

CIRCUITOS DE ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL

Referencias bibliográficas

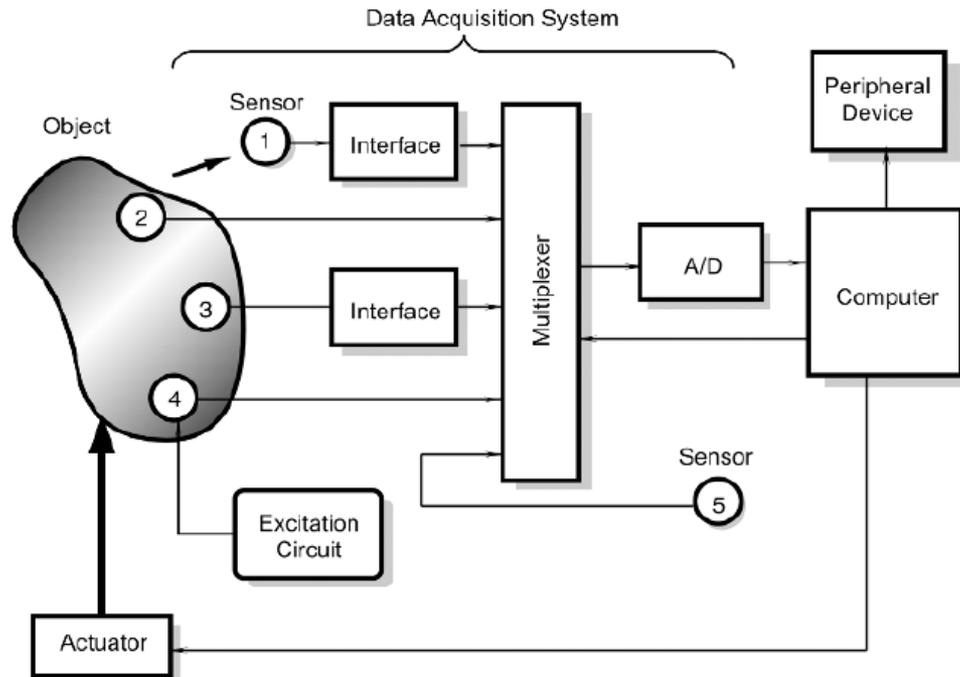
Instrumentación electrónica, M.A. Pérez García y otros, Ed. Thomson

Adquisición y distribución de señales, R. Pallás Areny, Ed. Marcombo

SISTEMAS DE MEDIDA



SISTEMA GENÉRICO DE ADQUISICIÓN DE DATOS



ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL (I)

Captar la señal del sensor y extraer la información para presentarla, transmitirla, etc.

Varias funciones:

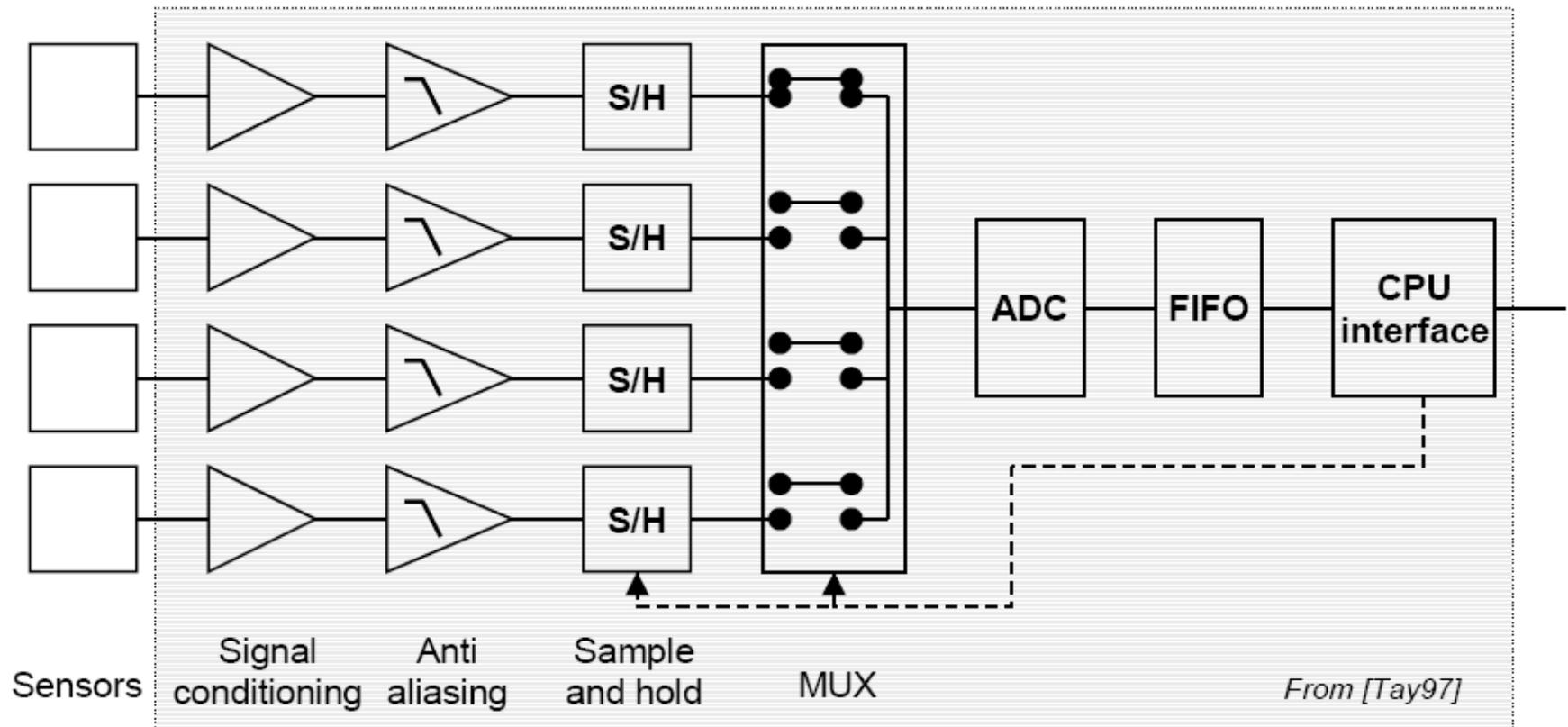
- **ADAPTACIÓN DE LA SEÑAL DEL SENSOR (ANALÓGICO) AL CAD (PROCESAMIENTO DIGITAL)**

- Adaptar margen de salida del sensor a margen de entrada del CAD (Amplificación y desplazamiento de nivel)
- Compatibilizar la salida del sensor (diferencial, alta impedancia, etc) a la entrada del CAD
- Filtrado (para eliminar ruido e interferencias y reducir el ancho de banda de la señal de modo que $2f_{smax} < f_{muestreo}$)
- Muestreo y retención: mantener la señal constante durante el tiempo necesario para la conversión digital.

ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL (II)

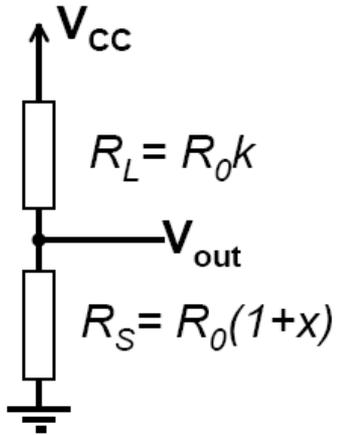
- **PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL** (normalmente digital, pero alguna parte analógica)
 - Linealización de las características
 - Operaciones algebraicas sencillas (+, -, \int , d/dt)
 - Comparación con niveles de referencia, detección de máx, mín
 - Modulación/demodulación
- **PROPORCIONAR ALIMENTACIÓN EXTERNA Y PROTEGER EL CIRCUITO**
 - Tensiones reguladas (constantes, poco rizado, poco TCV)
 - Implementar fuentes de corriente
 - Protección frente a sobretensiones o picos de corriente
 - Aislamiento galvánico
 - Protección frente a interferencias externas
- **MULTIPLEXACIÓN DE LA SEÑAL** (para compartir recursos)
 - De bajo nivel (señal $< 100\text{mV}$): se comparten muchos recursos, pero recursos deben ser de más calidad o programables
 - De alto nivel (señal $> 100\text{mV}$): menos recursos compartidos. Se pueden realizar medidas simultaneas si solo se comparte CAD

ARQUITECTURA BÁSICA DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

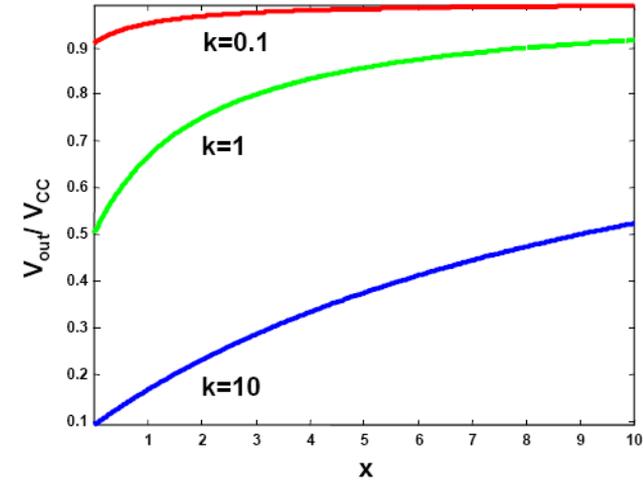


DIVISORES DE TENSIÓN

MEDIDA DE RESISTENCIAS



$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{CC} \frac{R_S}{R_S + R_L} = \\ &= V_{CC} \frac{R_0(1+x)}{R_0(1+x) + R_0 k} = V_{CC} \frac{1+x}{1+x+k} \end{aligned}$$



