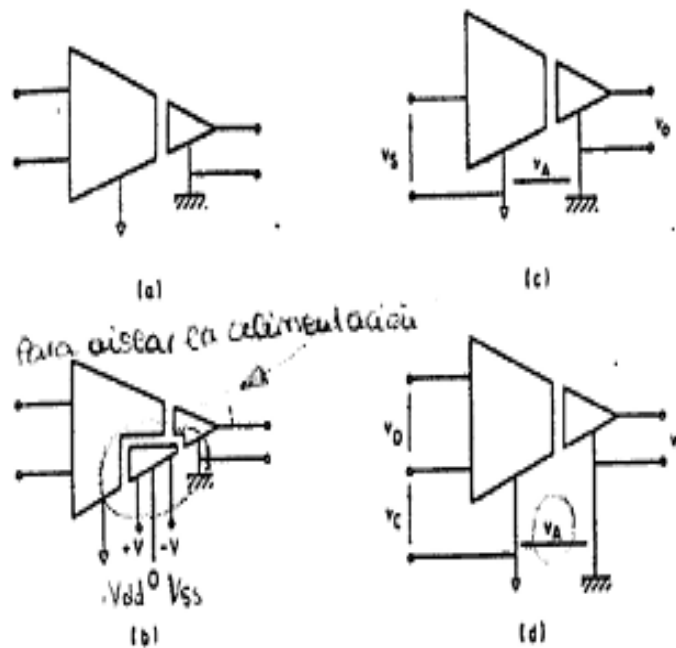


Figura 3.11 Amplificador de aislamiento (AA). (a) Símbolo general. (b) Símbolo cuando hay aislamiento a la vez entre alimentación, entrada y salida. (c) Tensión de modo aislado. (d) Tensión de modo común y tensión de modo aislado cuando la entrada del AA es diferencial.

- La tensión que queda aplicada (no deseada) entre los terminales de referencia aislados de un AA se denomina **tensión de modo aislado**, v_A , y contribuye en parte a la salida, siendo una fuente de error.

- La capacidad de rechazar la tensión de modo aislado viene descrita por el factor **IMRR**.
- Se suele definir IMRR como :

$$IMRR = \frac{G_D}{G_A}$$

De esta forma,
$$V_o = G_D \left(V_D + \frac{V_C}{CMRR} + \frac{V_A}{IMRR} \right)$$

3.3 Procesamiento analógico de señales

- La extracción de la información de la señal se puede realizar por medios analógicos o digitales
- En términos generales, el tratamiento analógico es preferible cuando se desea velocidad, o en aplicaciones que requieran la fabricación de sólo unas pocas unidades.

- **Corrección de derivas**

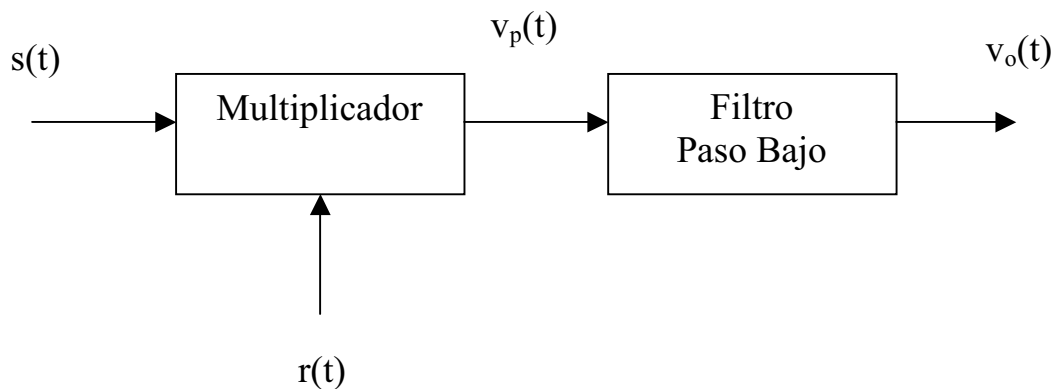
- Los errores sistemáticos (no aleatorios) se corrigen durante el proceso de calibración, pero una vez finalizada ésta, las circunstancias ambientales cambian, y las derivas en los parámetros producen derivas en la relación entrada -salida.
- Cuando la relación es lineal, cabe considerar las derivas de cero y las de ganancia.
- Una forma de corregirlas es mediante una recalibración periódica a cargo de un controlador digital: se aplica una entrada conocida, se observa la salida, y se determina, por cálculo, la relación entre ambos. El proceso es eminentemente digital
- Veamos ahora una alternativa, o complemento, a la solución anterior, para corregir las derivas de cero de forma analógica. Se trata de medir la salida, cuando aplicamos una entrada cero. Este valor se descontará de la salida cuando se aplica a la entrada normal.

