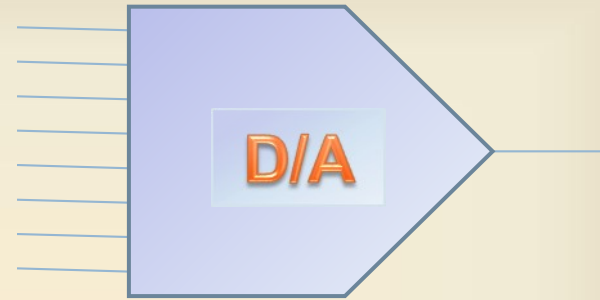


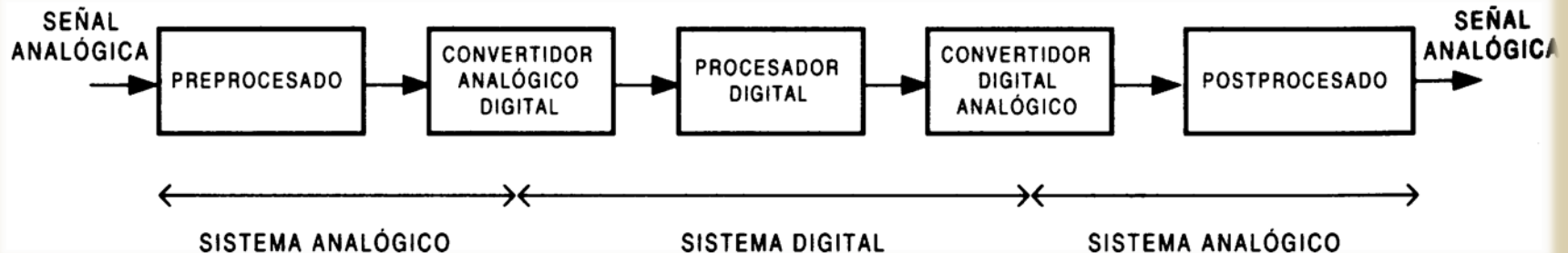


CONVERTIDORES

D/A y A/D

AD

SISTEMA PROCESADO DIGITAL

D/A

Las ventajas de trabajar en el mundo digital son evidentes: Ausencia de ruido, fácil procesamiento y facilidad de almacenamiento.

Sin embargo las magnitudes físicas de la naturaleza como temperatura, humedad, longitud, intensidad de luz, sonido, etc., son analógicas.

Para poder procesar de forma digital estas variables naturales hace falta un convertidor analógico a digital.

Una vez procesadas las señales, puede ser necesario pasarlos al mundo analógico para poder ser útiles para nosotros, como el sonido; en este caso será necesario un convertidor de digital a analógico.

CONVERTIDORES

1. CONVERTIDORES DIGITAL-ANALÓGICO D/A

- 1. **FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA**
- 2. **CARACTERÍSTICAS**
- 3. **TIPOS Y APLICACIONES**

2. CONVERTIDORES ANALÓGICO-DIGITAL A/D

- 1. **FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA**
- 2. **CARACTERÍSTICAS**
- 3. **TIPOS Y APLICACIONES**
- 4. **PROCESO DE CONVERSIÓN**

3. ○ CRITERIOS DE SELECCIÓN

El número expresado en binario natural de n bits:

$$b_{n-1} b_{n-2} \dots b_3 b_2 b_1 b_0$$

Representa en decimal el valor B, tal que:

$$B = b_{n-1}2^{n-1} + b_{n-2}2^{n-2} + \dots + b_32^3 + b_22^2 + b_12^1 + b_02^0$$

Normalizando respecto a 2^n

$$D = B/2^n = b_{n-1}2^{-1} + b_{n-2}2^{-2} + \dots + b_32^{-n+3} + b_22^{-n+2} + b_12^{-n+1} + b_02^{-n}$$

D = Valor binario fraccional

$$0 \leq D \leq (1 - 2^{-n}); \quad 0 \leq D \leq (\approx 1)$$

El incremento mínimo posible es $2^{-n} = 1/2^n$

A blue square icon with the text 'AD' in orange, representing an Analog-to-Digital converter. It has several horizontal lines extending from its right side.

AD

CONVERSIÓN DIGITAL A ANALÓGICA

A blue arrow-shaped icon pointing to the right, containing the text 'D/A' in orange, representing a Digital-to-Analog converter. It has several horizontal lines extending from its left side.

D/A

El valor de la salida de un convertidor digital–analógico dependerá del valor digital introducido en la entrada, de la tensión de alimentación del circuito (que sirve de límite), del tipo de circuito, unipolar o bipolar , de una constante de conversión “k”, y de las tensiones de referencia positiva y negativa analógicas introducidas.

Cuando en la entrada todos los bits son **0** tendremos el mínimo valor de salida posible.

Cuando en la entrada todos los bits son **1** tendremos el máximo valor de la salida.

$$V_0 = k . (V_{ref}^- + D . (V_{ref}^+ - V_{ref}^-))$$

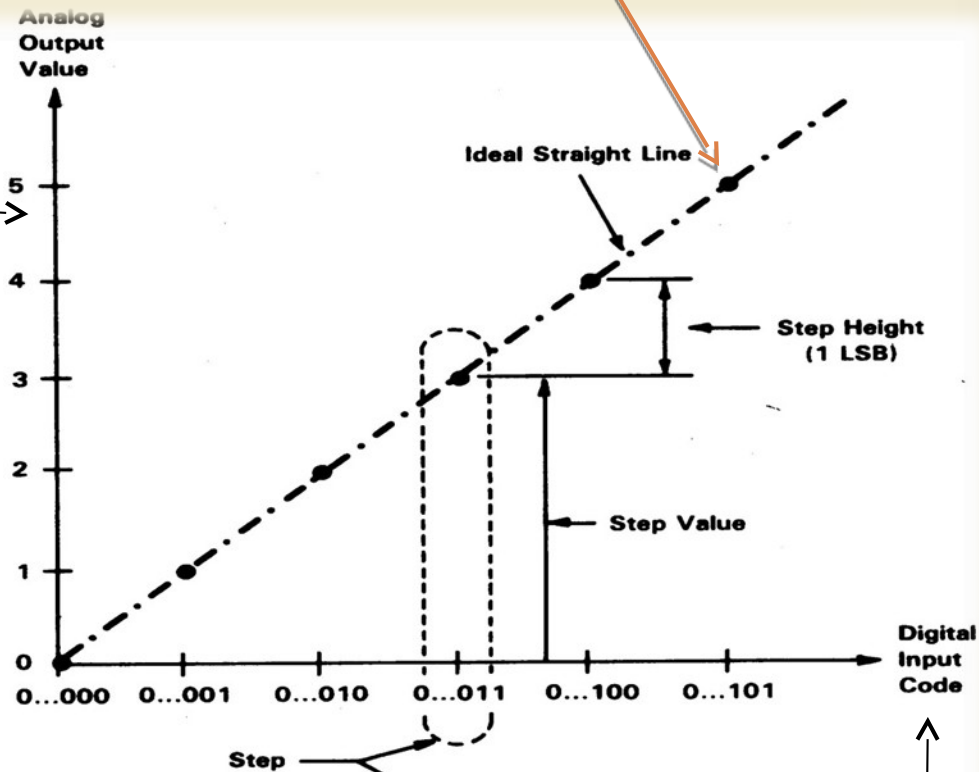
CONVERTIDORES

A/D

F. TRANSFERENCIA D/A

D/A

SALIDA ANALÓGICA
EN ORDENADAS



CONVERSION CODE

Digital Input Code	0...000	0...001	0...010	0...011	0...100	0...101
Analog Output Value	0	1	2	3	4	5

ENTRADA DIGITAL EN
ABCISAS

CONVERTIDORES



Resolución	Glitcher
Precisión de la conversión	Error de offset
Rango dinámico de entrada	Error de ganancia
Rango dinámico de salida	Sensibilidad a la temperatura
Modo de funcionamiento v,i	Monotonicidad
Unipolar o bipolar	Error de no linealidad Integral
Tiempo de conversión	Diferencial



Al máximo **rango** de salida posible se llama **rango de fondo de escala**.

En el caso que la tensión de referencia negativa sea 0, es común hablar de tensión de fondo de escala:

$$V_{\text{fsr}} = K \cdot (V_{\text{ref}}^+ - V_{\text{ref}}^-)$$

La **apreciación** es el mínimo incremento posible, esto es, el incremento del valor de la salida que produce el bit menos significativo:

$$V_{\text{fe}} = K \cdot V_{\text{ref}}$$

La **resolución** es el número de bits de entrada. La apreciación es mejor (valor más bajo) cuantos más bits tenga.

$$a = 1 \text{ LSB} = \frac{V_{\text{fsr}}}{2^n}$$

La precisión viene determinada por el conjunto de errores que se pueden producir durante la conversión.

Suele expresarse en número de bits menos significativos. Es típico que los fabricantes nos digan que la precisión es de $\frac{1}{2}$ o 1LSB.

Rango dinámico de entrada $20 \cdot \log 2^n$ (dB)

Rango dinámico de salida $20 \cdot \log V_{FSR}$ (dB)

Modo de funcionamiento v, i. Expresa si la salida es en forma de tensión o en forma de corriente.

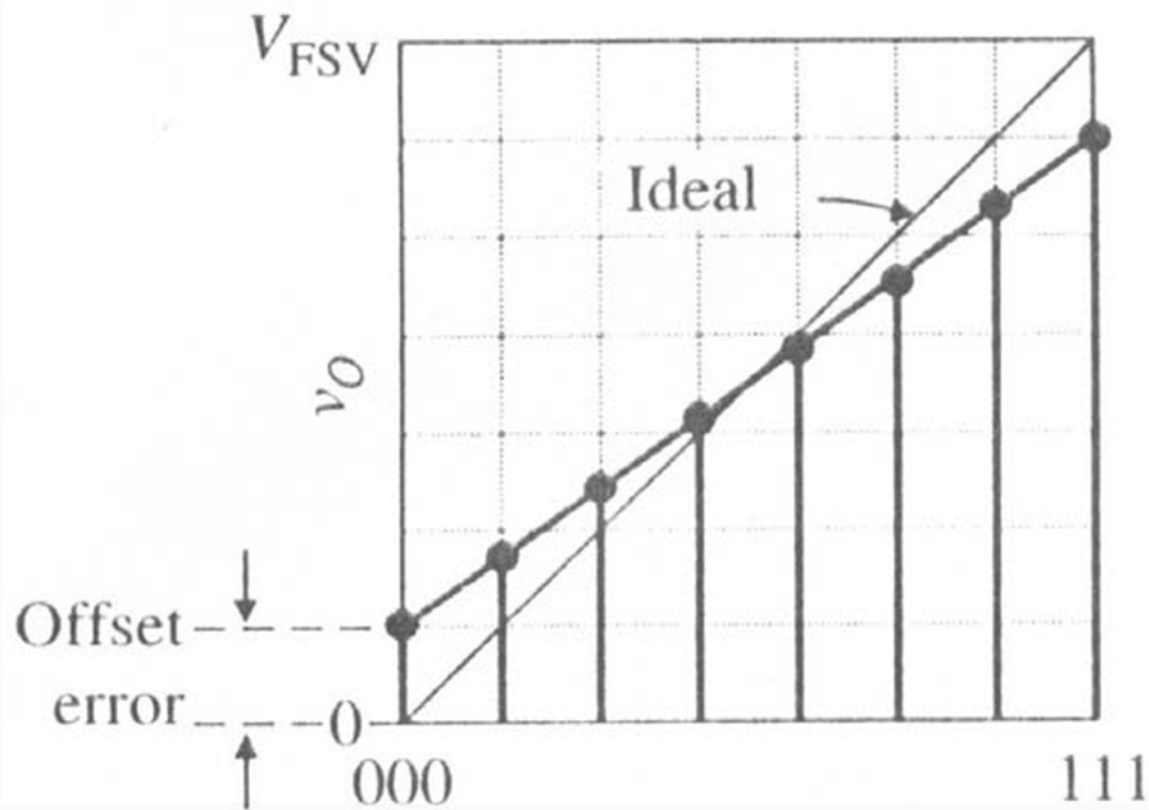
Unipolar o bipolar. Indica que la salida actúa en un solo cuadrante, unipolar (sólo da valores positivos o sólo valores negativos) o actúa en dos cuadrantes, bipolar (puede dar valores positivos y negativos)

Tiempo de conversión. No suele ser un valor relevante, aunque en algún caso deba ser tenido en cuenta.

Glitchers son picos de señal que aparecen en la salida debidos a retardos cuando cambian los valores de las entradas.

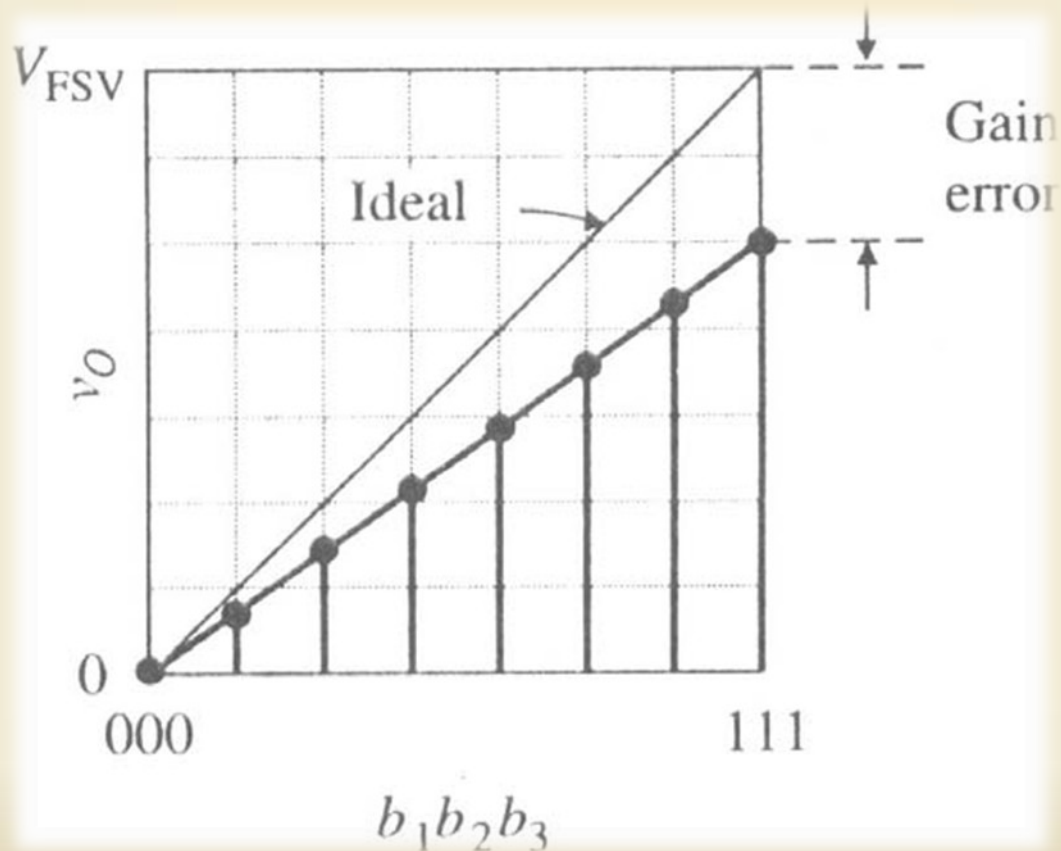
ERROR DE OFFSET

Es el error de 0.



