



Convertidores A-D

Programa:

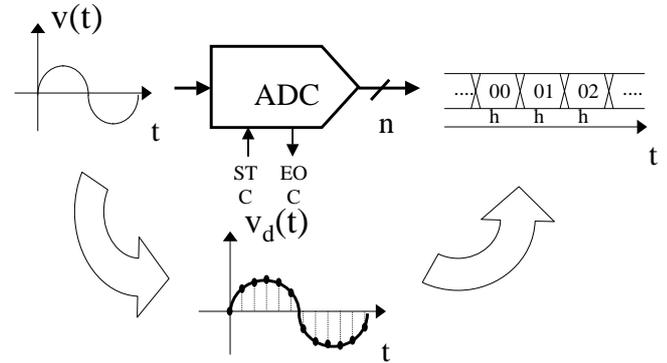
- ✓ Introducción.
- ✓ Características.
- ✓ Técnicas de Conversión A - D:
 - Basados en convertidores D-A.
 - Simultáneo.
 - Integrador.

Bibliografía:

❖ Cap 12 de "Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits" de Sergio Franco.



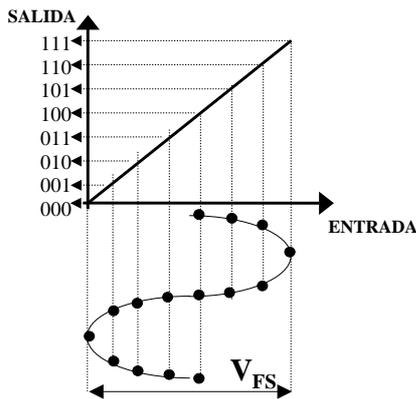
Principios de funcionamiento



- ☞ A cada nivel de la señal de la entrada se le asigna un código binario de salida



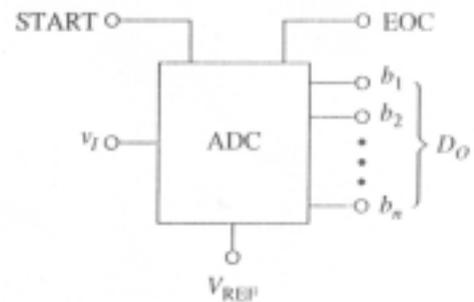
Principios de funcionamiento



- ☞ A cada nivel de la señal de la entrada se le asigna un código binario de salida
- ☞ Cuantos más niveles (N) se desee codificar, más bits (n) deberá tener el código empleado ($n \geq \log_2 N$)
- ☞ La entrada sólo podrá variar entre determinados valores (V_{FSR})



Principios de funcionamiento



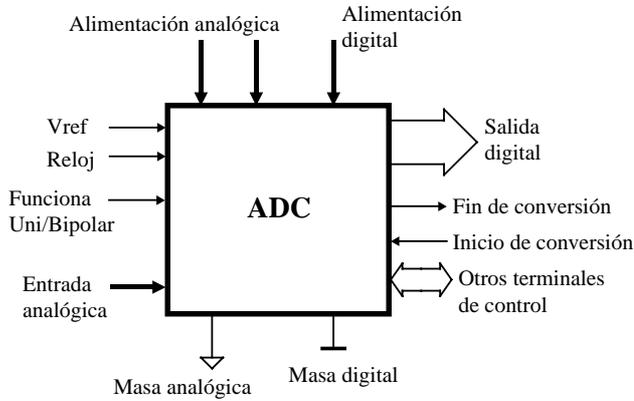
$$D_o = v_I \frac{1}{K \cdot V_{ref}} = v_I \frac{1}{V_{FSR}}$$

Ejemplo:

$$n=3 \quad V_{FSR}=8V \quad v_I(t)=4V \quad \Rightarrow \quad D = 0.5 = \frac{B}{2^n} \Rightarrow B = 100$$



Principios de funcionamiento



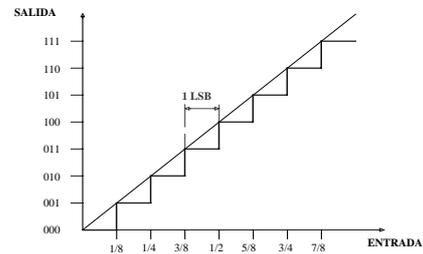
Convertidor Analógico-Digital



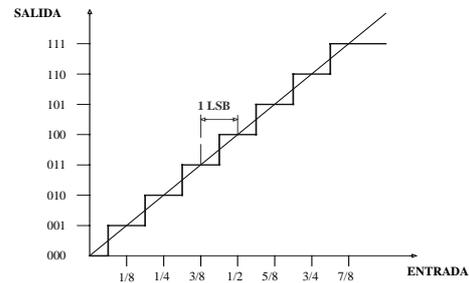
Principios de funcionamiento

Función de transferencia

Cuantificación por "truncamiento"



Cuantificación por "redondeo"



Convertidor Analógico-Digital



Características

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.