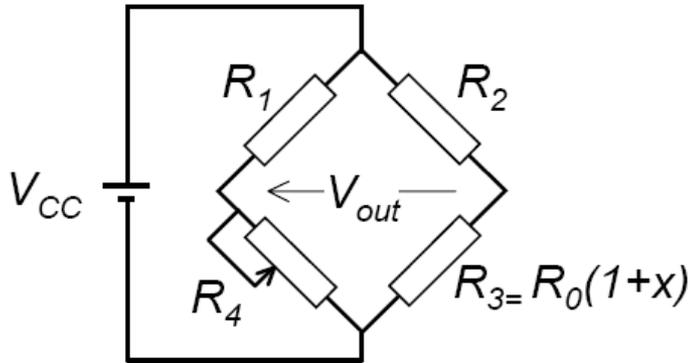
$$S = \frac{dV_{out}}{dx} = \frac{d}{dx} \left(V_{CC} \frac{1+x}{1+x+k} \right) = V_{CC} \frac{(1+x+k) - (1+x)}{(1+x+k)^2} = V_{CC} \frac{k}{(1+x+k)^2}$$

$$\text{Máxima } S: \frac{dS}{dk} = 0 \Rightarrow \frac{d}{dk} \left(V_{CC} \frac{k}{(1+x+k)^2} \right) = 0 \Rightarrow \frac{(1+x+k)^2 - k2(1+x+k)}{(1+x+k)^2} = 0 \Rightarrow \mathbf{k = 1+x}$$

$$K=1 \rightarrow R_L = R_0$$

PUENTE DE WHEASTONE

MEDIDA DE RESISTENCIAS

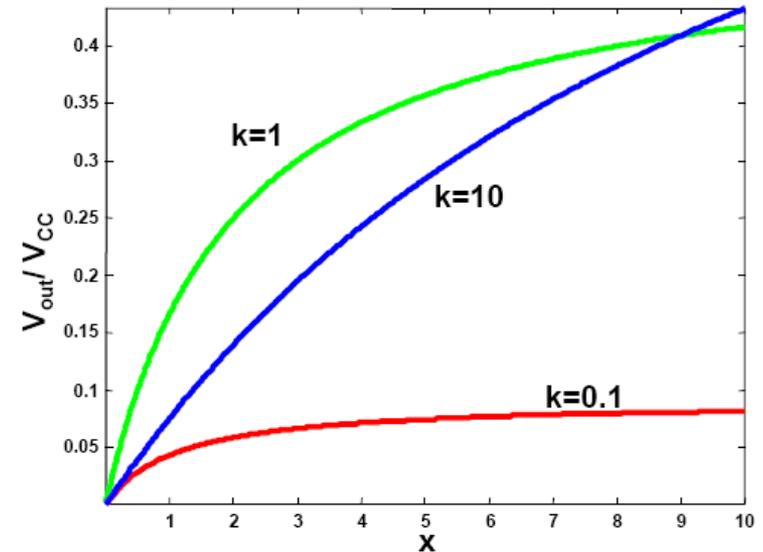


$$V_{out} = V_{CC} \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_4}{R_1 + R_4} \right)$$

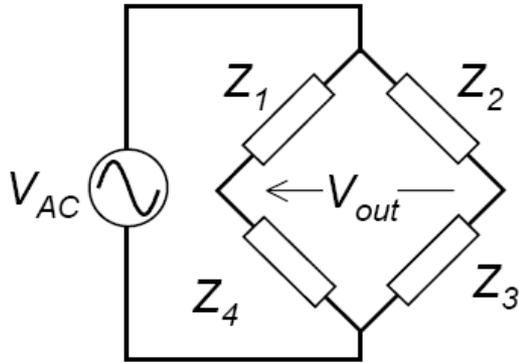
Puente equilibrado $V_{out} = 0 \rightarrow k = \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_0}$

$$V_{out} = V_{CC} \left(\frac{R_0(1+x)}{R_0k + R_0(1+x)} - \frac{R_4}{R_4k + R_4} \right) =$$
$$= V_{CC} \left(\frac{(1+x)}{k + (1+x)} - \frac{1}{k+1} \right) = V_{CC} \frac{kx}{(1+k)(1+k+x)}$$

$$S = \frac{dV_{out}}{dx} = V_{CC} \frac{k}{(1+k+x)^2}$$



PUENTES DE ALTERNA

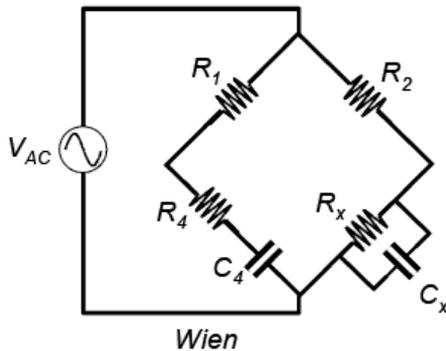
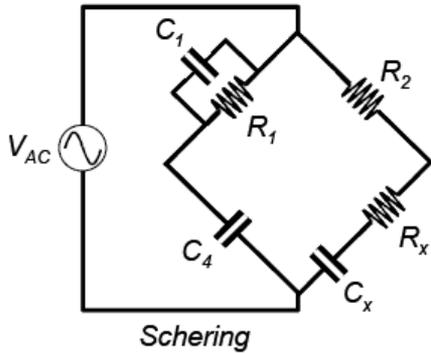


Condición de equilibrio $\frac{Z_1}{Z_4} = \frac{Z_2}{Z_3}$

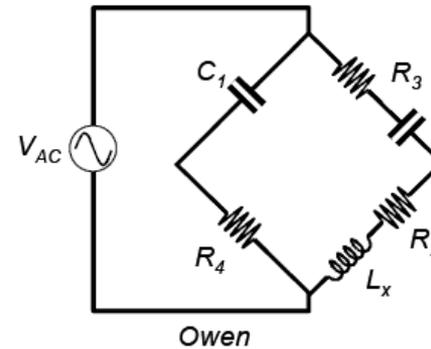
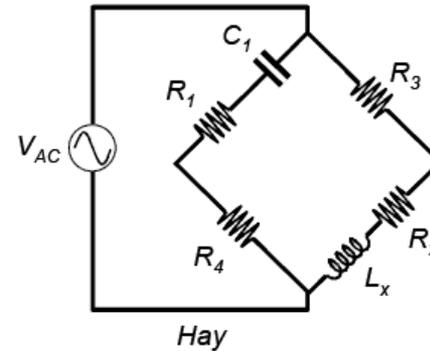
$$R_1 R_3 - X_1 X_3 = R_2 R_4 - X_2 X_4$$

$$R_1 X_3 + X_1 R_3 = R_2 X_4 + X_2 R_4$$

MEDIDAS DE CAPACIDAD



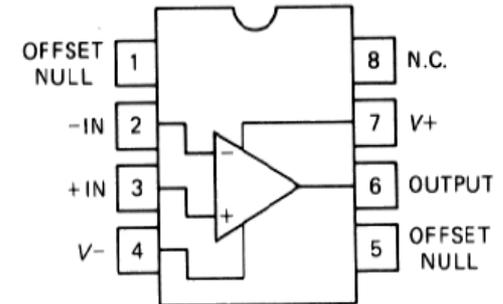
MEDIDAS DE INDUCCIÓN



AMPLIFICACIÓN

AMPLIFICADOR OPERACIONAL

AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL:

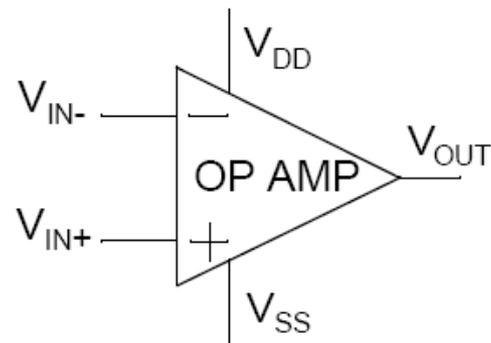


POWER SUPPLY

- No min or max Voltage (V_{DD} , V_{SS})
- $I_{SUPPLY} = 0$ Amps
- Power Supply Rejection Ratio (PSRR) = ∞

INPUT

- Input Current (I_B) = 0
- Input Impedance (Z_{IN}) = ∞
- Input Voltage Range (V_{IN}) \rightarrow no limits
- Zero Input Voltage and Current Noise
- Zero DC offset error (V_{OS})
- Common-Mode Rejection = ∞



OUTPUT

- $V_{OUT} = V_{SS}$ to V_{DD}
- $I_{OUT} =$
- Slew Rate (SR) = ∞
- $Z_{OUT} = 0\Omega$

SIGNAL TRANSFER

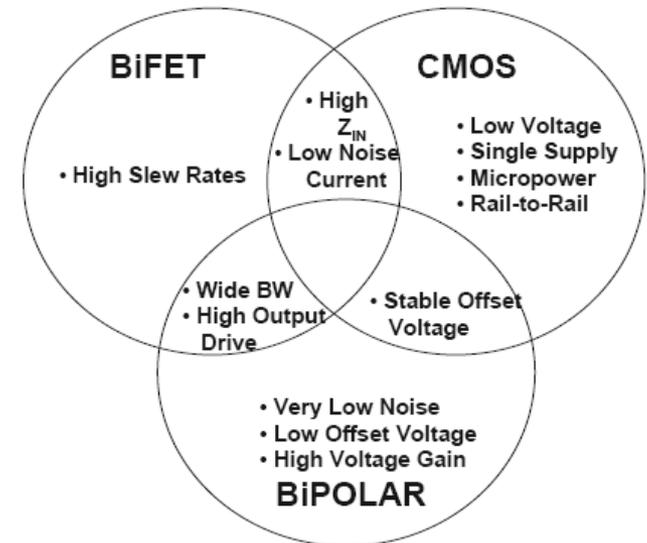
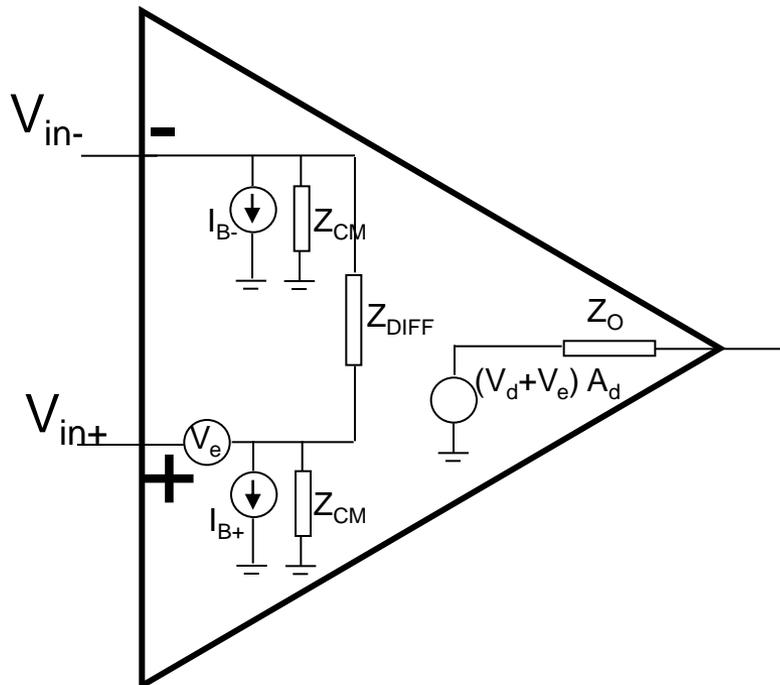
- Open Loop Gain (A_{OL}) = ∞
- Bandwidth = 0 \rightarrow ∞
- Zero Harmonic Distortion (THD)

AMPLIFICACIÓN

AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL:

Especificaciones dc: “Operational Amplifier Topologies and DC Specifications”
(Microchip-AN722)

Especificaciones ac: “Operational Amplifier AC Specifications and Applications”
(Microchip-AN723)



AMPLIFICACIÓN

TIPOS DE AMPLIFICADORES (I)

- A.O. DE PROPÓSITO GENERAL

Diseñados para un amplio rango de aplicaciones. Tienen un BW limitado por compensación interna que les da estabilidad frente a oscilaciones

- COMPARADORES DE TENSIÓN

No tienen red de realimentación negativa interna y saturan con señales de entradas muy pequeñas. Se usan para comparar señales de entrada.