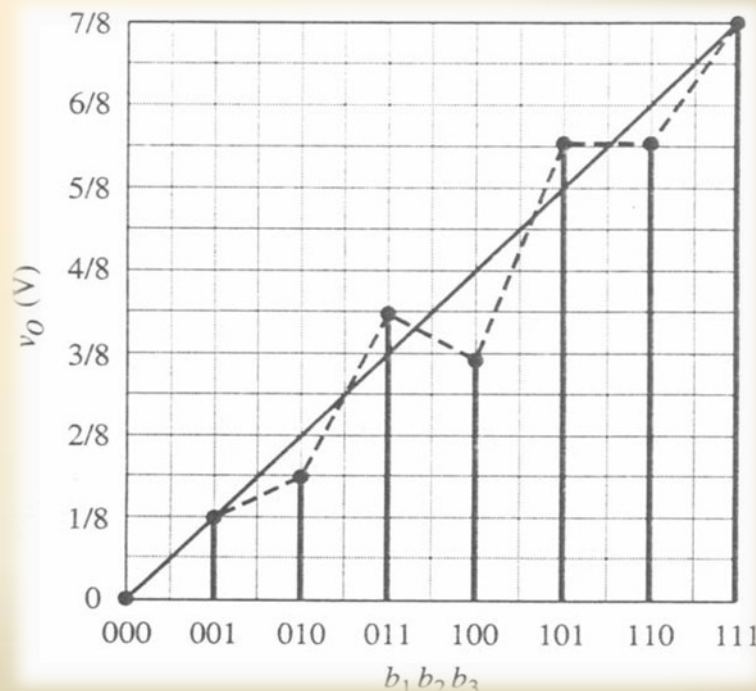
ERROR DE GANANCIA

Viene dado por la diferente inclinación en la respuesta



Sensibilidad a la temperatura hace referencia al error producido al variar la temperatura. Se expresa en tanto por ciento del rango de fondo escala.

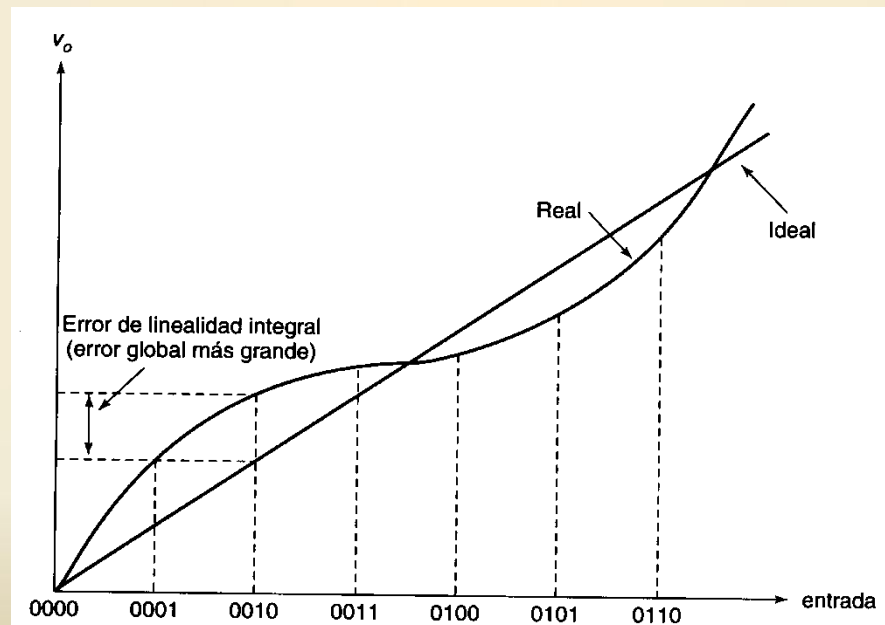
Monotonidad es la propiedad según la cual cada incremento de la señal digital de entrada debe producir un incremento del valor de la salida. Cuando esto no ocurre se produce el error de monotonidad



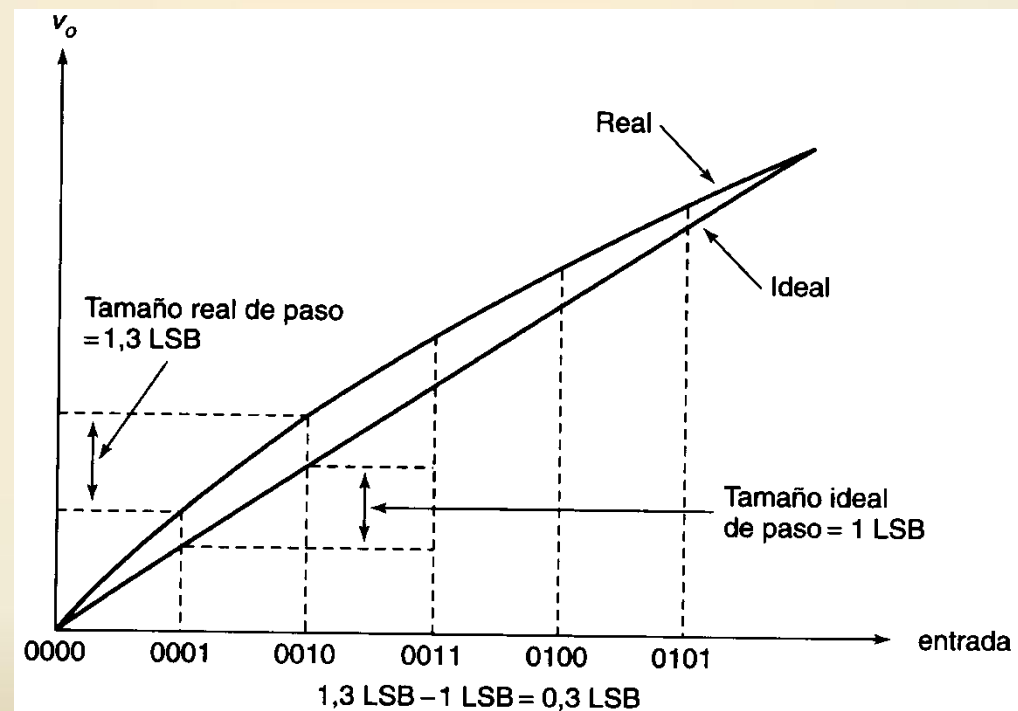
ERROR DE NO LINEALIDAD

Incrementos iguales de entrada deben proporcionar incrementos iguales de salida.

No linealidad integral (INL): Máxima desviación entre la característica de transferencia real e ideal.



No linealidad Diferencial (DNL): Máxima desviación (respecto al ideal) del incremento de V_o entre códigos adyacentes.