▪ Demodulación síncrona

- Cuando se debe procesar una señal procedente de un sensor de alterna cuyo campo de medida incluye valores positivos y negativos, se debe obtener información sobre la amplitud y la fase. La operación que permite obtener ambas es la demodulación síncrona.
- Consiste en multiplicar la señal de interés, $s(t)$ por una señal de referencia $r(t)$ y filtrar paso bajo la salida.
- En el caso de señales senoidales

$$s(t) = \sqrt{2}V_s \cos(2\pi ft + \theta_s)$$

$$r(t) = \sqrt{2}V_r \cos(2\pi ft)$$



$$v_p(t) = V_s V_r \cos(4\pi ft + \theta_s) + V_s V_r \cos(\theta_s)$$

La señal de frecuencia $2f$ es eliminada por el filtro, de manera que:

$$v_o(t) = V_s V_r \cos(\theta_s)$$

3.4 Interfaz con sensores digitales

- Los sensores con salida digital no necesitan un CAD. Pero esto no significa que la interfaz con un procesador digital es inmediata.
- El término digital hace referencia sólo a que las señales son en forma de tensiones con dos niveles distintos. Pero ni la magnitud de estas tensiones ni los códigos de representación de la información quedan predeterminados. La interfaz debe garantizar la compatibilidad en estos dos supuestos.
- La variedad de familias de componentes digitales disponibles complica en parte la estructura de la interfaz.
- **Acondicionamiento de niveles de tensión**
 - Si los dos circuitos tienen las mismas tensiones de alimentación:
 - Las familias TTL y CMOS-T (sufijo “T” indica compatible TTL) tienen niveles de tensión y corriente compatibles
 - Salida CMOS (no compatible TTL) y entrada TTL, compatible
 - Salida TTL y entrada CMOS, no compatible. La adaptación de niveles se puede realizar simplemente con una resistencia.
 - Si los dos circuitos tienen distintas tensiones de alimentación la interconexión no es tan simple y suele basarse en circuitos integrados que aceptan ambas tensiones.
 - Cuando la amplitud de la señal digital de entrada excede los niveles de tensión de los circuitos digitales siguientes es necesario un circuito que atenúe la señal

- Acondicionamiento de salidas de interruptores

- Para los sensores cuya salida es todo/nada (detectores de proximidad, nivel, presencia, ...) hay que adoptar precauciones especiales.
- El circuito siguiente puede parecer un interfaz aceptable. La salida de cada interruptor está a nivel alto, y cuando se cierra pasa a nivel bajo. La entrada al periférico queda entonces codificada según cuál sea el interruptor cerrado