- A.O. DE BAJA CORRIENTE DE ENTRADA

Tienen corrientes de entrada muy bajas (pA) comparadas con los de propósito general (nA o μ A)

- A.O. DE BAJO RUIDO

Optimizados para reducir el ruido interno. Típicamente se emplean en las etapas iniciales de la amplificación

- A.O. DE BAJAS DERIVAS TÉRMICAS

Internamente compensan las derivas térmicas. Se usan en etapas de entrada con señales muy pequeñas.

AMPLIFICACIÓN

TIPOS DE AMPLIFICADORES (II)

- A.O DE GRAN ANCHO DE BANDA

Tienen un producto GB muy alto (~100 MHz) comparado con los de propósito general (0.3-1.2 MHz). También se llama A.O de video.

- A.O. DE BAJA POTENCIA

Optimizados para un bajo consumo de potencia. Pueden trabajar con tensiones de alimentación muy bajas (± 1.5 Vdc)

- A.O CON ALIMENTACIÓN DC UNIPOLAR.

Funcionan con una fuente de tensión DC unipolar (en lugar de la habitual simétrica (p.e. ± 10 Vdc).

- A.O DE ALTA TENSIÓN

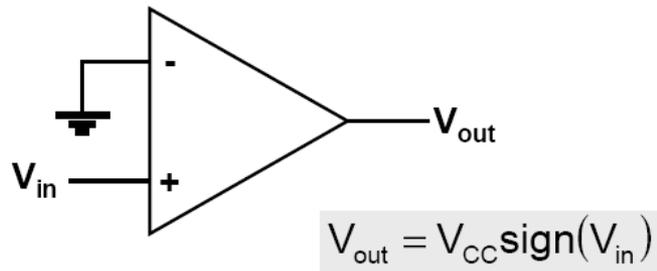
Operan con tensiones de alimentación altas (p.e. ± 44 Vdc) comparados con las habituales (± 6 a ± 22 Vdc)

- DISPOSITIVOS MÚLTIPLES

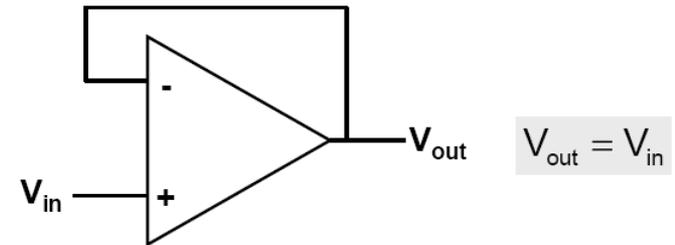
Tienen varios A.O integrados en el mismo chip (dual, quad)

CIRCUITOS BÁSICOS

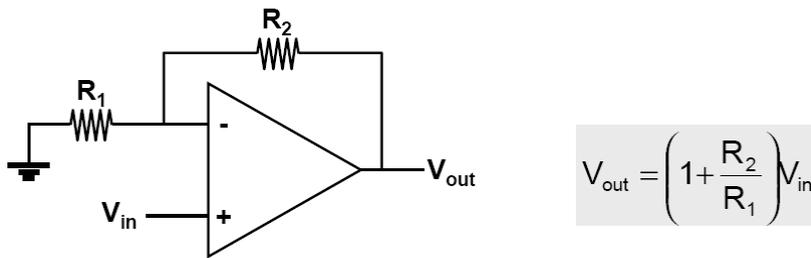
COMPARADOR



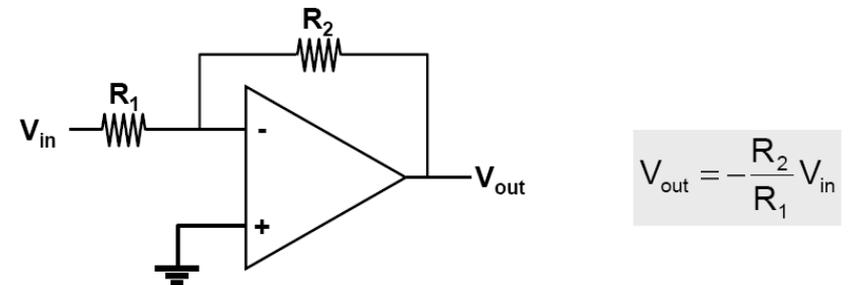
SEGUIDOR DE TENSIÓN O BUFFER



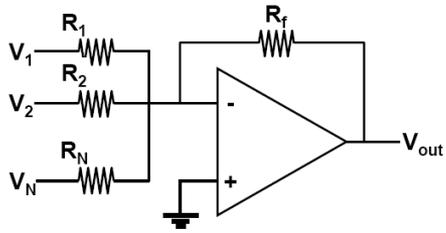
AMPLIFICADOR NO INVERSOR



AMPLIFICADOR INVERSOR

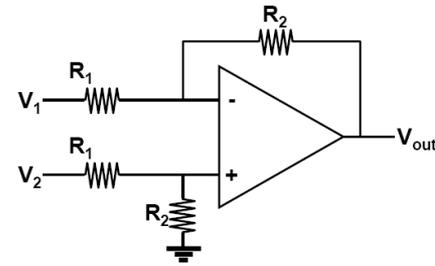


AMPLIFICADOR SUMADOR



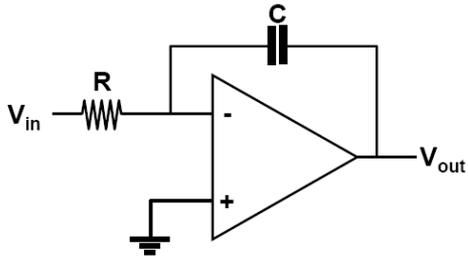
$$V_{out} = -\left(V_1 \frac{R_f}{R_1} + V_2 \frac{R_f}{R_2} + \dots + V_N \frac{R_f}{R_N} \right)$$

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL



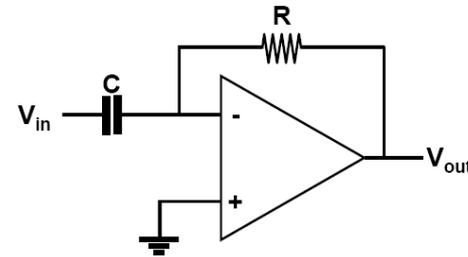
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

AMPLIFICADOR INTEGRADOR



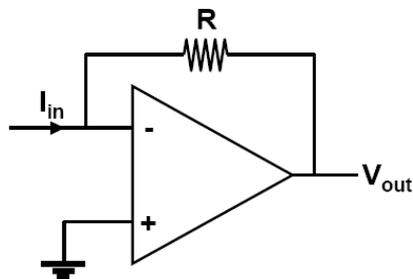
$$V_{out} = -\frac{1}{j\omega CR} V_{in} = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt$$

AMPLIFICADOR DERIVADOR



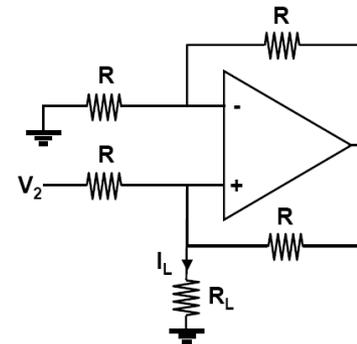
$$V_{out} = -\frac{R}{j\omega C} V_{in} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