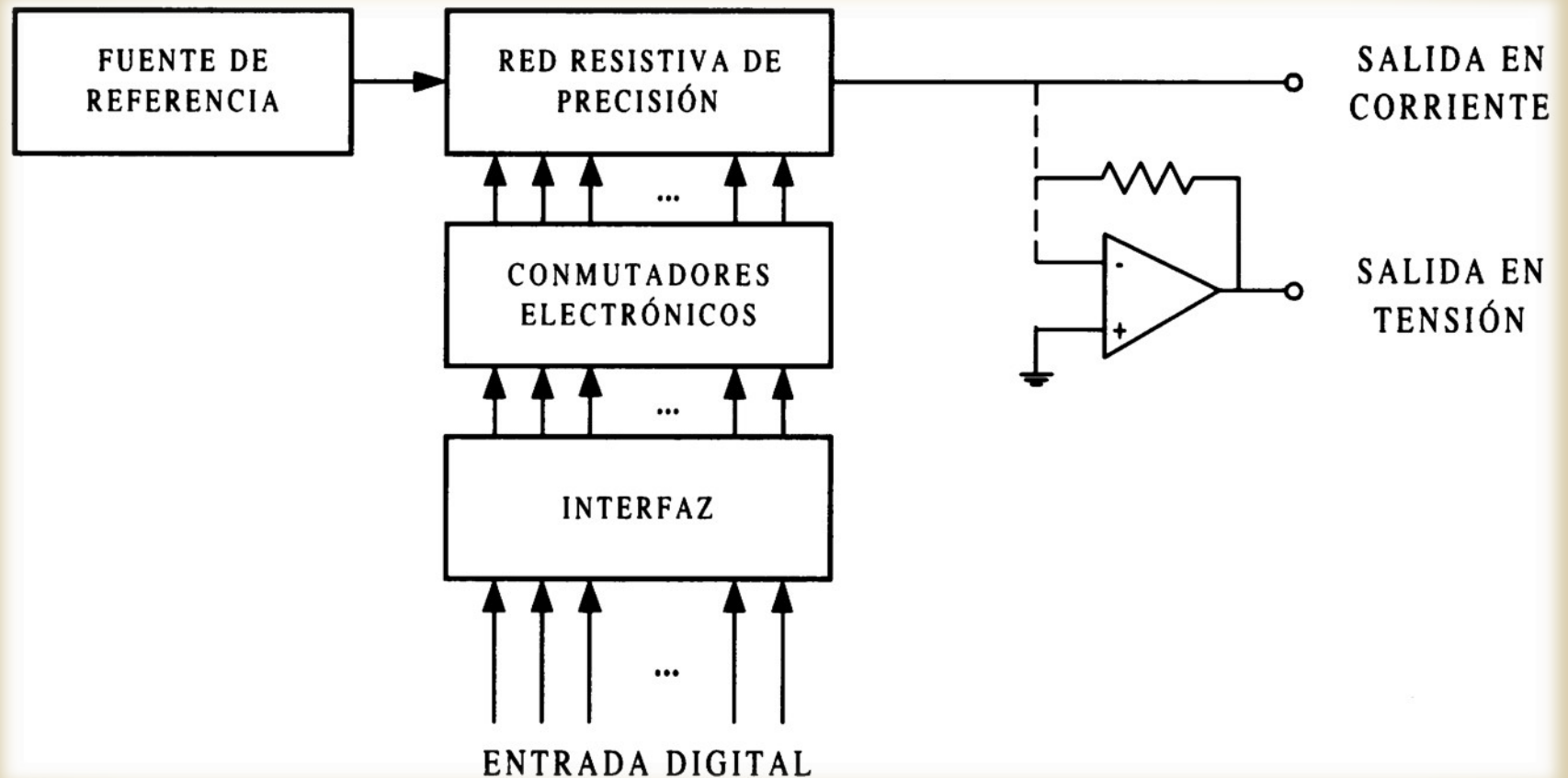
CLASIFICACIÓN DE LOS DACs



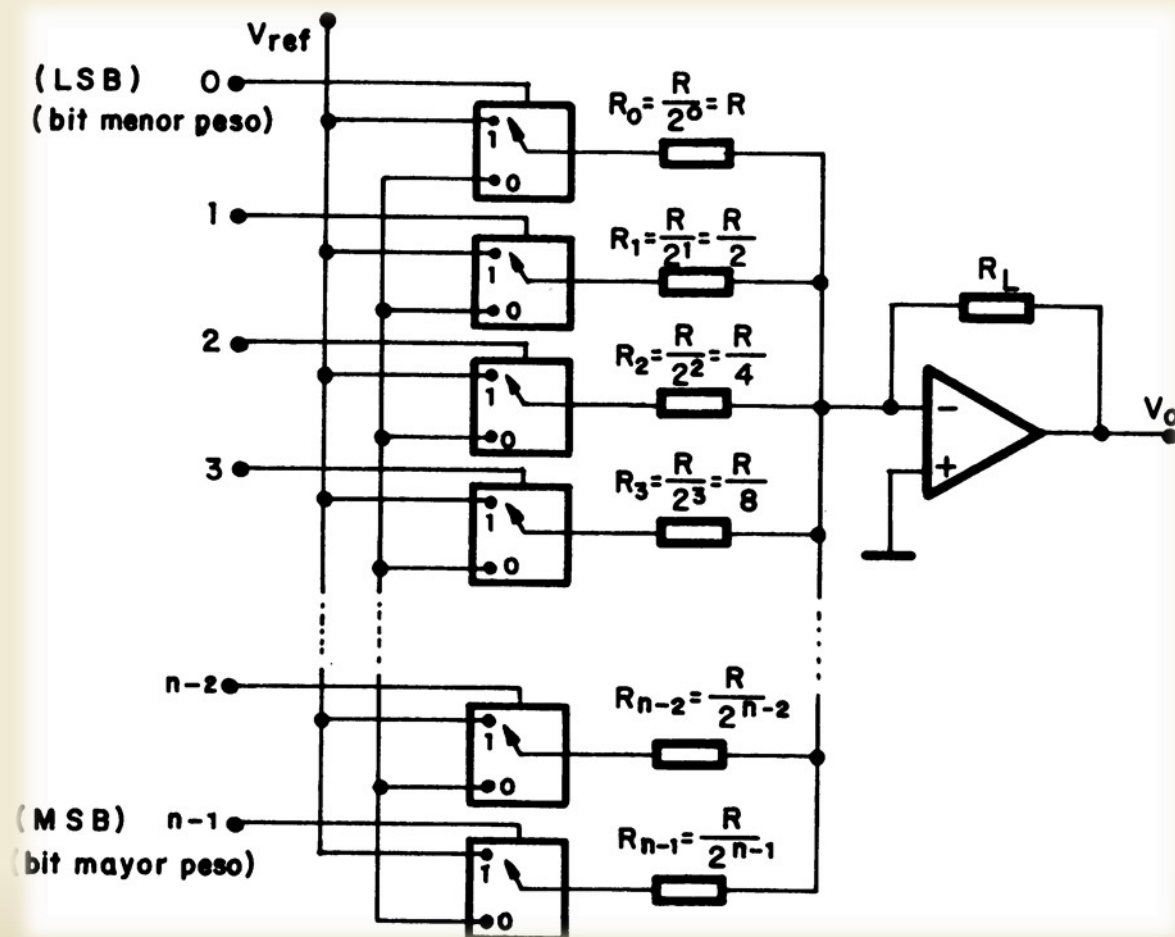
AD

CONVERTIDOR D/A RESISTIVO

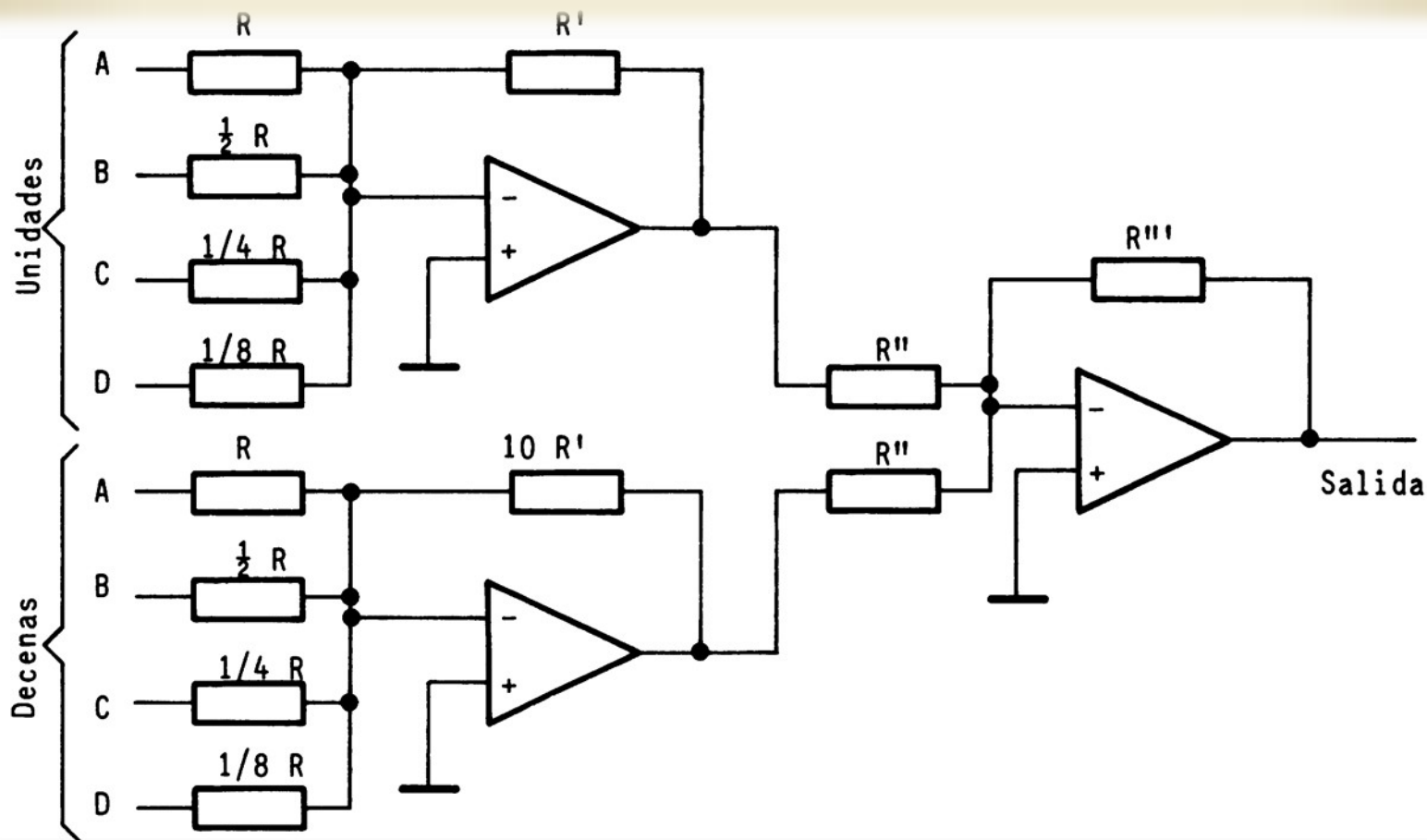
D/A



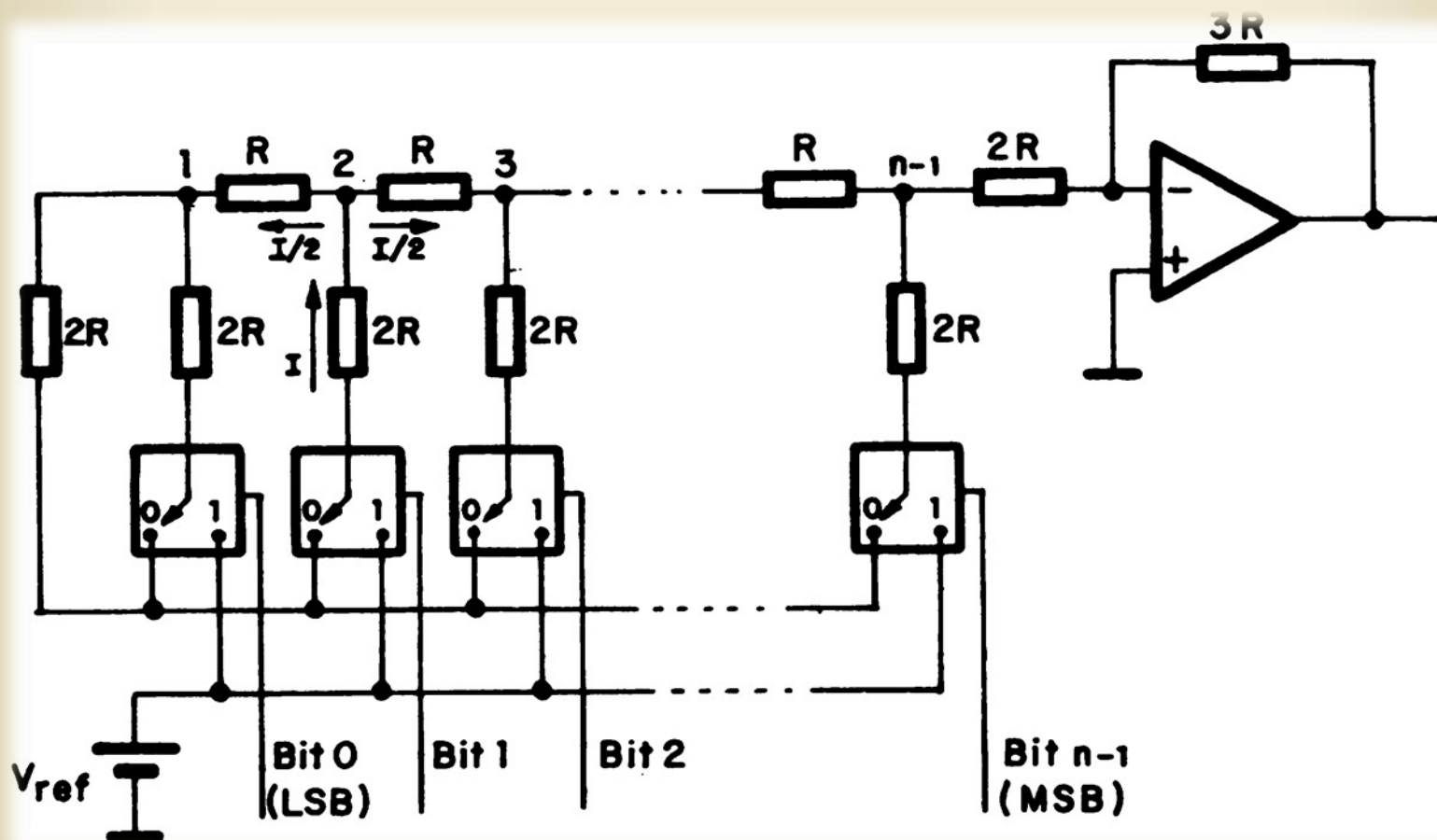
DAC DE RESISTENCIAS PONDERADAS



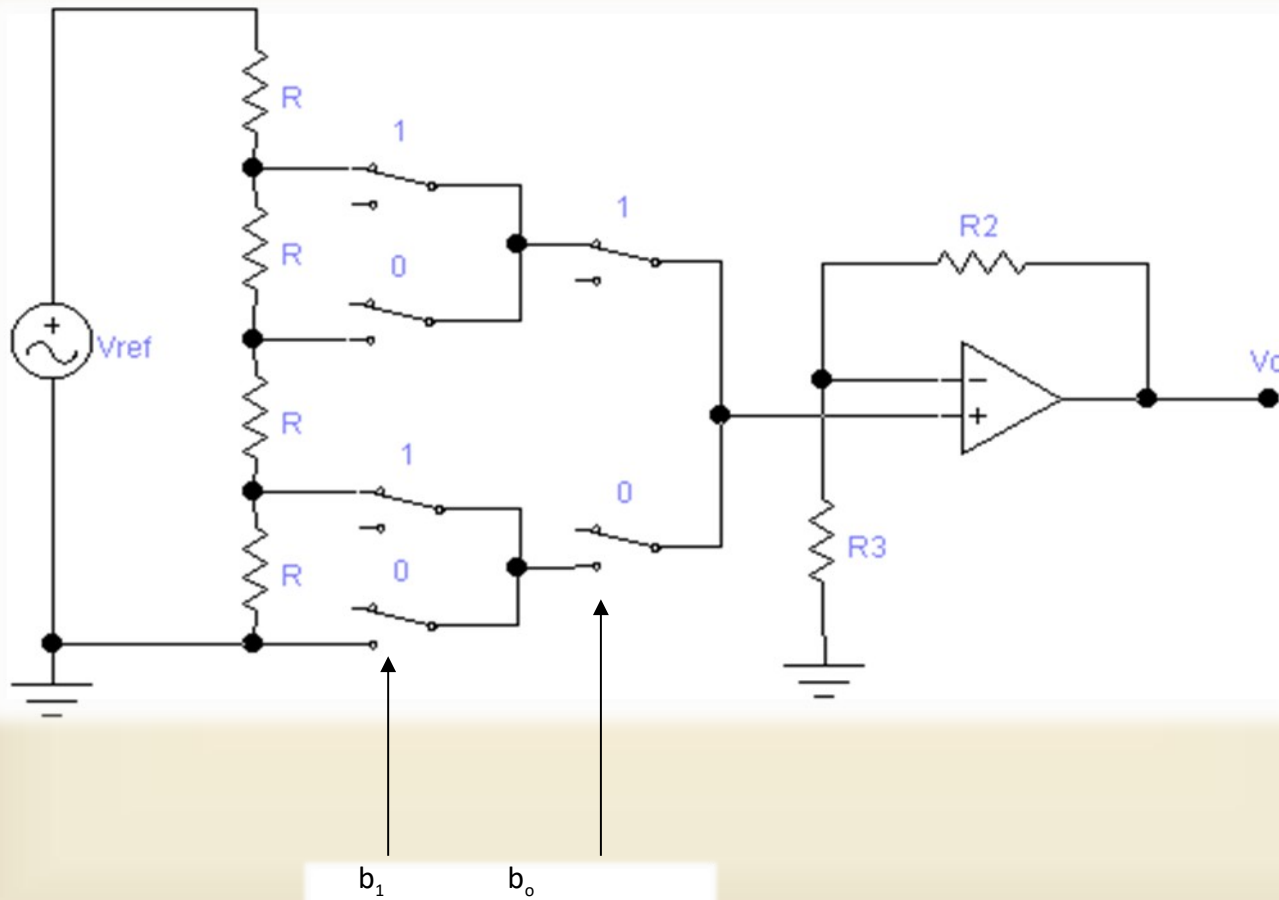
DAC DE RESISTENCIAS PONDERADAS



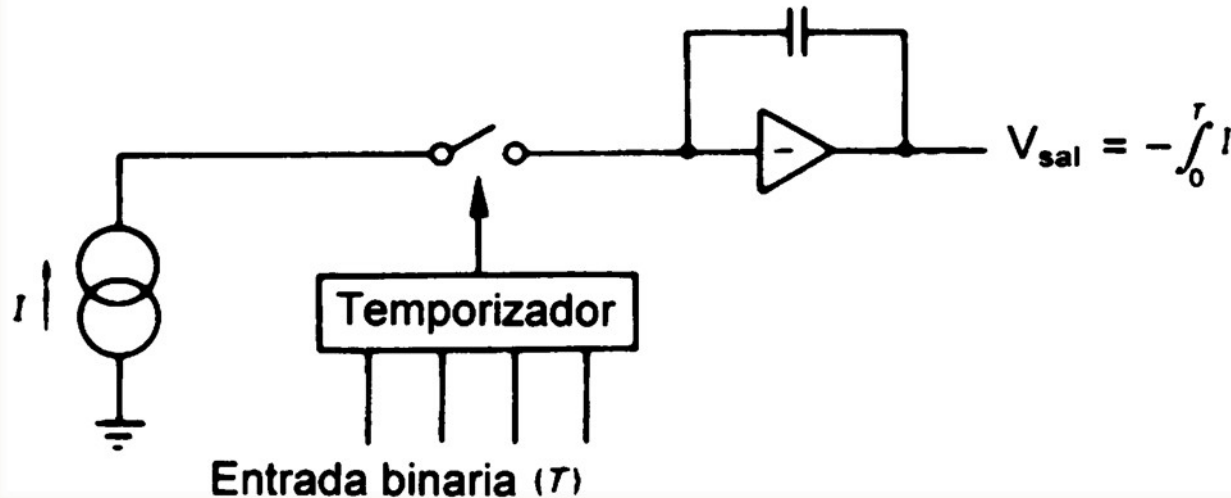
DAC DE RED EN ESCALERA R-2R



DAC POR DIVISIÓN DE TENSIÓN



DAC POR CONTROL DE TIEMPO

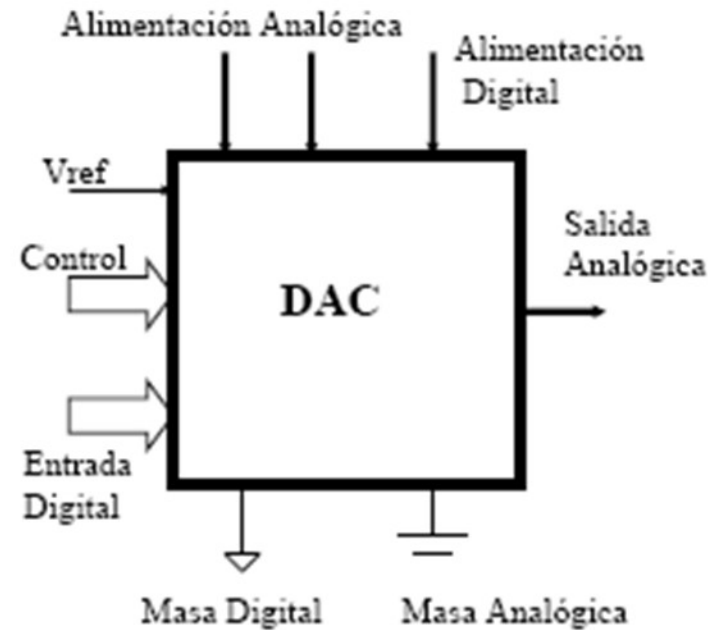
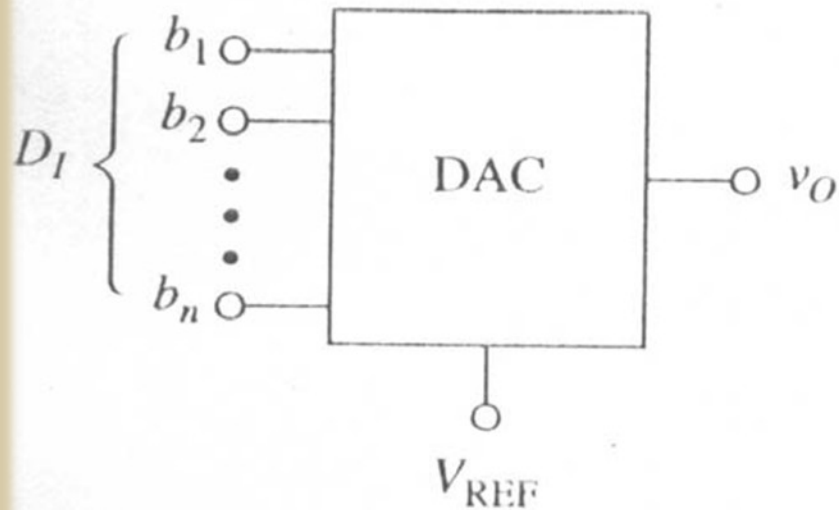


El temporizador varía el tiempo de retención del interruptor en función de la entrada binaria.
La salida será de mayor valor cuanto mayor sea el código de entrada.