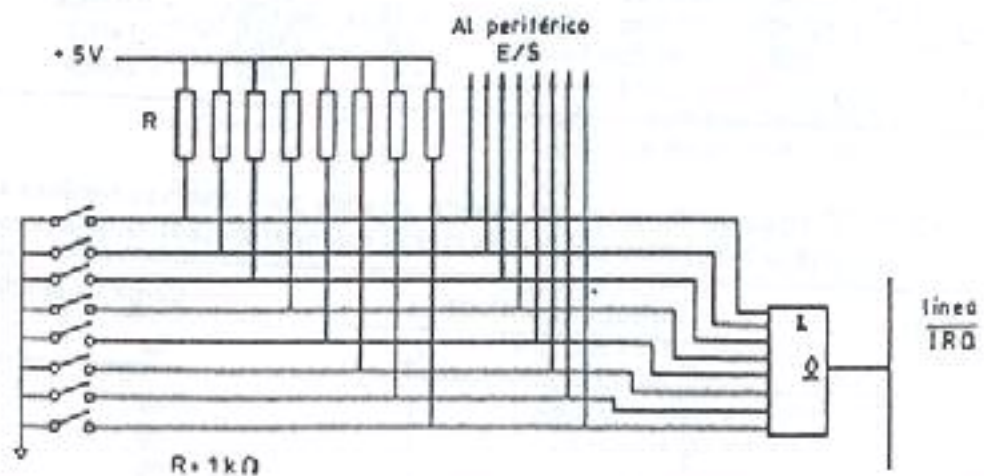
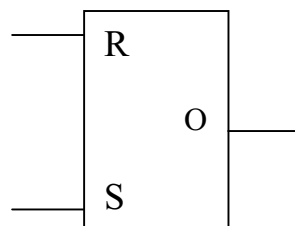


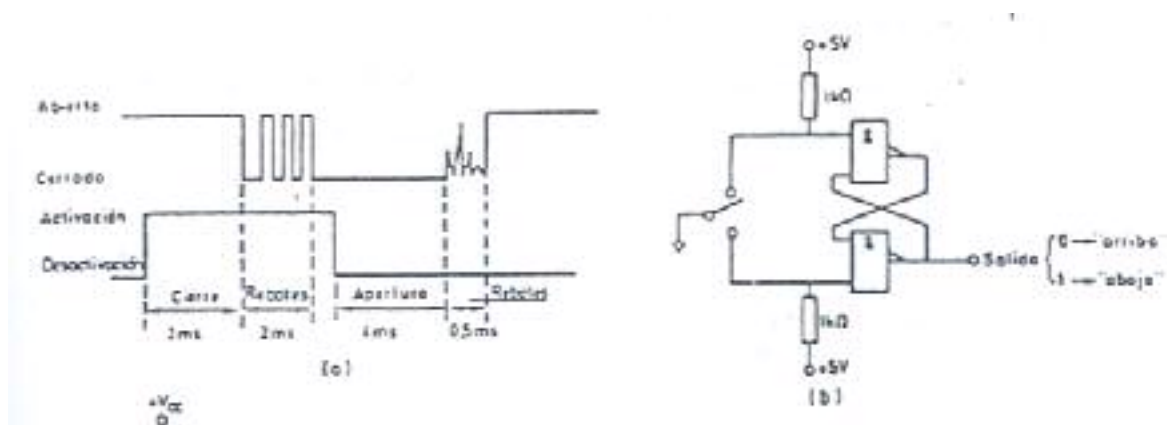
Figura 3.31 Interfaz para sensores con salida tipo todo/nada (interruptores), basada en pedir una interrupción al μP .

- Sucede, si embargo, que cuando un interruptor se cierra, antes de que el polo quede conectado al contacto fijo de forma permanente, hay una serie de rebotes que duran ms. Durante este tiempo, el contacto se abre y se cierra repetidas veces. El microprocesador detecta entonces múltiples cierres y aperturas.
- Una de las soluciones para evitar este problema, se expone a continuación. Se trata de sustituir cada interruptor por uno con dos contactos y utilizar un biestable RS



$$R=1 \rightarrow O=0$$

$$S=1 \rightarrow O=1$$



Con el biestable RS, la salida sólo cambia cuando el interruptor pasa de una posición a otra, obviando los rebotes.