AMPLIFICADOR DE CORRIENTE O CONVERTOR I-V



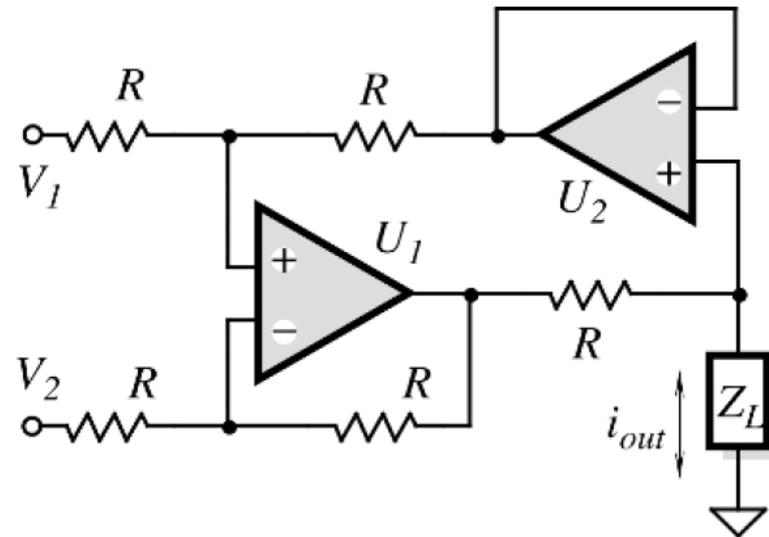
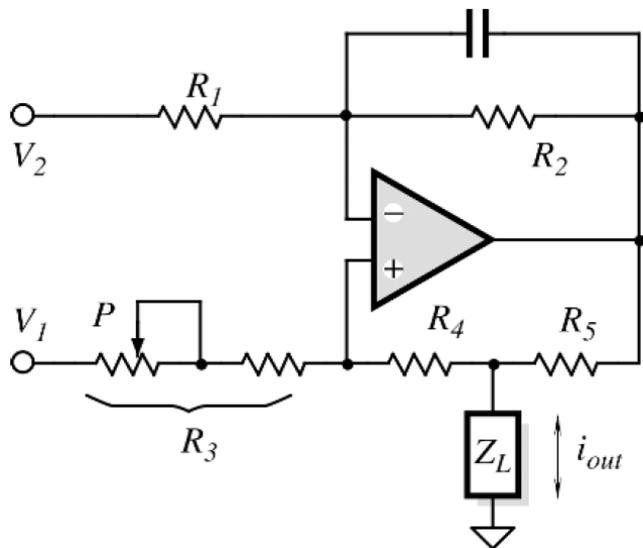
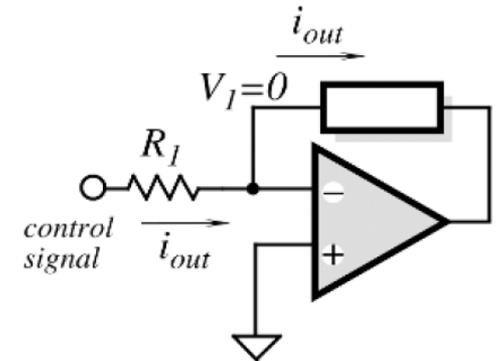
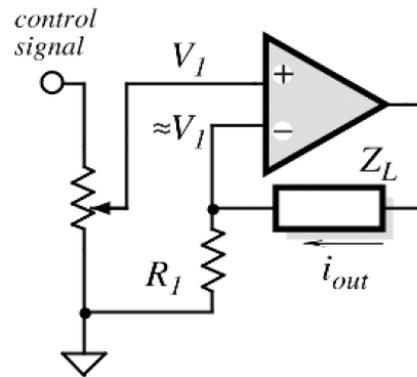
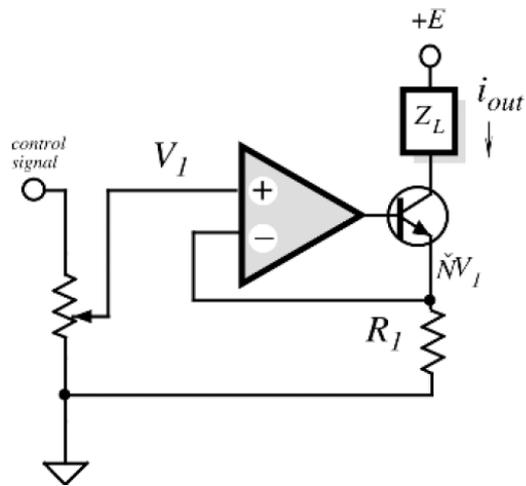
$$V_{out} = -I_{in} R$$

CONVERTOR V-I



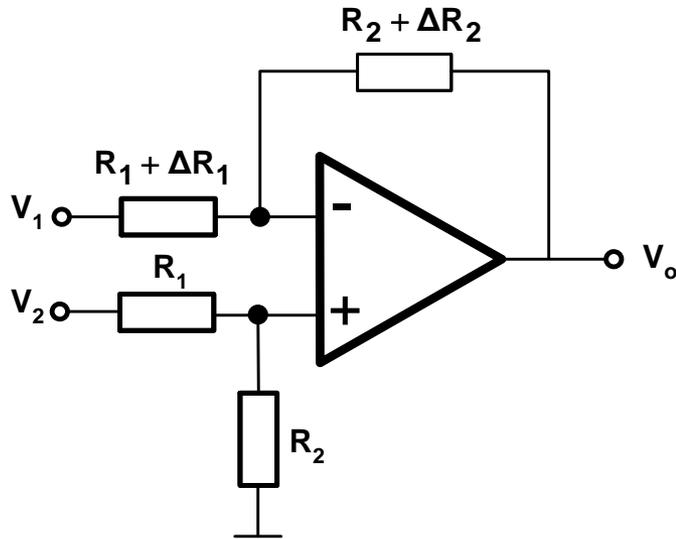
$$I_L = \frac{V_{in}}{R}$$

CONVERSION V-I (FUENTES DE CORRIENTE)



AMPLIFICACIÓN

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL



$$v_o = \frac{R_2 + \Delta R_2}{R_1 + \Delta R_1} (v_2 - v_1) + \frac{R_2 \Delta R_1 + R_1 \Delta R_2}{(R_1 + R_2)(R_1 + \Delta R_1)} v_2$$

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Ganancia diferencial, normalmente controlable con R externas

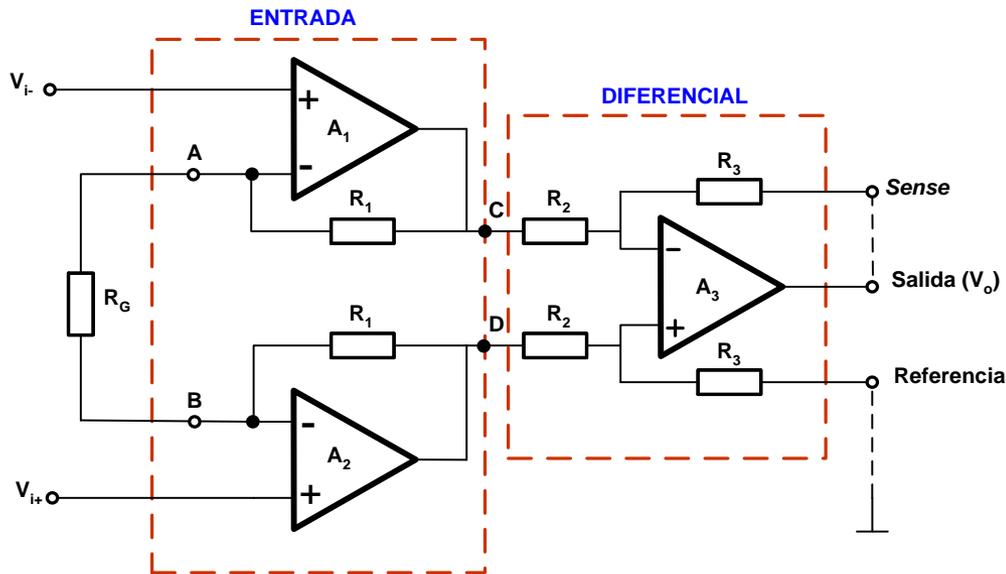
Salida unipolar

Alta impedancia de entrada

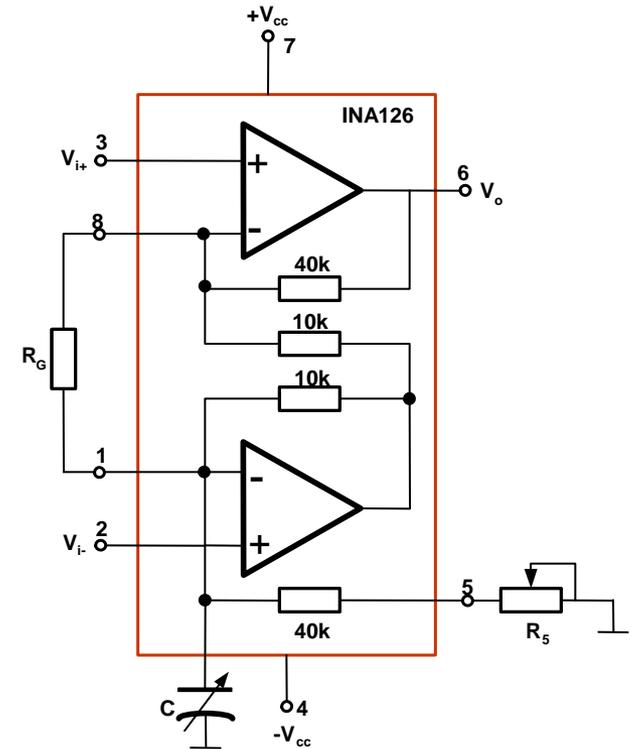
Alto CMRR

AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

Configuración con 3 A.O.



Configuración con 2 A.O.



$$v_o = \frac{R_3}{R_2} \cdot \left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right) (v_{i+} - v_{i-})$$

$$A_d = 1 + \frac{2R_1}{R_G}$$

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + 2 \frac{R_2}{R_G} \right) (v_{i+} - v_{i-})$$

$$1 + \frac{R_2}{R_1} + 2 \frac{R_2}{R_G} = G \Rightarrow G = 5 + \frac{80k\Omega}{R_G}$$

AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO

Existe una barrera de aislamiento galvánico entre la entrada y la salida.

Uso interesante cuando:

- Se precisa aislamiento entre los circuitos de entrada y salida, interrumpiendo los bucles de masa.

P. ej. para evitar que los circuitos del sistema de medida transfieran sus potenciales eléctricos a los sensores en contacto con el cuerpo humano (aplicaciones biomédicas).

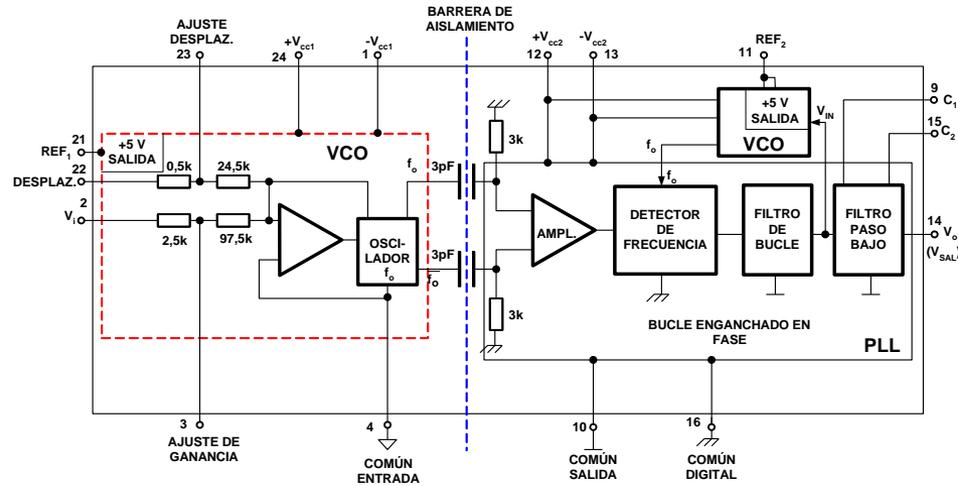
- Los niveles de tensión de modo común a la entrada del amplificador son muy altos.