A/D

CIRCUITO PRÁCTICO

D/A

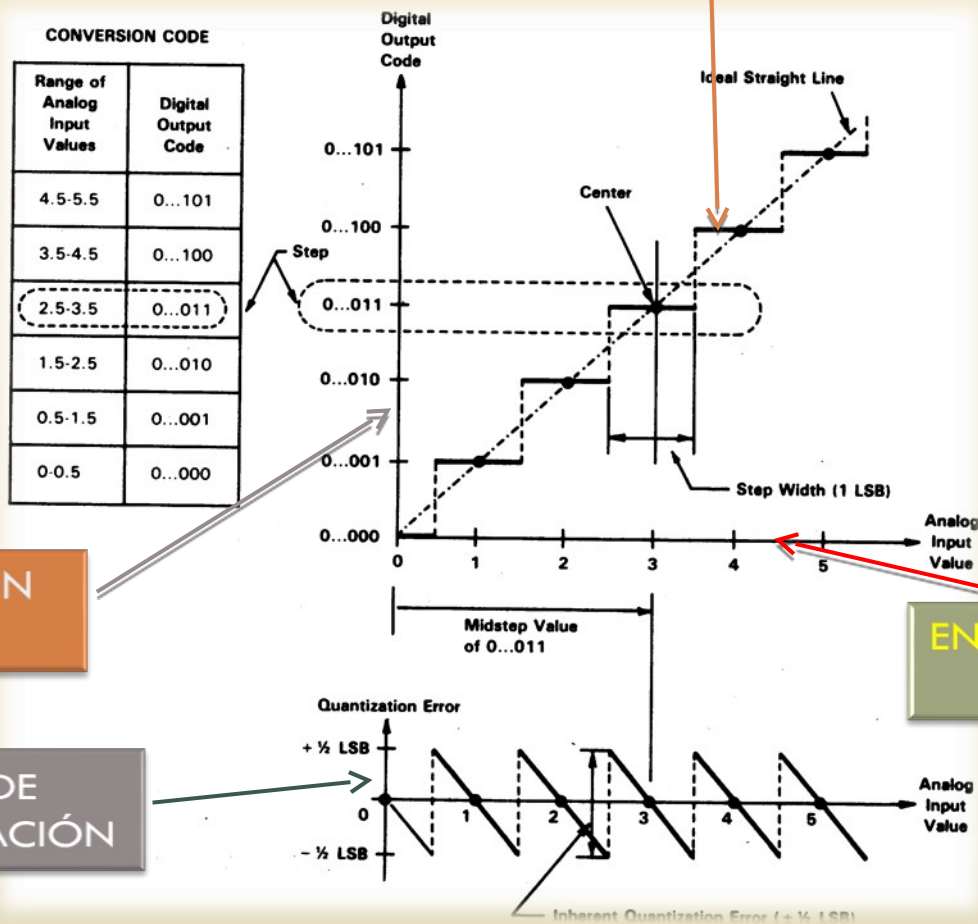


CONVERTIDORES

A/D

D/A

F. TRANSFERENCIA A/D



SALIDA DIGITAL EN
ORDENADAS

ENTRADA ANALÓGICA
EN ABCISAS

ERROR DE
CUANTIFICACIÓN

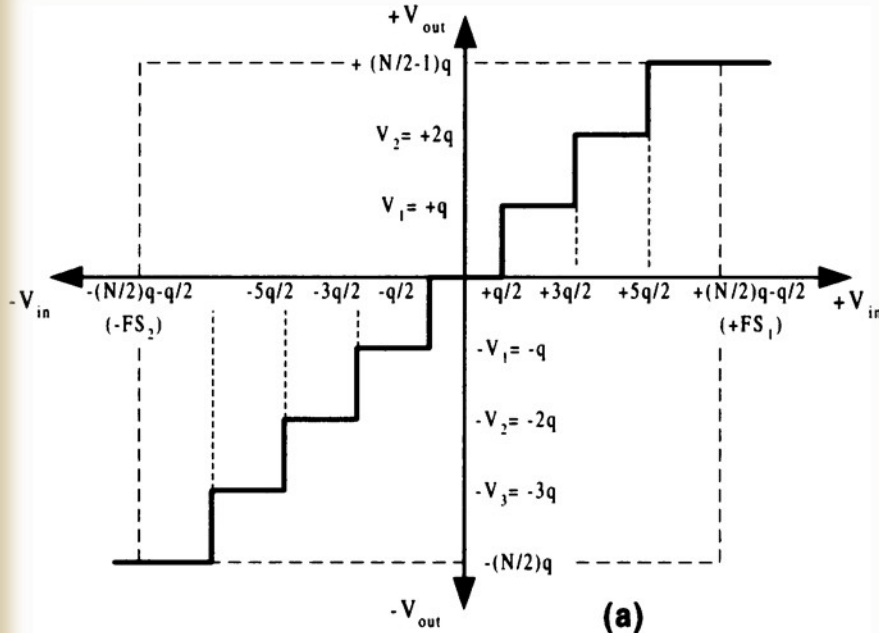
CONVERTIDORES

A/D

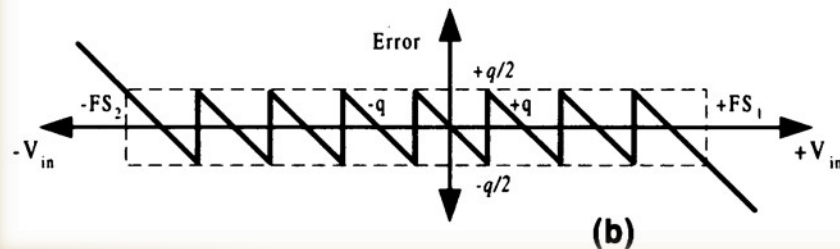
F. TRANSFERENCIA

A/D

D/A

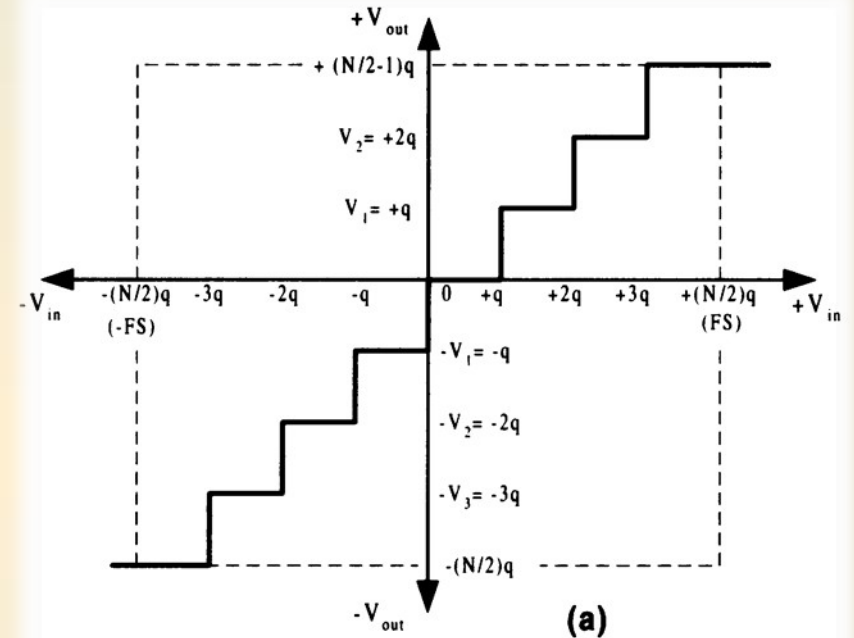


(a)

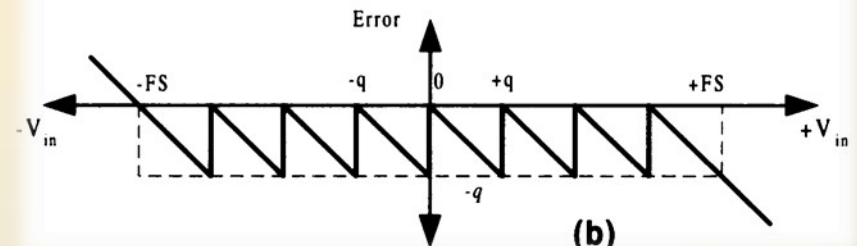


(b)

CONVERSIÓN POR REDONDEO



(a)



(b)

CONVERSIÓN POR TRUNCAMIENTO

CONVERTIDORES

CARACTERÍSTICAS DE LOS ADCs

**Resolución o
precisión**

**Rango dinámico de
entrada**

Formato de salida

**Tiempo de
conversión**

**Tipo de salida
digital**

Relación

Error de offset

Error de ganancia

**Error de fondo de
escala**

**Error de no
linealidad**

**Integral
Diferencial
De códigos
emitidos**

APRECIACIÓN Y RESOLUCIÓN

Indica el mínimo cambio que se puede detectar de la señal de entrada y se expresa mediante el nº de bits de la palabra código de salida. Viene a tener la misma naturaleza que en los DACs. Puede expresarse en valor absoluto o en tanto por ciento.

$$a = \frac{1}{2^n} \cdot 100 (\%)$$

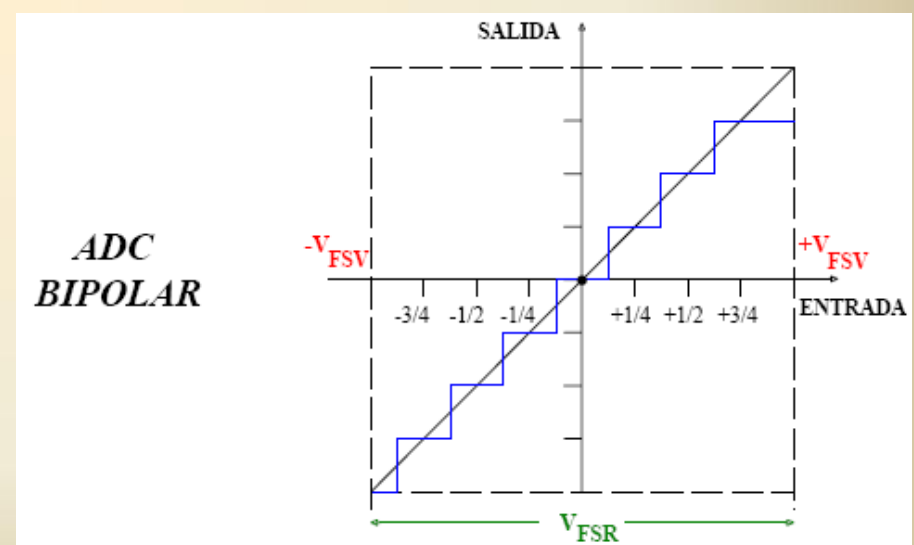
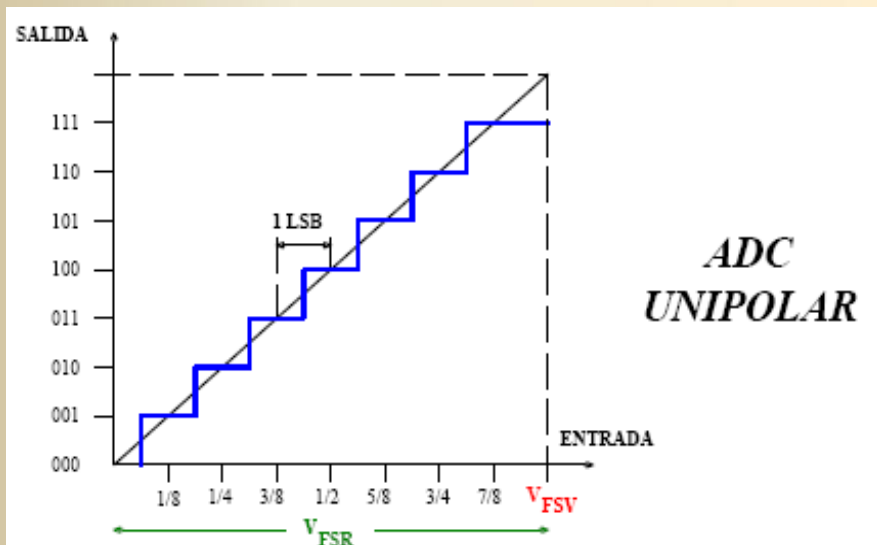
Multiplicado por el fondo de escala nos da la resolución en valor absoluto

bits	Resolución	V _{FSR} =5V
8	0.39 %	19 mV
12	0.024 %	1.22 mV
16	0.0015 %	0.076 mV

Es el margen de tensión máximo a la entrada del convertidor

UNIPOLAR: $0 \Leftarrow V_I \Rightarrow +V_{FSV}$

BIPOLAR: $-V_{FSV} \Leftarrow V_I \Rightarrow +V_{FSV}$



Indica el código en que se presentan los valores de salida.

En los unipolares los más comunes son:

Binario Natural y

BCD natural

En los bipolares se usan:

Binario natural con valor absoluto y signo

Binario en complemento a dos

Binario natural desplazado.

Es un dato muy importante, que suele variar entre 10 ns y 10 ms.

Si la tensión de entrada es variable, desde que se inicia la conversión hasta que termina, la tensión de entrada ha cambiado, lo que da lugar al error llamado de apertura.

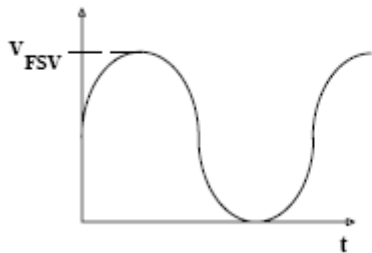
Para que ese error sea tolerable, la frecuencia máxima de la señal de entrada no debe superar el valor:

$$f_{max} = \frac{1}{2^{n+1} \cdot \pi \cdot T_c}$$

Tipo de salida digital: Ya hemos visto los códigos de salida, esto se refiere a que la salida se puede presentar de otras formas, por ejemplo, con salida serie, salida paralelo, salida multiplexada...

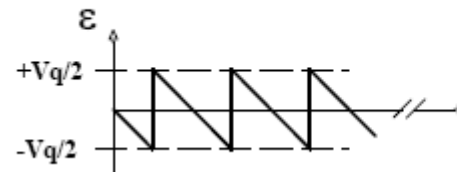
Relación señal/ruido: Todos los convertidores presenta errores de cuantificación, que son el ruido. La relación señal-ruido, medida en decibelios, se expresa como:

Señal:



$$V_{S|RMS} = \frac{V_{FSV}}{2\sqrt{2}} = \frac{2^n \cdot Vq}{2\sqrt{2}}$$

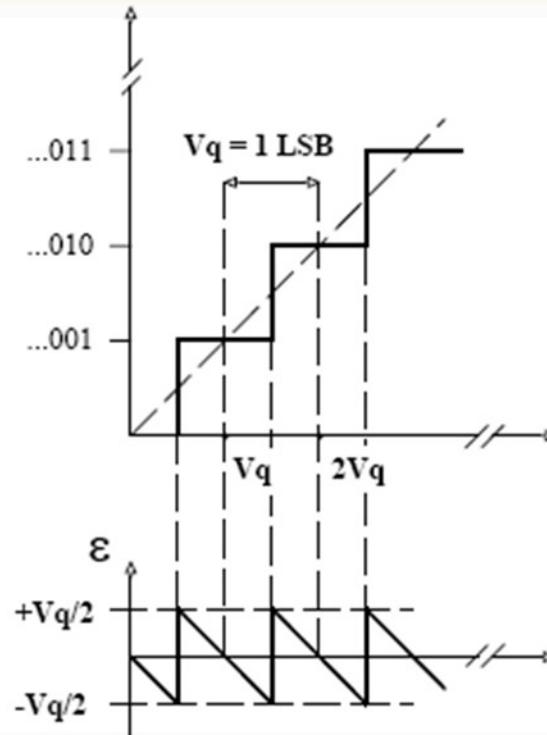
Ruido:



$$V_{N|RMS} = \frac{Vq}{\sqrt{12}} = Eq$$

$$SNR = \left(\frac{S}{N} \right) = 10 \cdot \log \frac{(V_S)^2}{(V_N)^2} = 6.02 \cdot n + 1.76 \text{ dB}$$

ERROR DE CUANTIFICACIÓN



Es inherente a la conversión, puede ser de 1 o de $\frac{1}{2}$ LSB.

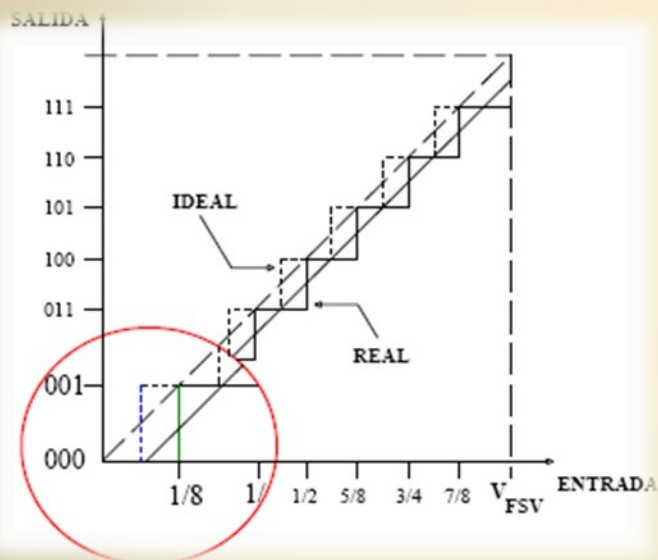
Es inevitable

En valor absoluto es menor cuanto mayor sea el número de bits

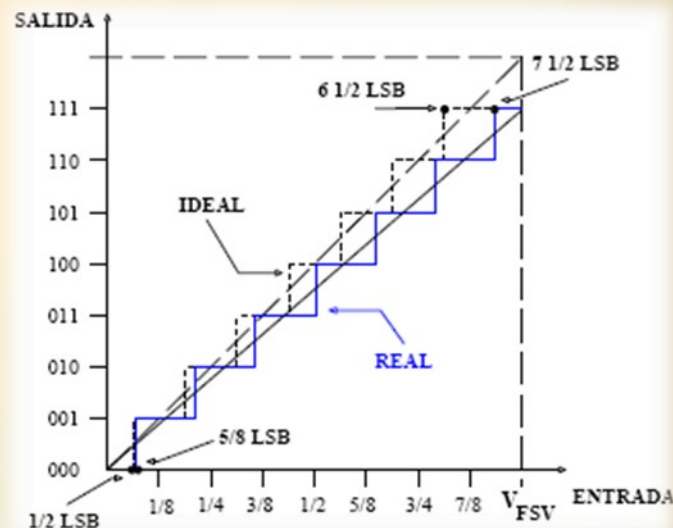
CONVERTIDORES

CARACTERÍSTICAS DE LOS ADCs

Los errores de offset, ganancia, fondo de escala, y de linealidad tienen son equivalentes a los del DAC.

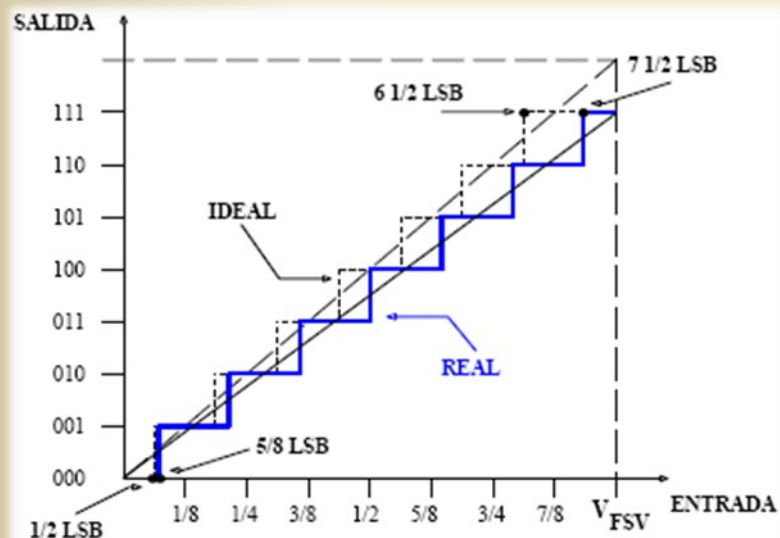


$$V_{off}(error) = V_{t(REAL)} - V_{t(IDEAL)}$$

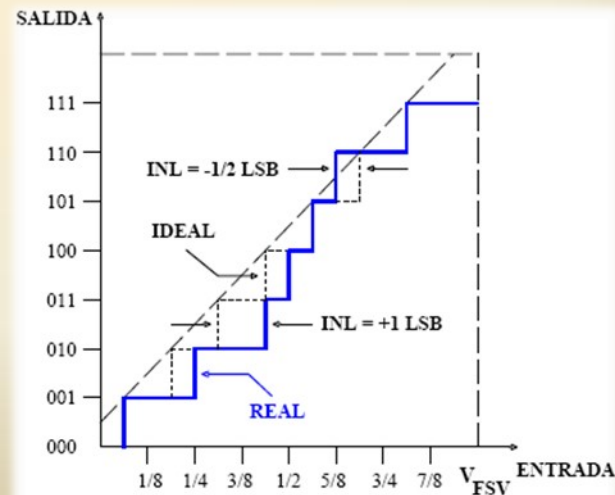
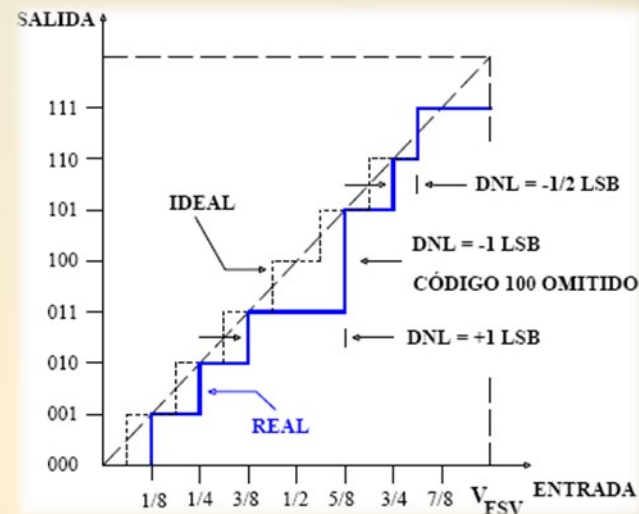


$$E.G. = (V_{ut} - V_{pt})_{IDEAL} - (V_{ut} - V_{pt})_{REAL}$$

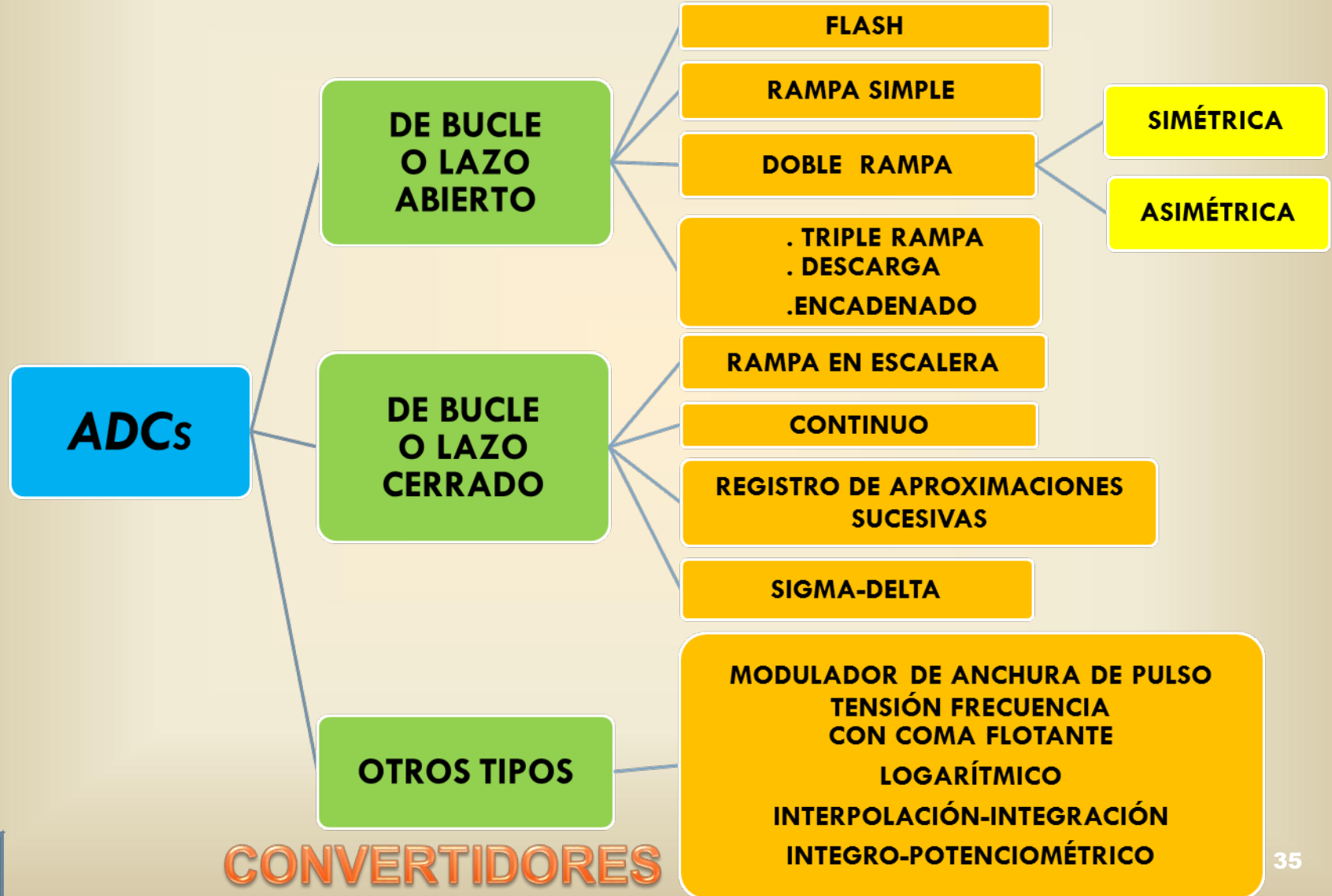
CARACTERÍSTICAS DE LOS ADCs



$$E.F.E.S. = -\frac{7}{8} \text{ LSB} - \frac{1}{8} \text{ LSB} = -1 \text{ LSB}$$

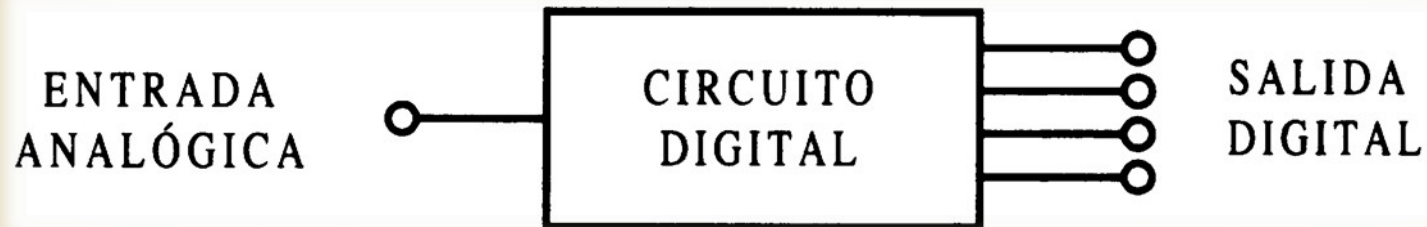


CLASIFICACIÓN DE LOS ADCs



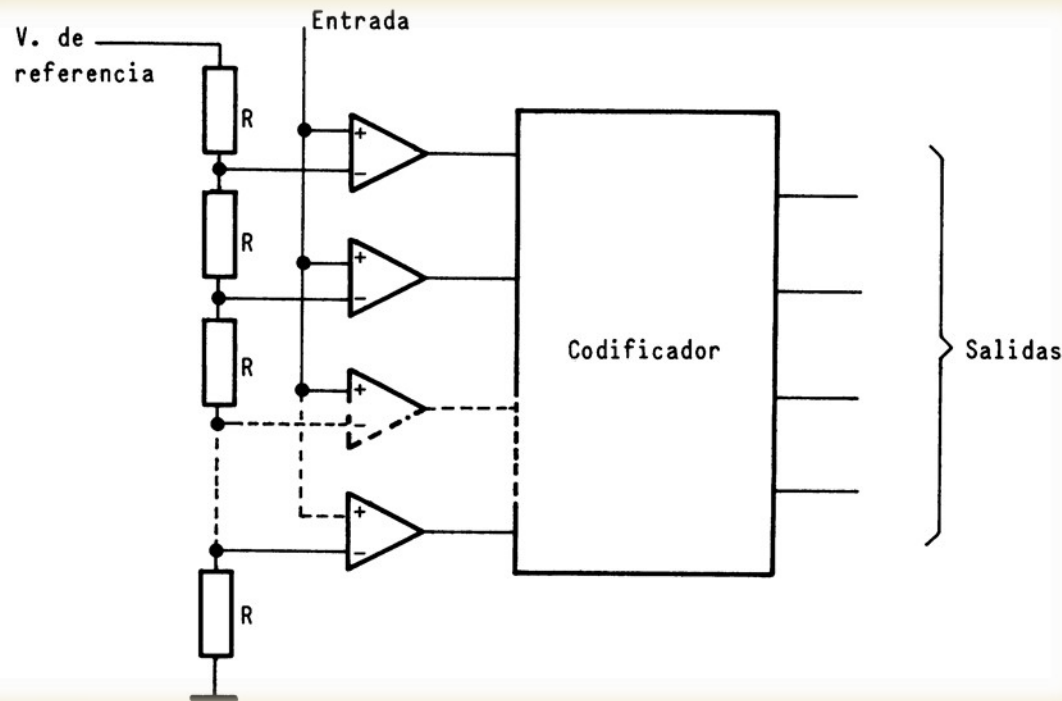
AD

ADC DE LAZO ABIERTO

D/A

Sobre el esquema, parece la configuración más simple. Tras el proceso de conversión, los valores analógicos de entrada se convierten en valores digitales de salida. El sistema no tiene ningún método de comprobación del resultado, no sabe si la conversión es correcta o no

CONVERTIDOR FLASH

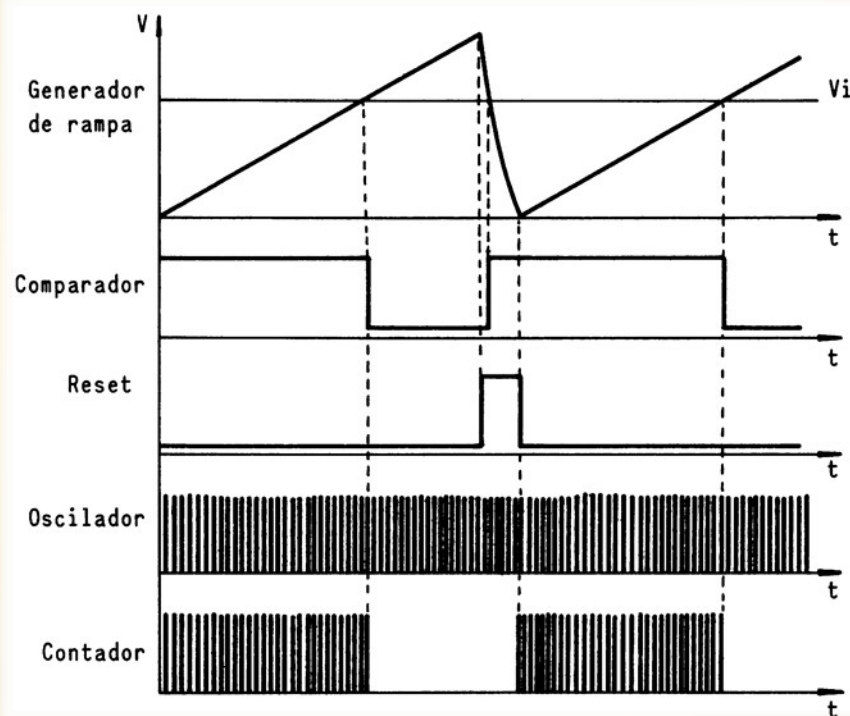
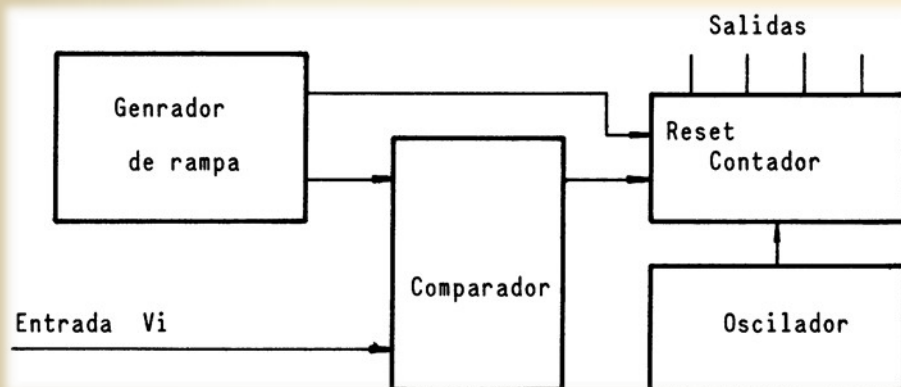


Es llamado convertidor paralelo.