P.ej. cuando se amplifican señales procedentes de sensores en los que no existe aislamiento galvánico con tierra física en el punto de medición puede originarse tensiones en modo común muy elevadas entre esa tierra y la masa del circuito.

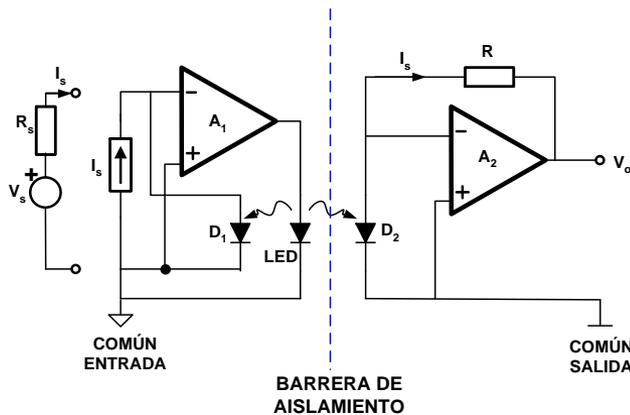
* Pero son caros y tiene un reducido ancho de banda

AMPLIFICADOR DE AISLAMIENTO

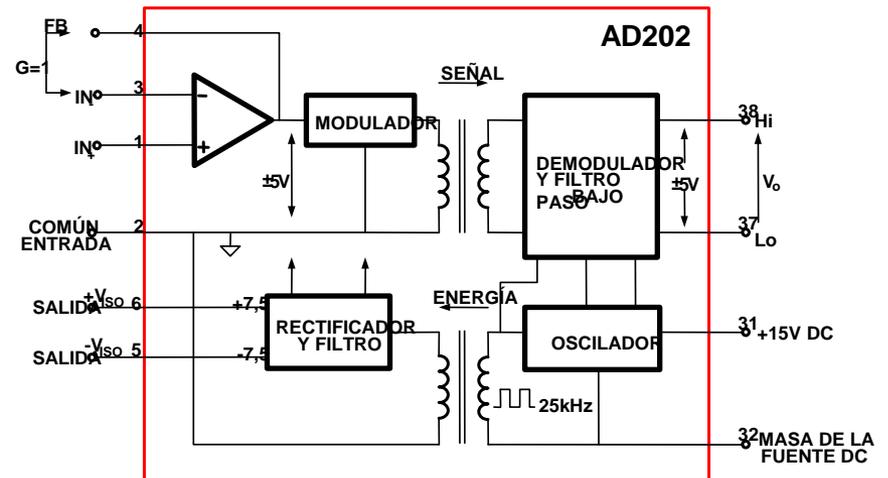
Amplificador aislado ISO 102: acoplo capacitivo



Acoplamiento óptico ISO 100

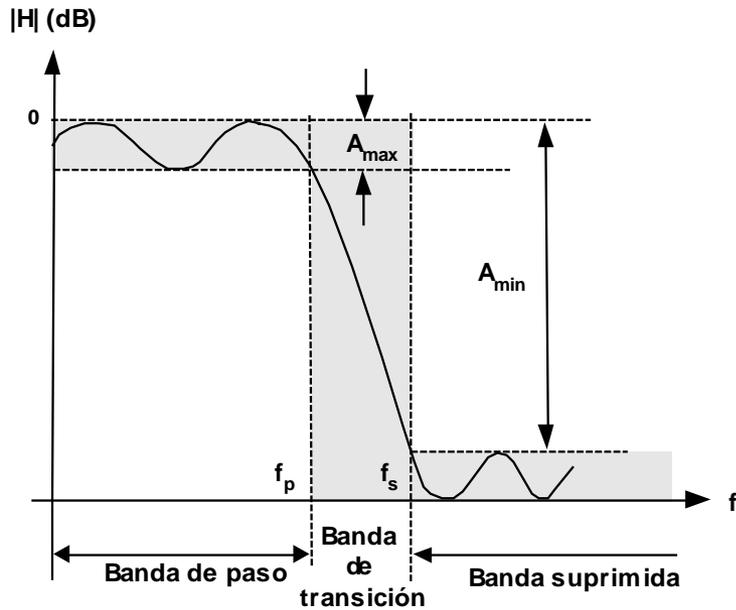
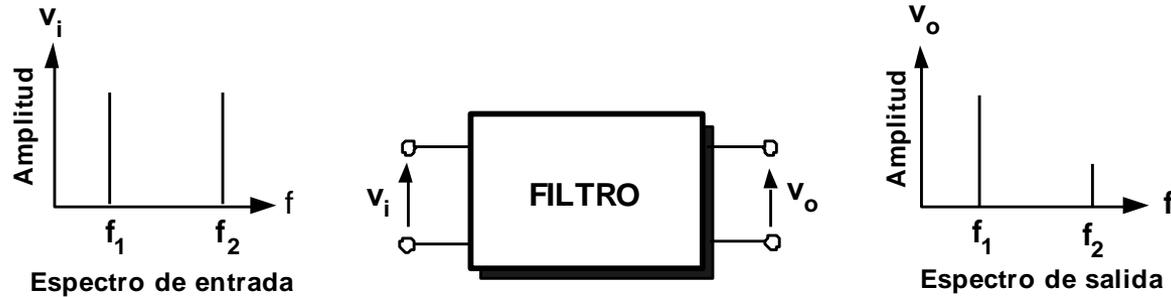


Amplificador aislado a transformador AD202



FILTRADO

Para eliminar rangos de frecuencia indeseados de la señal, eliminar ruido, anti-alias

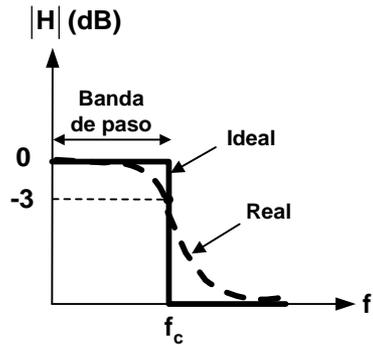


$$H(s) = \frac{v_o(s)}{v_i(s)}$$

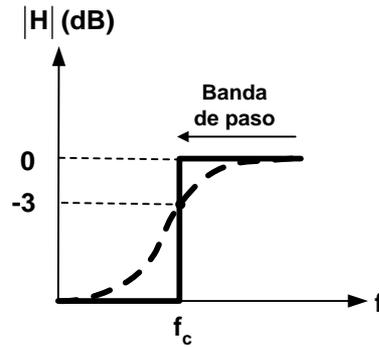
$$H(j\omega) = |H(j\omega)| \angle \phi(\omega)$$

FILTRADO

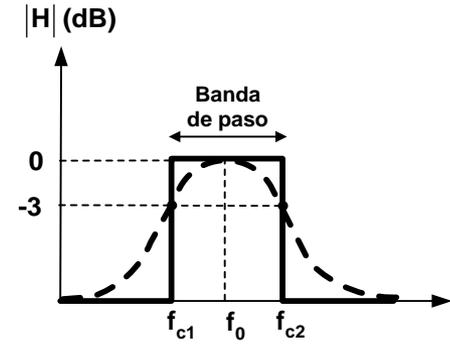
CLASIFICACIÓN (según respuesta en frecuencia)



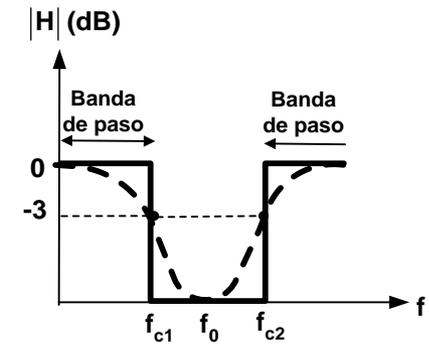
(a) Filtro paso bajo



(b) Filtro paso alto



(c) Filtro paso banda



(d) Filtro rechazo de banda

CLASIFICACIÓN (según implementación)

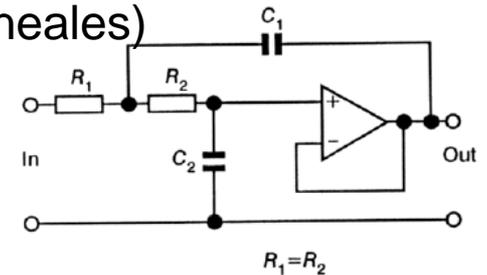
• ACTIVOS

Incluyen redes RC y A.O. No usan L (voluminosas y no lineales)

Pueden tener ganancia > 1

Adecuados para baja frecuencia y pequeña señal

Necesitan una fuente de alimentación externa



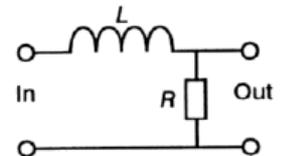
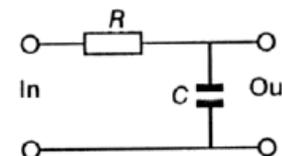
• PASIVOS

Son redes RCL

Sencillos, adecuados para frecuencias altas donde los filtros activos pueden estar limitados por el BW del A.O.

• DIGITALES

Procesado digital de la señal



FILTRADO

En sistemas de instrumentación y adquisición de señales:

digitalización → muestreo → **filtros anti-alias** (filtros pasabajo)

Interesa que tengan una banda de paso lo más plana posible y una transición abrupta

Filtros representados con distintas funciones:

- BUTTERWORTH:

 - Tiene la respuesta más plana en la banda de paso

 - Hay desfase de la señal para frecuencias inferiores a la frecuencia de corte

- BESSEL:

 - El desfase es proporcional a la frecuencia, de modo que la señal no es distorsionada por el filtro (retardo). Se usa para filtro anti-alias si es importante mantener la forma de la señal.