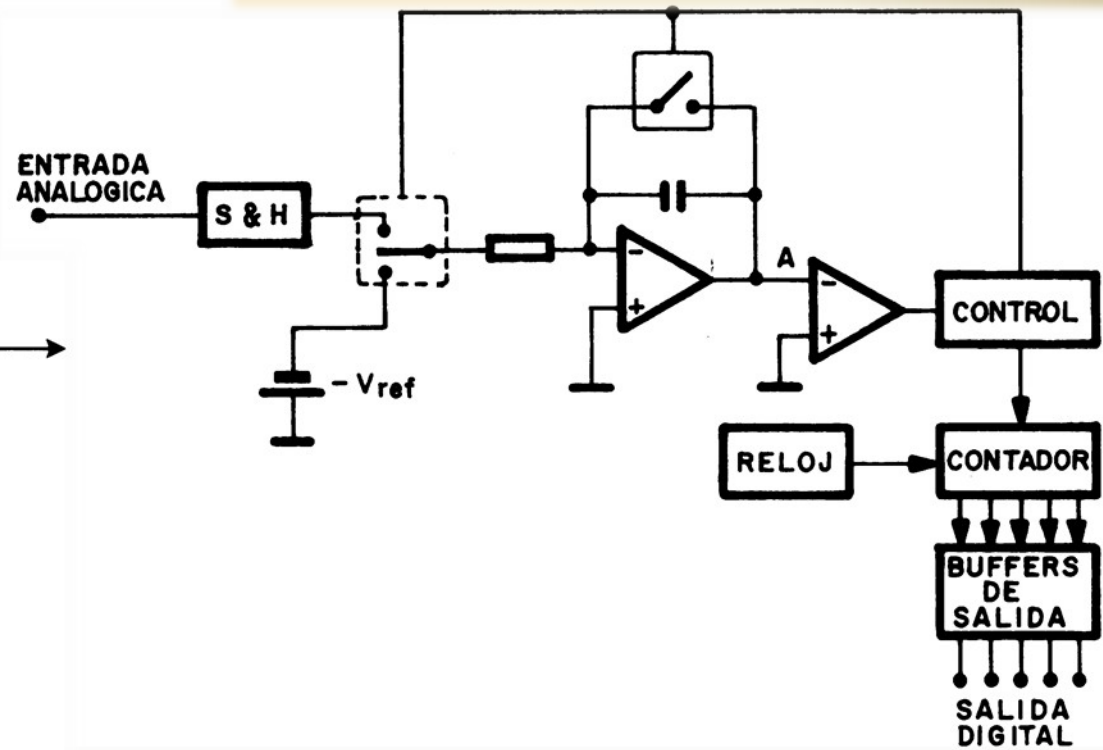
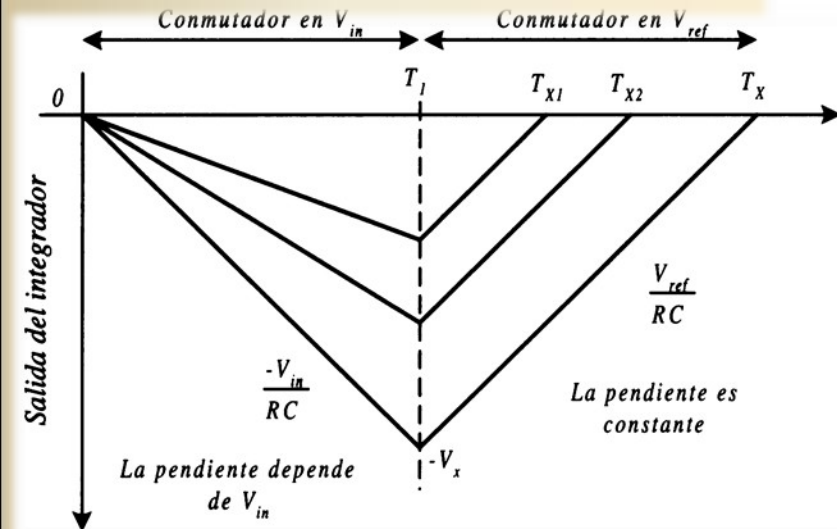
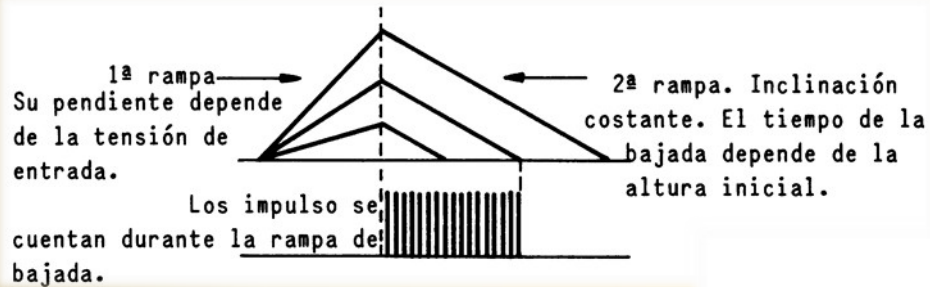
Es el más rápido. Costoso. El número de comparadores es del orden de 2^n . Siendo n el número de salidas

CONVERTIDORES

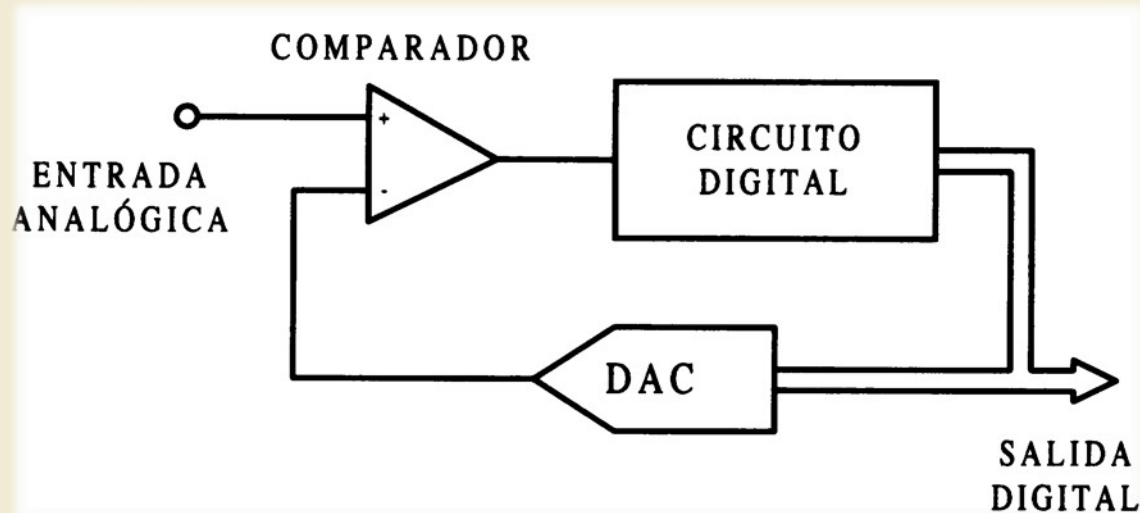
ADC DE RAMPA SIMPLE



ADC DE DOBLE RAMPA



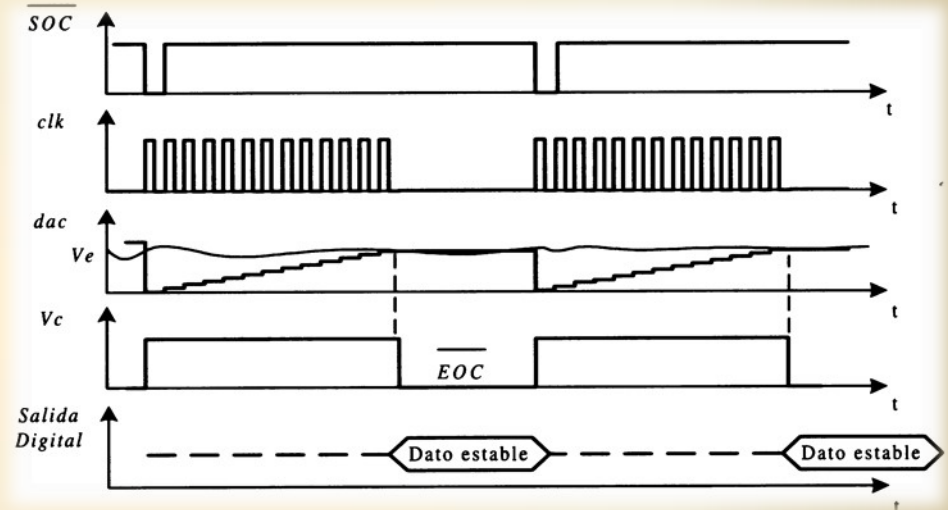
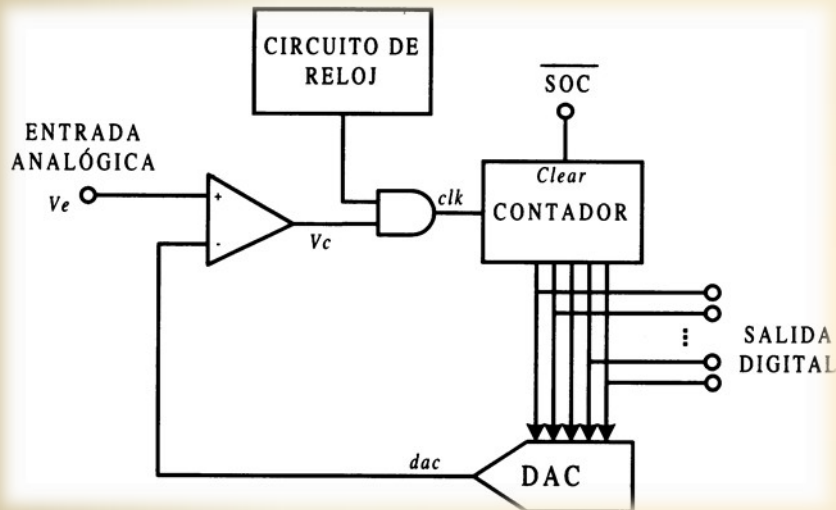
ADC DE LAZO CERRADO



Después de realizada la conversión, la salida digital pasa por un convertidor digital-analógico que la vuelve a convertir en analógica.

Estas dos señales se comparan, de forma que la conversión no termina hasta que las dos señales son iguales.

ADC DE RAMPA EN ESCALERA



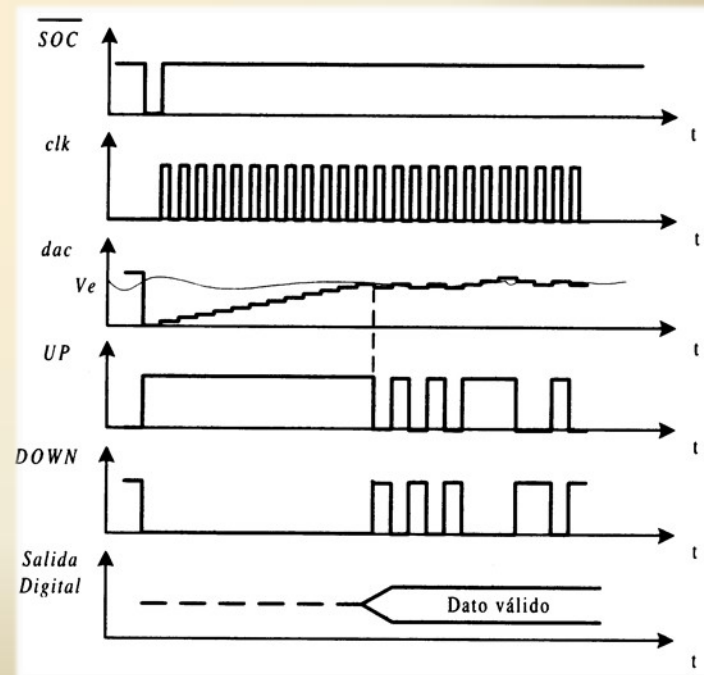
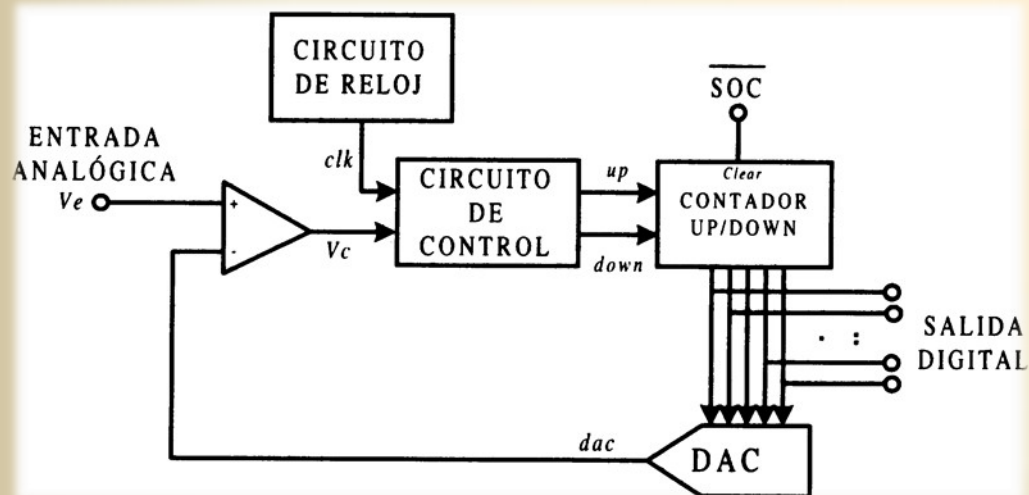
Es similar en su filosofía al de rampa simple, pero en lugar de generar una rampa lineal lo hace en escalera con un contador y un DAC.

A/D

ADC CONTINUO

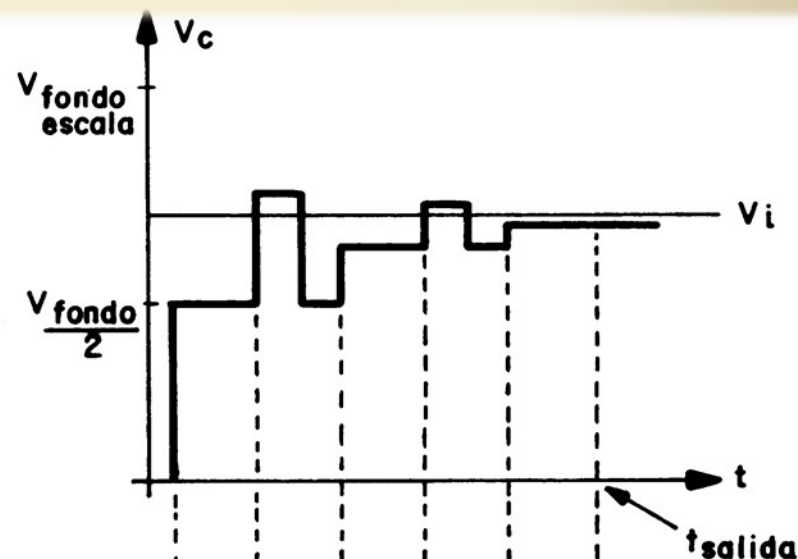
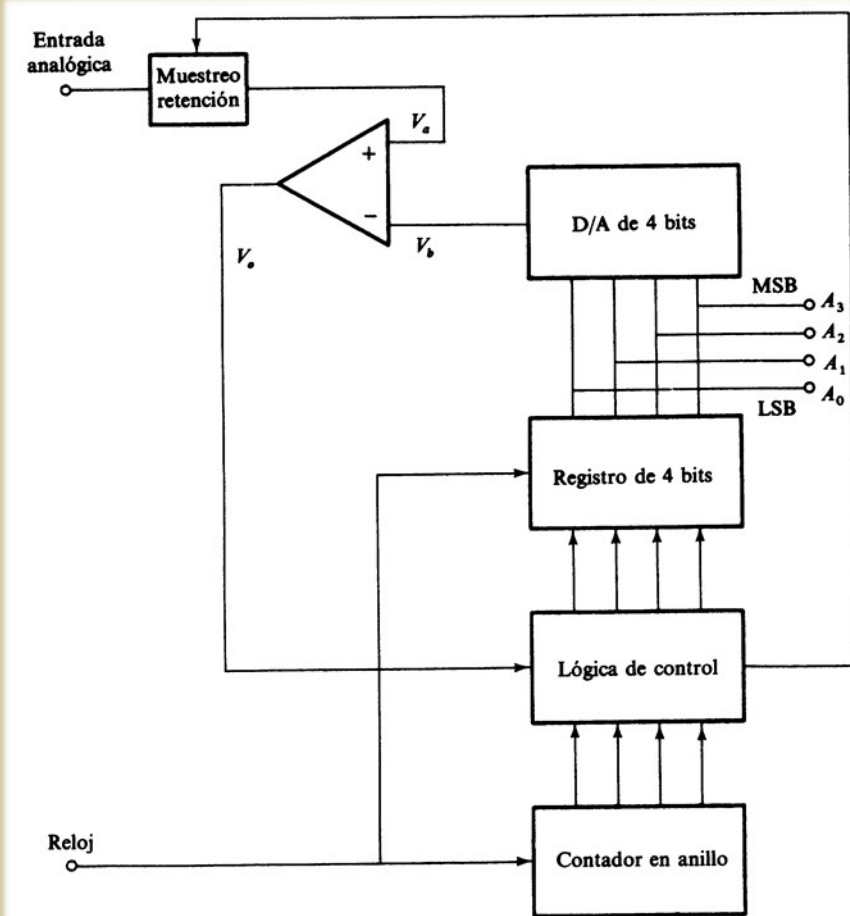
D/A

No difiere mucho del anterior. Se sustituye el contador por un contador cuenta-descuenta. De esta forma la salida del comparador decide si el contador debe contar o descontar. Es más rápido que el anterior.



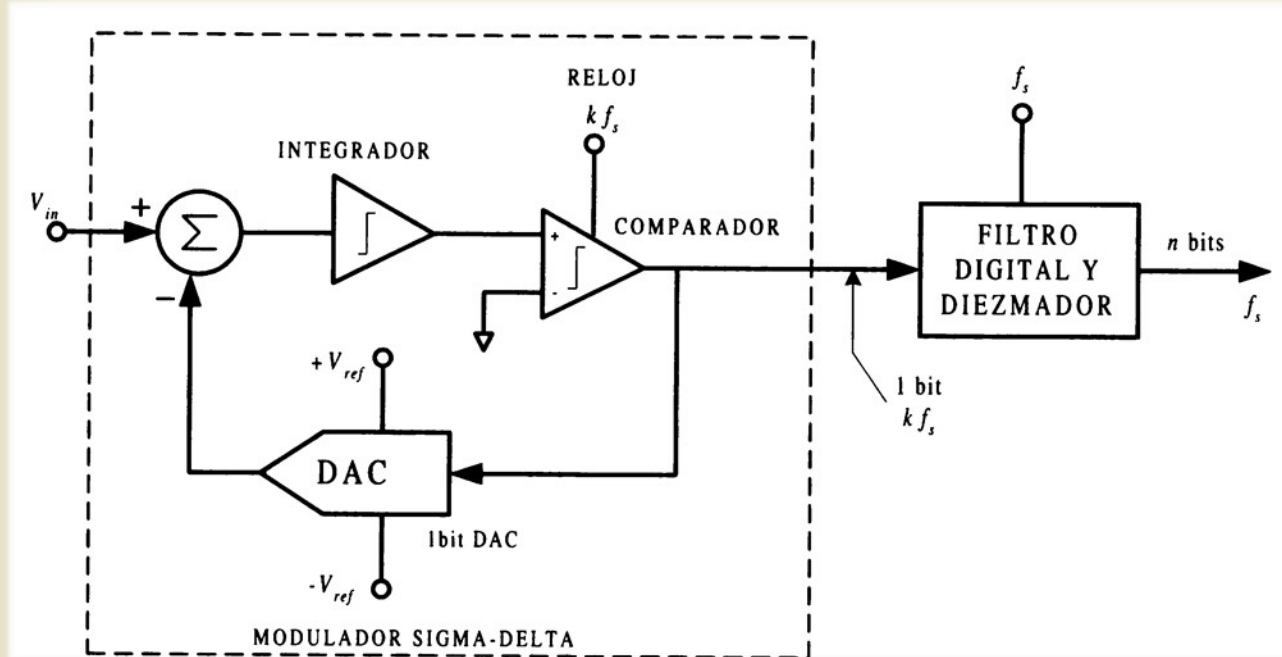
CONVERTIDORES

El elemento diferencial es un Registro de Aproximaciones Sucesivas



Bit 4 (MSB)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bit 3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Bit 2	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Bit 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Bit 0 (LSB)	0	0	0	0	0	0	0	1	1

ADC SIGMA DELTA

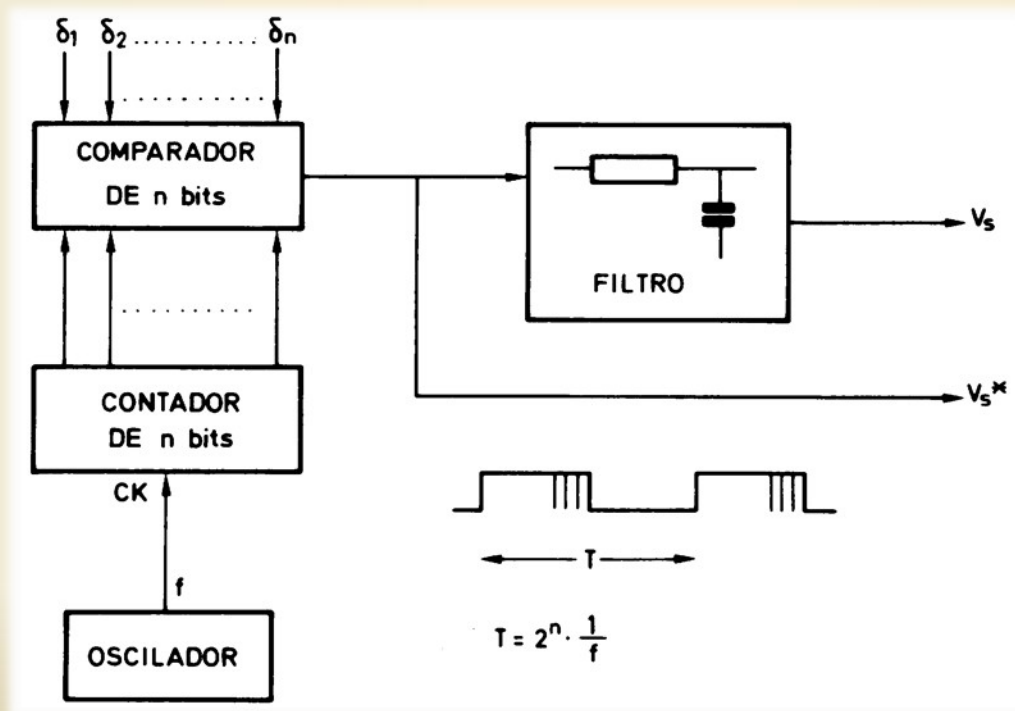


Se usa en aplicaciones de alta velocidad y gran número de bits de salida.

La conversión se hace con un solo bit a alta velocidad. El filtro diezmador (o decimador) a la salida amplía el número de bits.

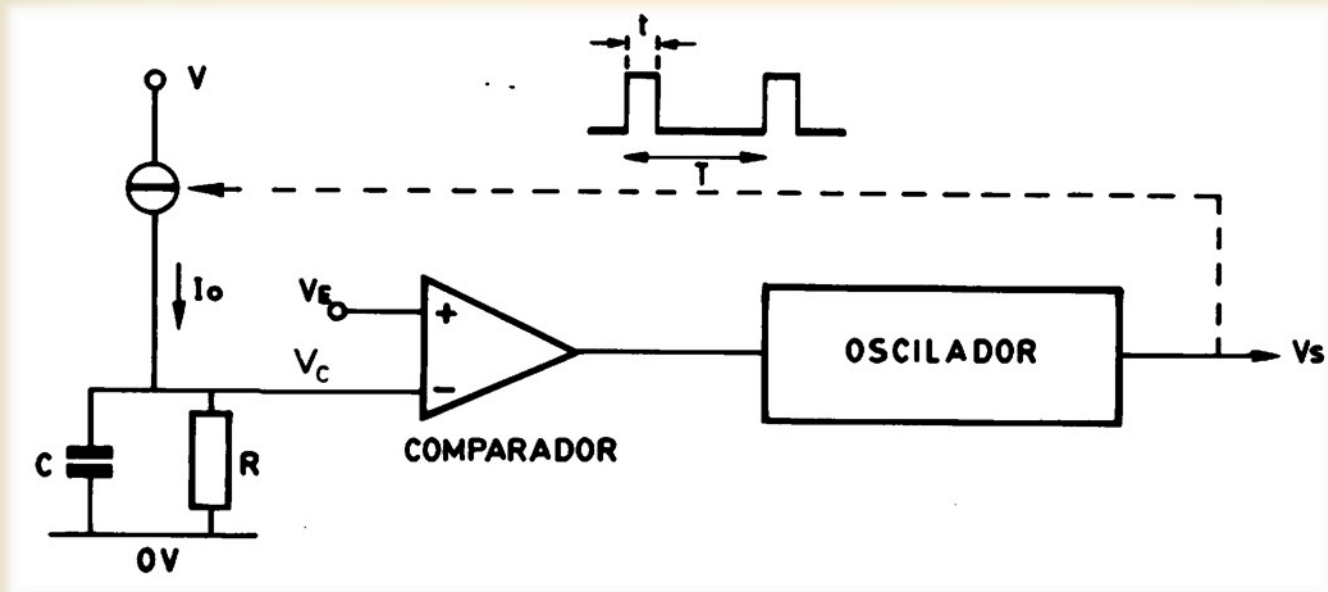
ADC MODULADOR DE ANCHURA DE PULSO

La señal de salida puede tener forma de unos y ceros, pero no tener el formato de un código digital. En este caso, la forma de indicar el valor de entrada es variando el ancho del pulso digital de salida. PWM.

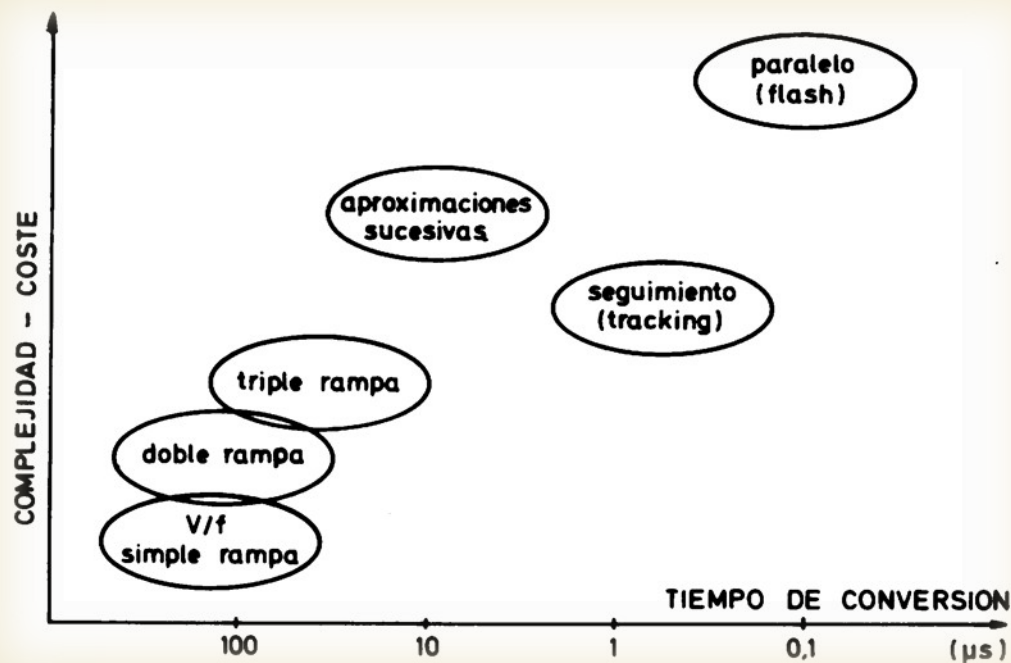


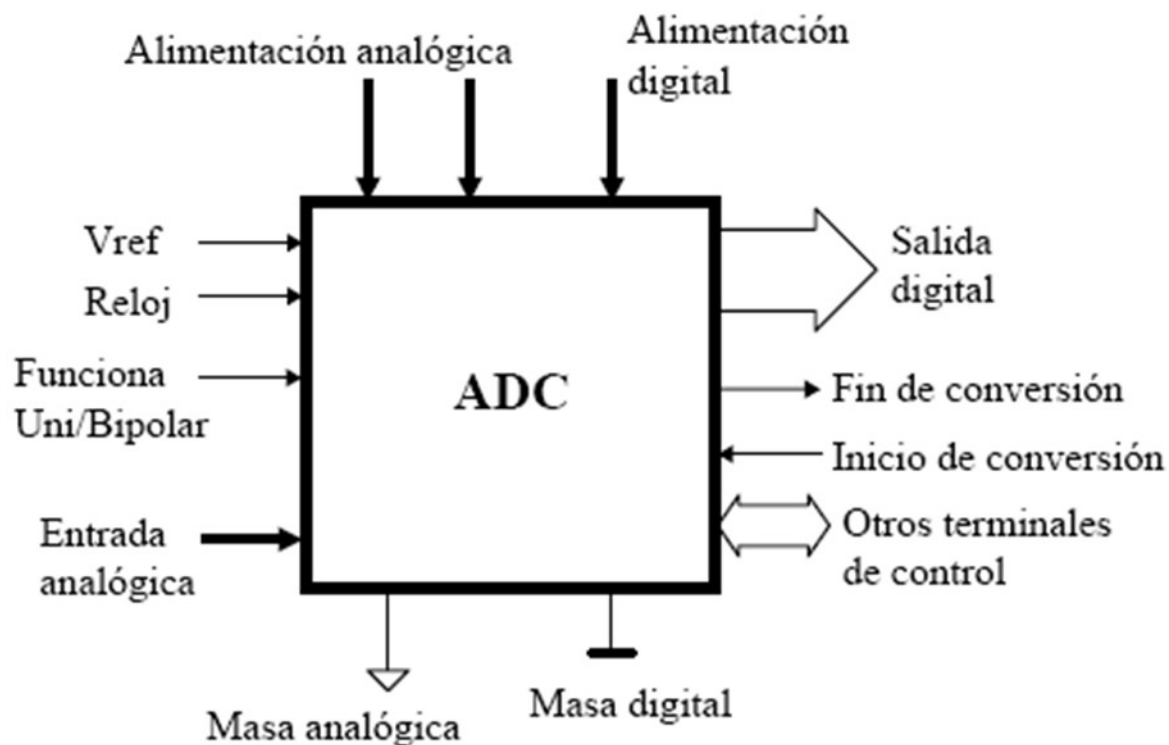
CONVERTIDOR TENSIÓN-FRECUENCIA

Es una forma de conversión en que la frecuencia de salida es proporcional a la tensión de entrada. Se consigue con un oscilador controlado por tensión.