- CHEBYSHEV:

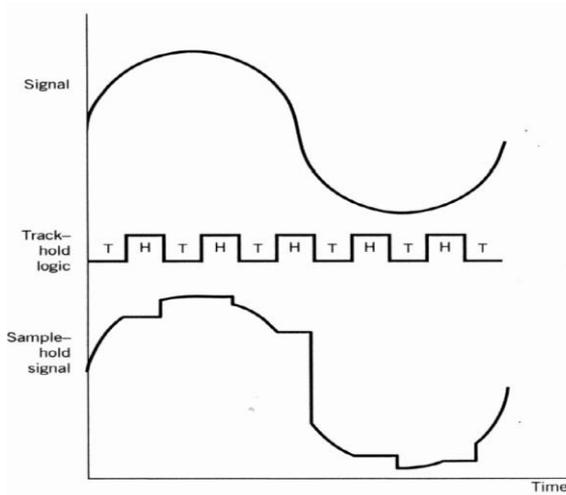
 - Tiene la transición más abrupta (frecuencias de paso-frecuencias rechazadas)

 - Tiene rizado en la banda de paso.

“Filtros anti-aliasing, Analog Filters for Data Acquisition Systems” (Microchip - AN699)

CIRCUITOS DE MUESTREO Y RETENCION

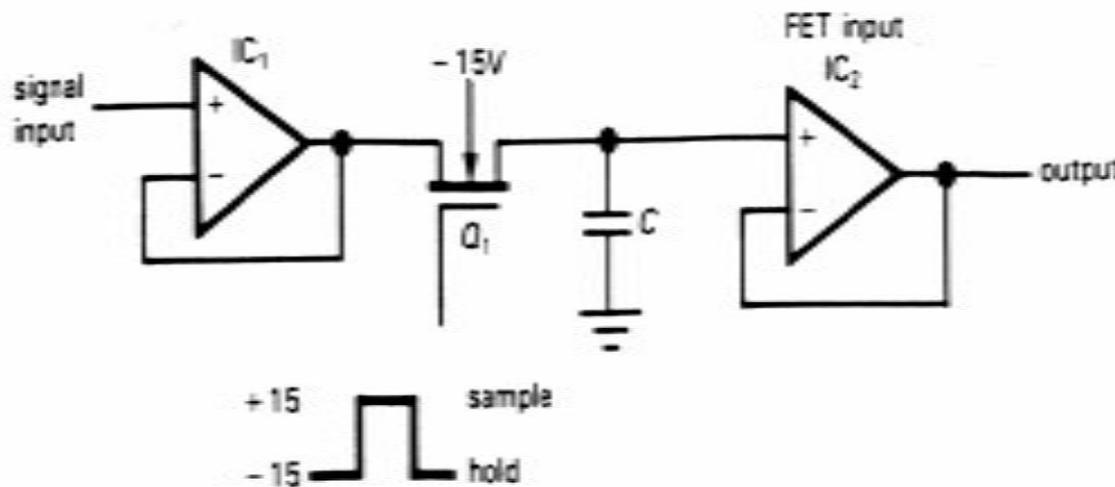
Mantienen la señal constante mientras dura la conversión digital



Modo de muestreo: sigue a la señal de entrada

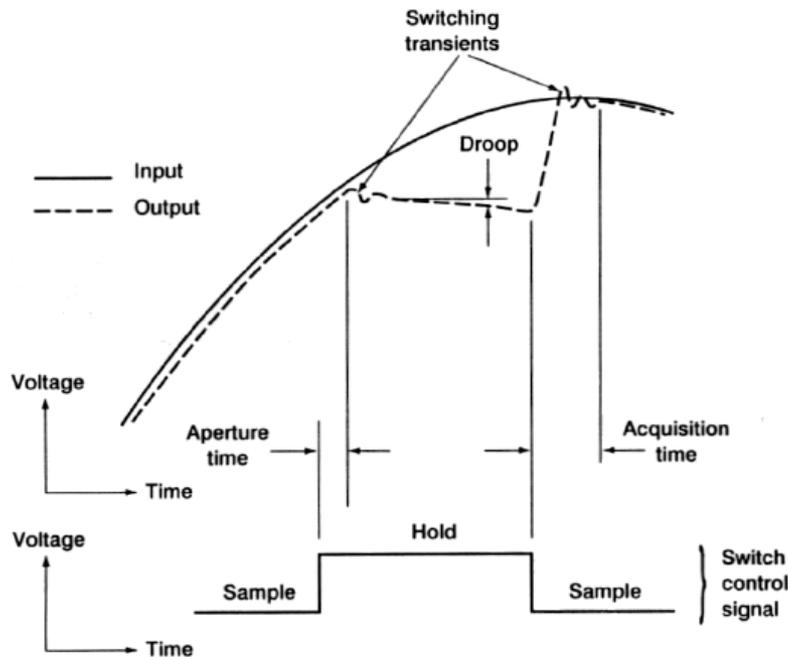
Modo de retención: mantiene la señal constante

CIRCUITO BÁSICO



IC1 proporciona alta Z_{in} y baja Z_{out}
Q1 deja pasar la señal durante "sample" y desconecta durante "hold"
C mantiene el valor durante "hold"
IC2 minimiza la descarga del condensador durante "hold"

CIRCUITOS DE MUESTREO Y RETENCION



Parámetros relevantes:

Tiempo de apertura: tiempo requerido para que el interruptor abra (~ 50 ns)

Droop: descarga del condensador durante "hold" (~ 1 mV/ms)

Tiempo de adquisición: tiempo de conexión de interruptor + tiempo de carga del condensador

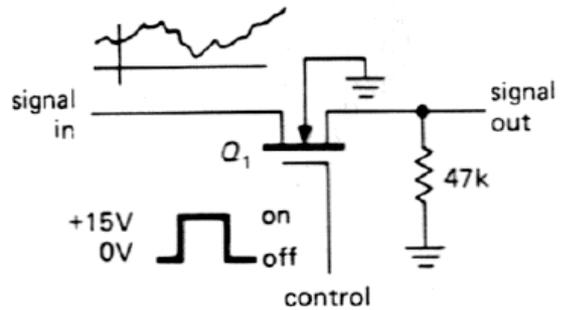
Consideraciones respecto a la elección de C:

C debe ser suficientemente grande para minimizar "droop" causado por las corrientes de fuga

C debe ser lo suficiente pequeño para seguir señales rápidamente cambiantes

Especificaciones: "Specifications and Architectures of Sample-and-Hold Amplifiers" (National Semiconductor – AN775)

MULTIPLEXORES



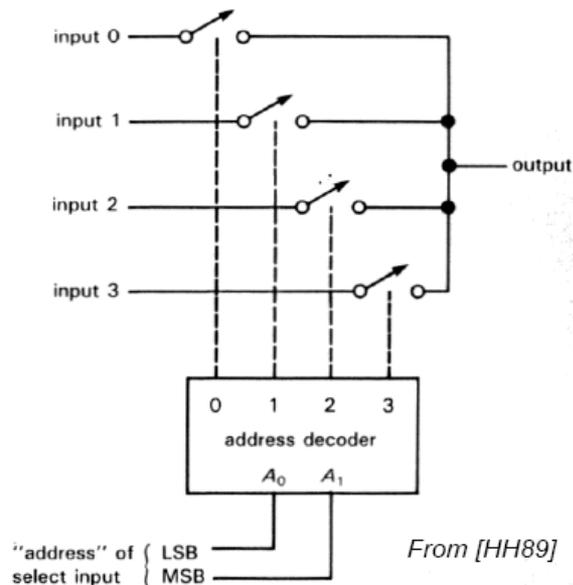
From [HH89]

Interruptores analógicos Tipo FET

Se controla mediante la tensión de puerta:

En corte: $R_{SD} \sim 10.000 \text{ M}\Omega$

En conducción $R_{SD} \sim 100\Omega$



From [HH89]

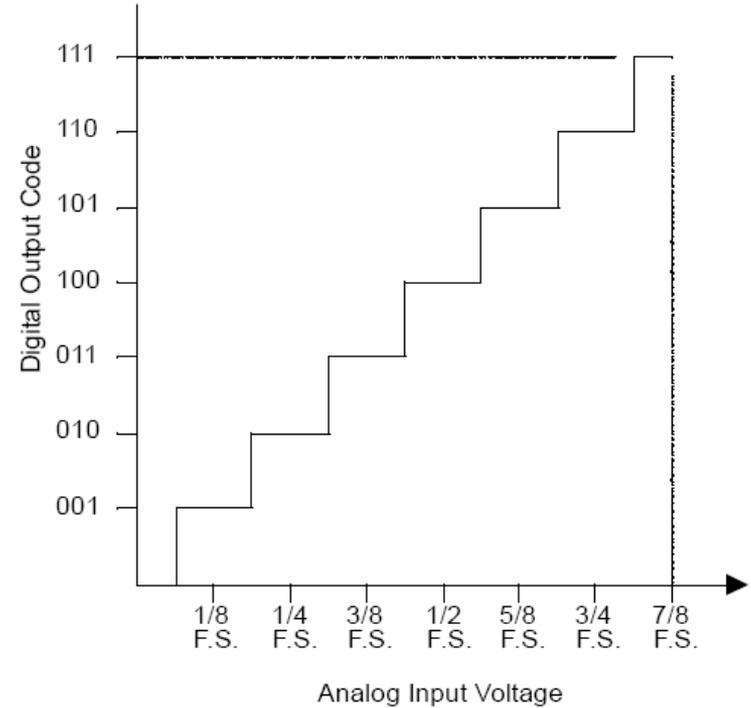
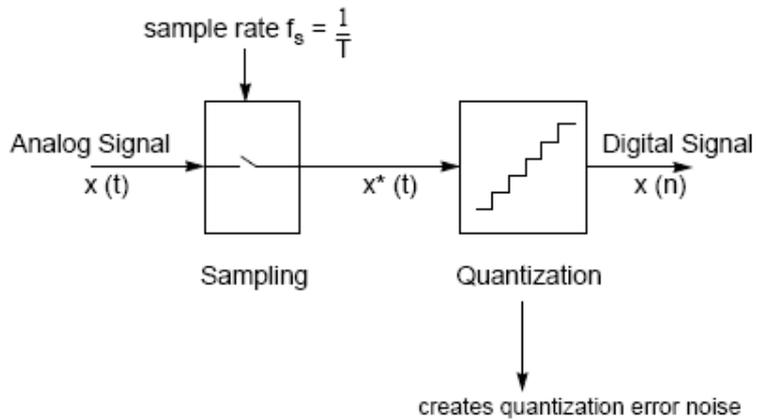
Permite seleccionar una de entre varias entradas mediante una señal de control digital