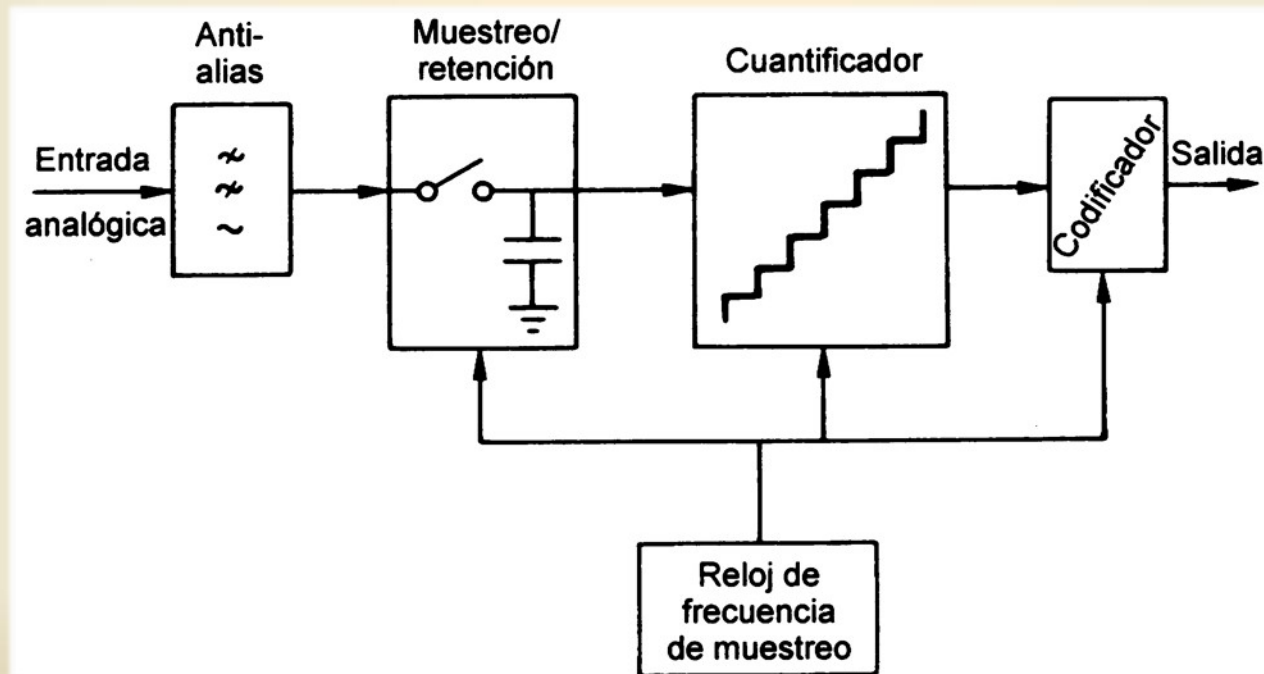
COMPARATIVA DE CONVERTIDORES





EJEMPLO TIPO DE UN DAC DE SONIDO

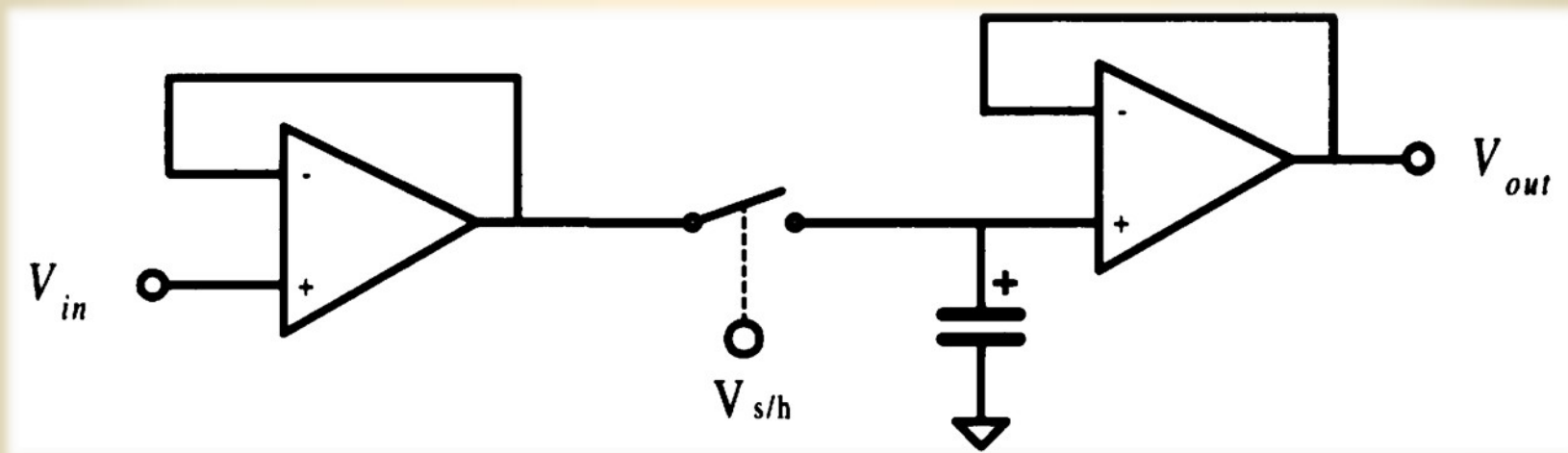
Los circuitos que hemos visto hasta ahora, no son en realidad convertidores, sino solamente una parte de ellos, cuantificadores. Un convertidor para una señal variable puede constar de los siguientes elementos:



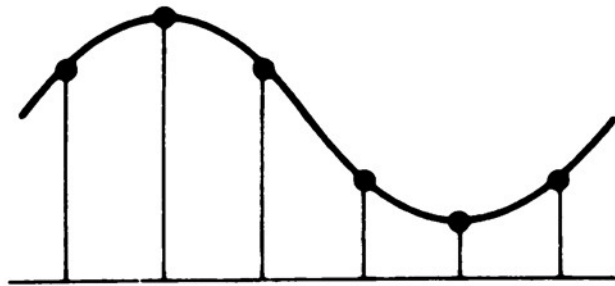
CIRCUITO DE MUESTREO Y RETENCIÓN

Dado que la señal de entrada está cambiando y que el cuantificador necesita un tiempo para hacer la conversión, lo que hacemos es convertir solamente unos cuantos puntos de la señal, lo que se consigue con un circuito de muestreo y retención.

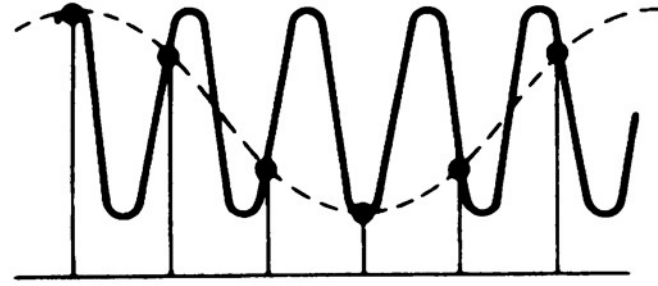
Según el teorema de Nyquist, para que la señal de salida sea comprensible y reflejo de la entrada, la frecuencia de muestreo debe ser al menos del doble de la máxima frecuencia de entrada.



EFFECTO ALIASING



(a)



(b)

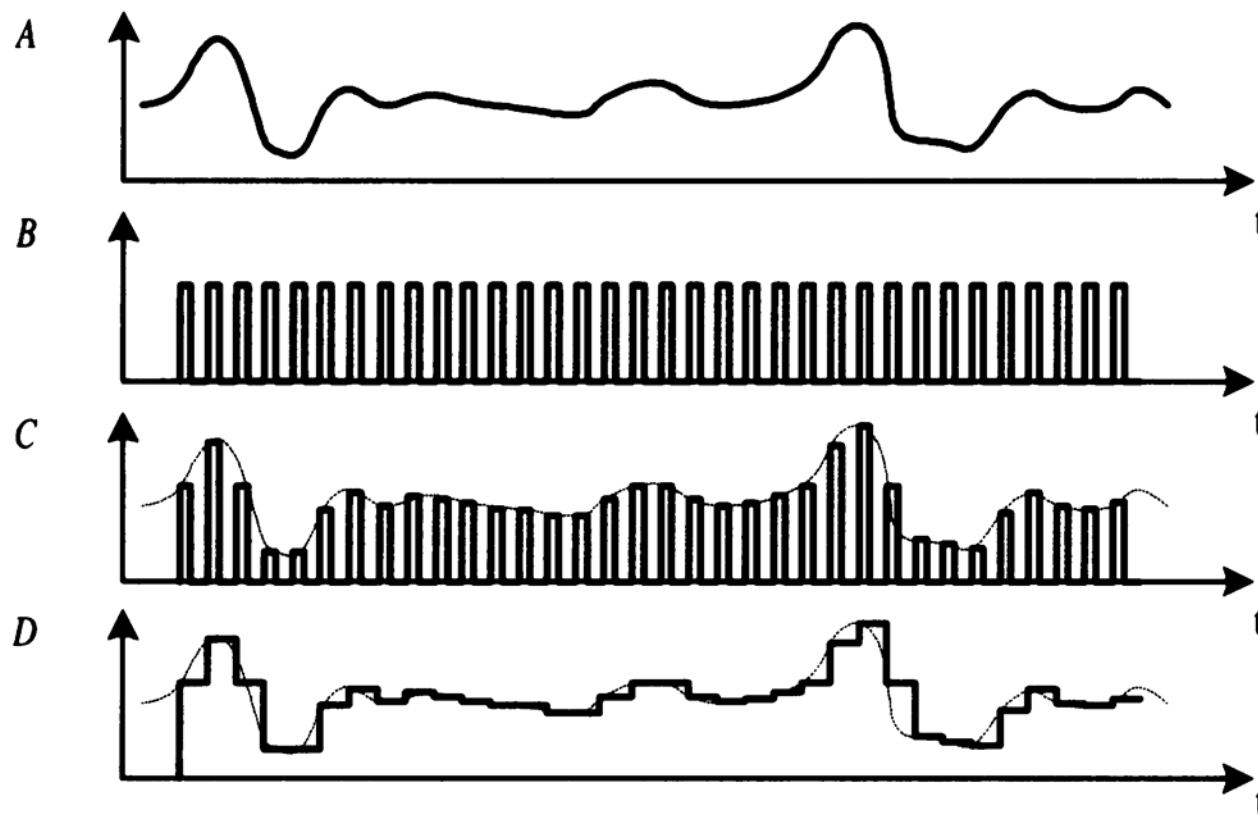
Una señal explorada a intervalos iguales dará lugar a una secuencia de puntos, que unidos deben reproducir aproximadamente la señal original, como ocurre en la señal a.

Si a esos mismos intervalos exploramos una señal de mucha mayor frecuencia, b, la secuencia de puntos explorados pueden darnos una señal muy distinta de la original, es lo que se llama el efecto alias o aliasing.

Para que este efecto no se produzca, la señal de entrada debe ser menor que la mitad de la frecuencia de muestreo (para que cada ciclo de la señal de entrada se explore al menos dos veces). Por eso en la entrada de los circuitos se pone un filtro (anti alias), que limita la frecuencia de entrada a la mitad de la de muestreo.

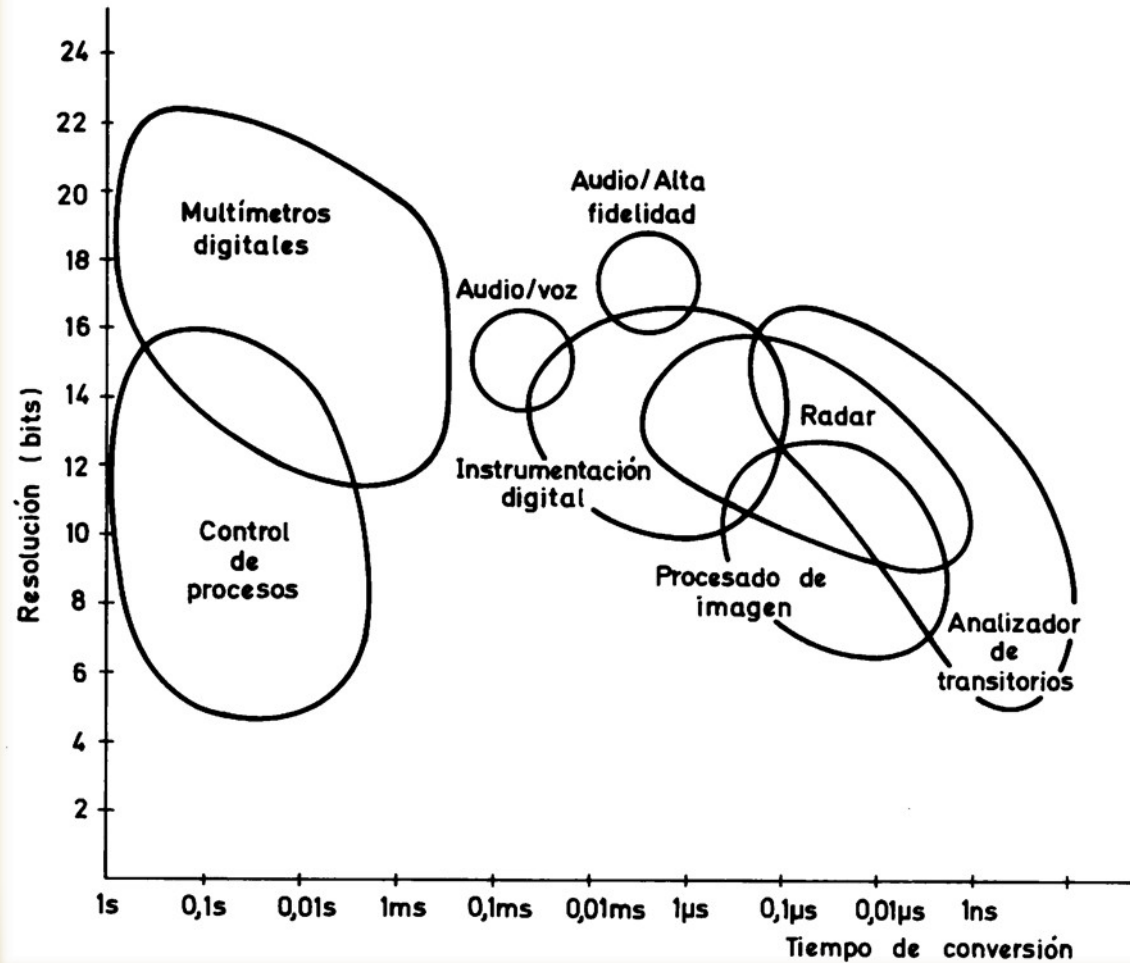
CONVERTIDORES

PROCESO DE MUESTREO Y RETENCIÓN



- A.- Señal de entrada
- B.- Frecuencia de muestreo
- C.- Señal muestreada
- D.- Señal retenida

CRITERIOS DE SELECCIÓN



A/D

D/A

CIRCUITOS INTEGRADOS

FABRICANTE	DENOMINACIÓN	Tc	BITS A/D	CANAL	BITS D/A	TÉCNICA
Analog Devices	AD570	20 μ s	8	1		Aprox. Suc.
	AD1170	1ms	12	1		Rampa
Cristal Semiconductor	CS5316	62,5 μ s	16	1		Delta-Sigma
Ferranti	ZN433	1 μ s/bit	10	1		Seguimiento
Intersil	7109	0,1-15Hz	12	1		Doble rampa
Motorola	MC14433	300 μ s	8	1		Simple rampa
National	ADC0808	100 μ s/can	8	8		Aprox.Suc.
	ADC1205	100 μ s	13	8		Mixta
	ADC12181	10MHz	12	1		Pipelined
Texas	TLC5503-2	25MHz	8	1		Flash
	TLC1125	12 μ s	12+Sig	1		RAS
	TCL7135C	20ms	4½Digit	1		Doble rampa
Cirrus Logic	CS5396	100KHz	24	2		Delta-Sigma
AMD	6080	0,16 μ s		1	8	Res.Ponder.
	6112	7 μ s		1	12	Red.Ponder.
Analog Devices	AD7524	0,1 μ s		1	8	R-2R
GI	DAC1600	0,3 μ s		2	10	Ancho. Pulso
Harris	HI5680	0,6 μ s		1	12	R-2R
Texas	TLC32044M	19,2KHz	16	1	14	
	LM2907					Frecuencia-tensión
TelCom	9400 V/F					Tensión - Frecuencia

CONVERTIDORES