“CMOS Analog Multiplexers and Switches; Specifications and Application Considerations” (Intersil AN520.1)

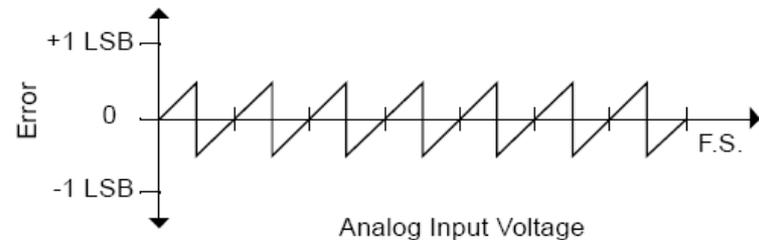
CONVERSORES A/D

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA IDEAL

PROCESO DE DIGITALIZACIÓN

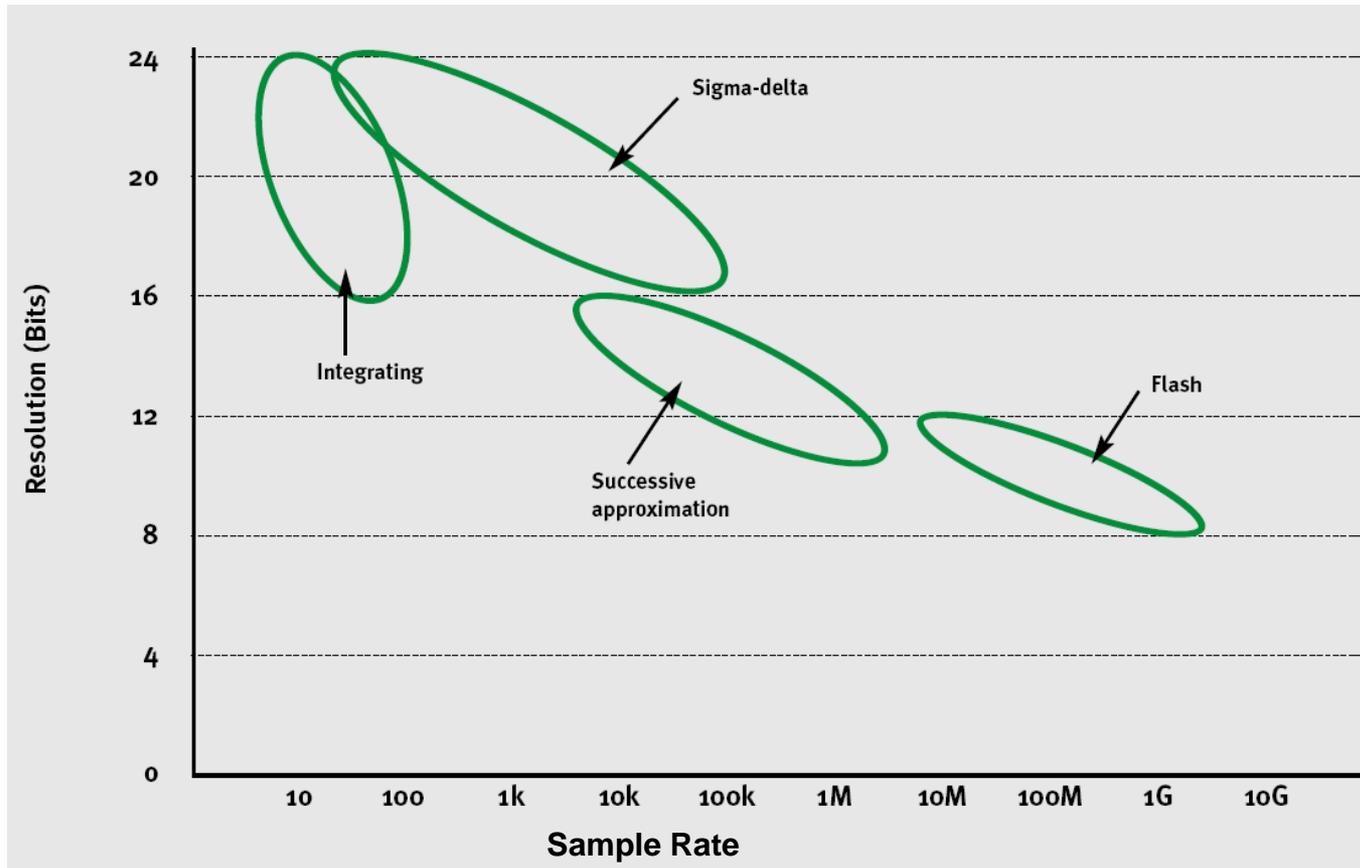


ERROR DE CUANTIZACIÓN



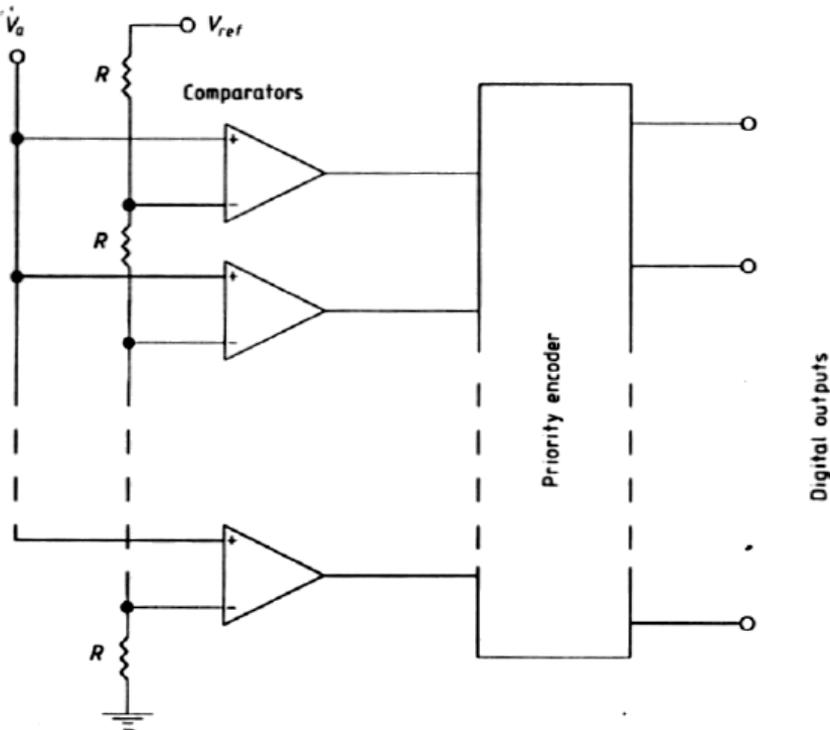
CONVERSORES A/D

Diferentes arquitecturas proporcionan diferentes especificaciones



CONVERSORES A/D

PARALELO O FLASH

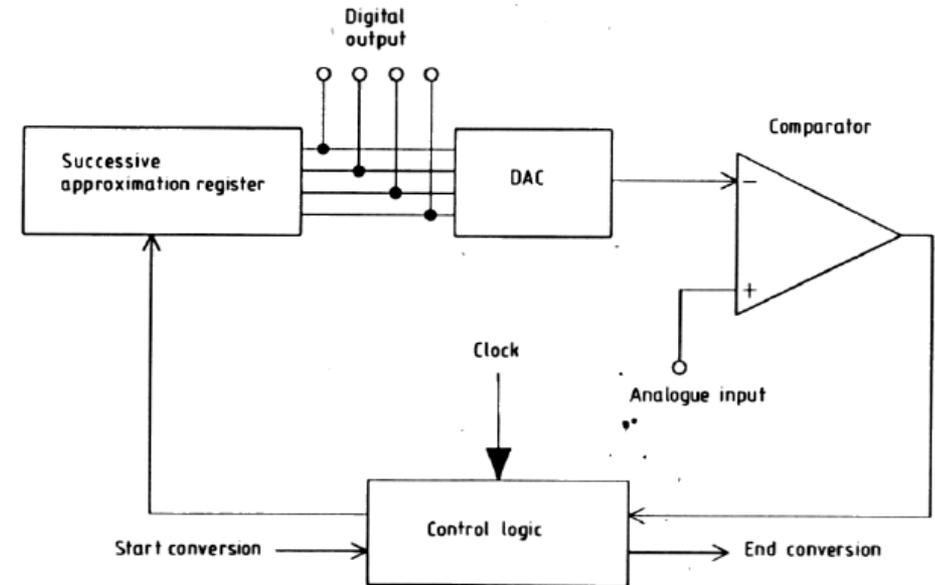


La entrada analógica se aplica a todos los comparadores.

El codificador de prioridad convierte el resultado de los $2^N - 1$ comparadores a un número binario de N bits.

Poca resolución pero muy rápido

APROXIMACIONES SUCESIVAS



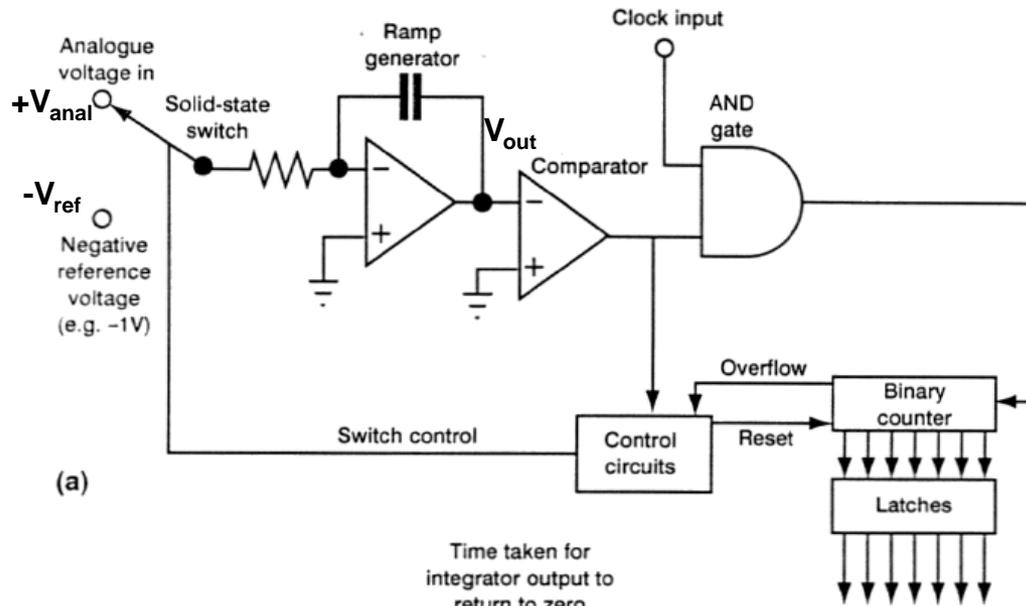
Inicialmente, el registro SAR proporciona una salida correspondiente a la mitad del rango (100..0)
Si la entrada analógica es mayor, entonces $MSB=1$, si no $MSB=0$.

El SAR realiza la misma operación desde MSB al LSB

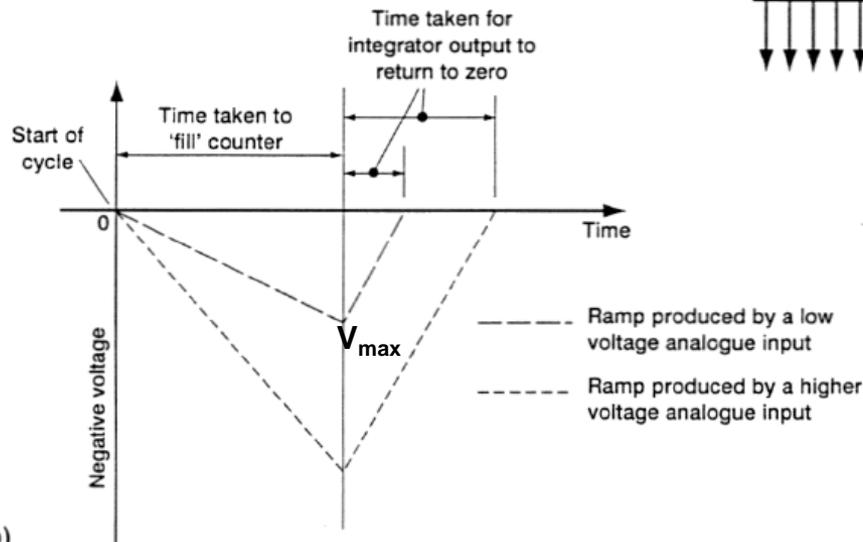
Buen compromiso velocidad-resolución

CONVERSORES A/D

DE DOBLE PENDIENTE



(a)



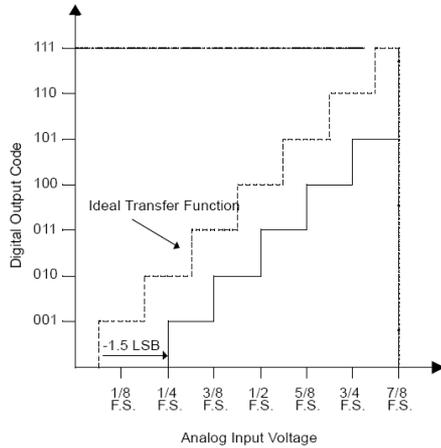
(b)

- El contador es puesto a 0 y el interruptor se conecta a la entrada analógica. El integrador genera una rampa negativa de pendiente proporcional a la entrada analógica ($V_{out} = -1/RC * V_{anal} * t$)
- Al iniciarse la rampa negativa, la salida del comparador pasa a alta, y los pulsos del reloj activan el contador.
- Cuando el contador “overflows” (11...1), se resetea a cero y el interruptor se conecta a la referencia negativa de tensión. El integrador genera una rampa de pendiente positiva. ($V_{out} = -V_{max} + 1/RC * V_{ref} * t$)
- Cuando la salida del integrador alcanza el cero, el comparador pasa a baja y para el contador, cuyo valor representa el valor digital de la entrada analógica.

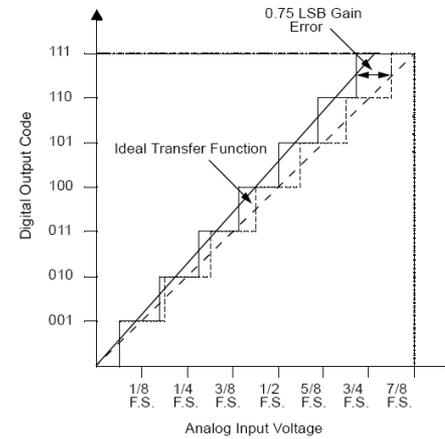
Lento pero mucha resolución

CONVERSORES A/D

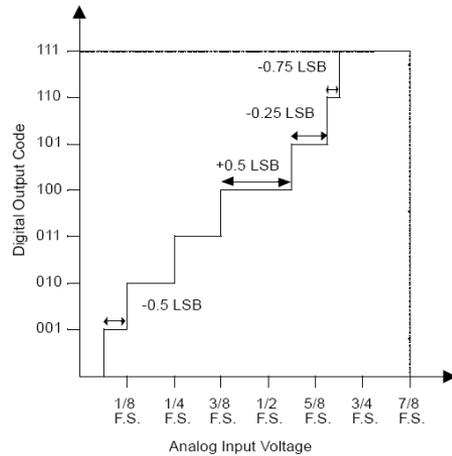
ERROR DE OFFSET



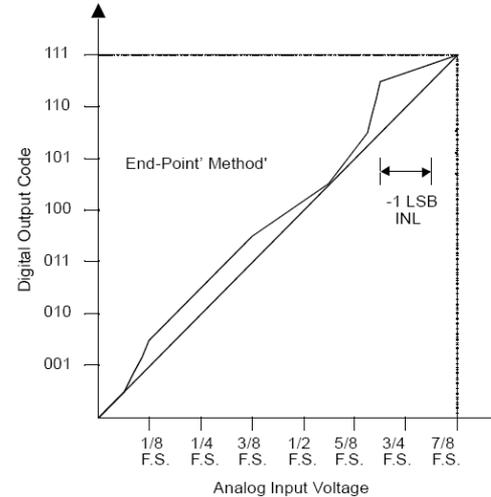
ERROR DE GANANCIA



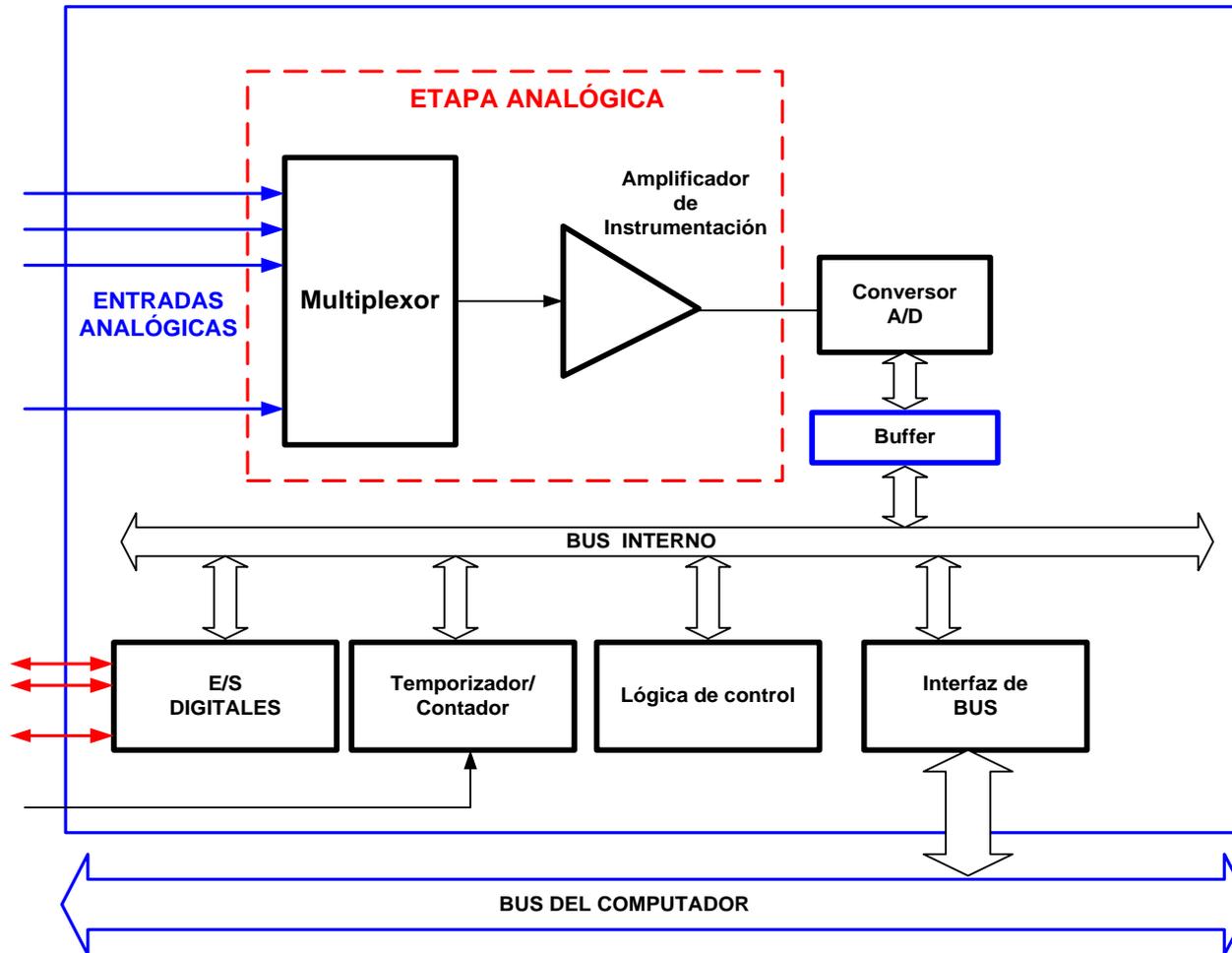
ERROR DNL (DIFFERENTIAL NONLINEARITY)



ERROR INL (INTEGRAL NONLINEARITY)



TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS



“Data Acquisition Specifications: a Glossary” (National Instruments AN092)