Para "n" bits $\Rightarrow \frac{1}{2^N} \cdot 100(\%)$



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

Rango dinámico de entrada:

Margen de tensión máximo a la entrada del ADC.

El margen puede ser:

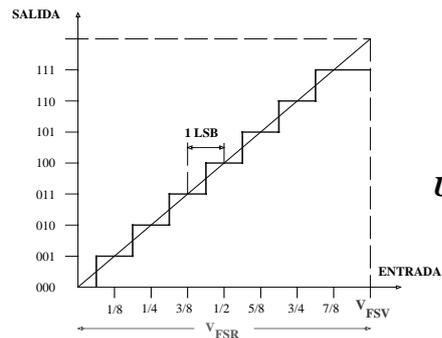
UNIPOLAR: $0 \leftarrow V_I \Rightarrow +V_{FSV}$

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

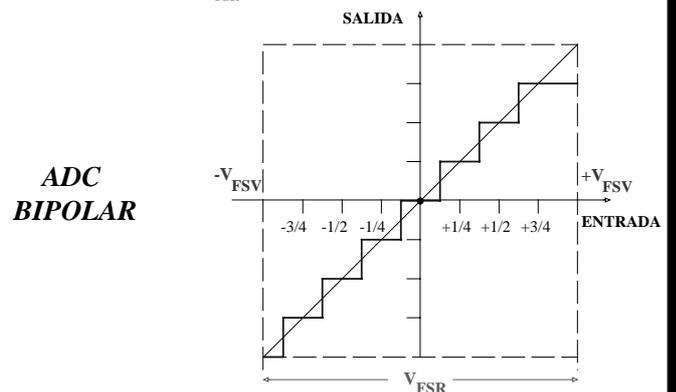
Convertidor Analógico-Digital



Rango dinámico de entrada:



ADC UNIPOLAR



ADC BIPOLAR

Convertidor Analógico-Digital



● **Códigos de salida:**

LOS MÁS UTILIZADOS SON:

- UNIPOLARES

- Binario natural (Straight Binary)
- BCD (Binary Coded Decimal)

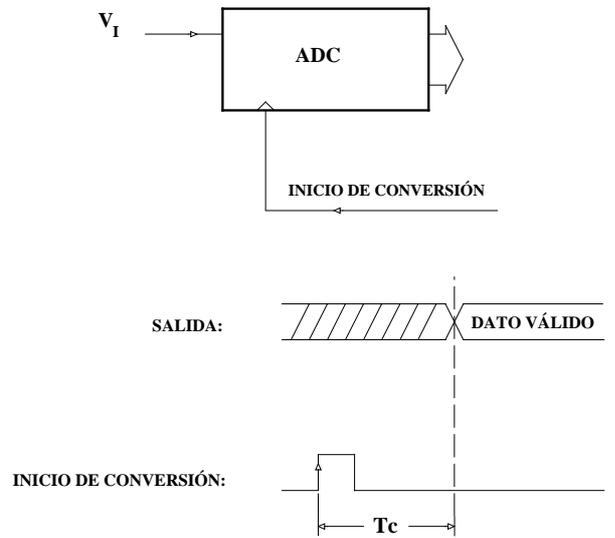
- BIPOLARES

- Binario natural con valor absoluto y signo (Sign Plus Magnitud)
- Binario natural en complemento a dos (Two's Complement)
- Binario natural desplazado (Offset Binary)

"TAMBIÉN EXISTEN LOS ANTERIORES CÓDIGOS COMPLEMENTADOS"



● **Tiempo de conversión (Tc):**

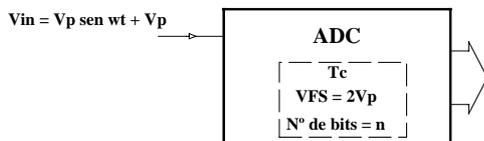


Valores típicos: $10\text{ns} \leq T_c \leq 10\text{ms}$

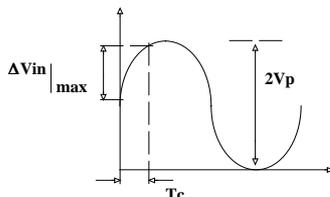


INFLUENCIA DEL T_c

En la siguiente situación:



¿Cuál es la máxima variación de V_{in} durante el T_c ?



$$\Delta V_{in}|_{max} = \frac{1}{2} LSB$$



como:
$$\frac{\Delta V_{in}|_{max}}{T_c} = \left. \frac{dV_{in}}{dt} \right|_{max}$$

entonces:

$$\Delta V_{in}|_{max} = \text{ERROR DE APERTURA} = V_p \cdot 2\pi \cdot f \cdot T_c = \frac{1}{2} LSB$$

luego:

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



EJEMPLO

El AD572 tiene:

- n = 12 bits.
- Tc = 25µs

Con:

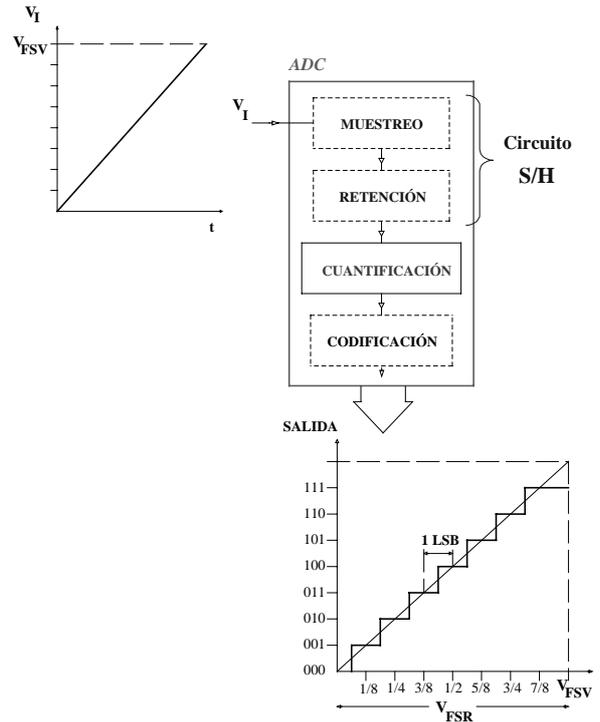
$$V_{in} = \frac{V_{FSV}}{2} \cdot \text{sen}\omega t + \frac{V_{FSV}}{2}$$

Para no cometer error de apertura mayor de 1/2LSB:

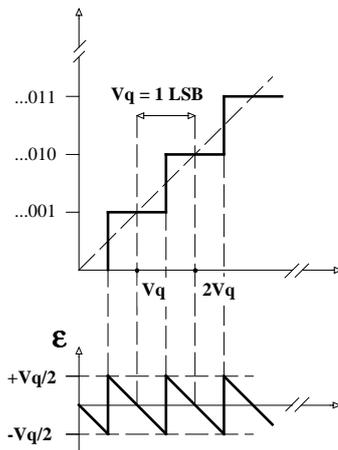
$$f_{max} = 1.5 \text{ Hz}$$



Operaciones en la conversión A-D:



Error de cuantificación:



$$\epsilon = V_s - V_e$$

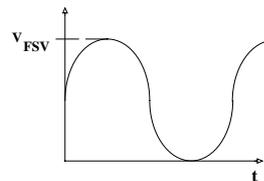
CARACTERÍSTICAS:

- Es inevitable.
- Dado una V_{FSR}: a mayor n ⇒ menor ε



Relación (S/N) a la salida de un ADC:

Señal:



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

Ruido:



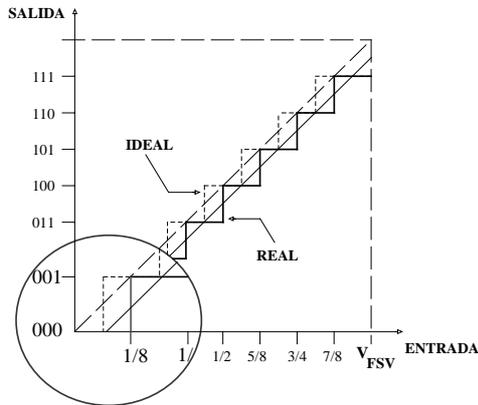
$$V_{N|RMS} = \frac{Vq}{\sqrt{12}} = Eq$$

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



● Error de offset:

Se presenta cuando la característica del ADC está desplazada respecto de la del ideal



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

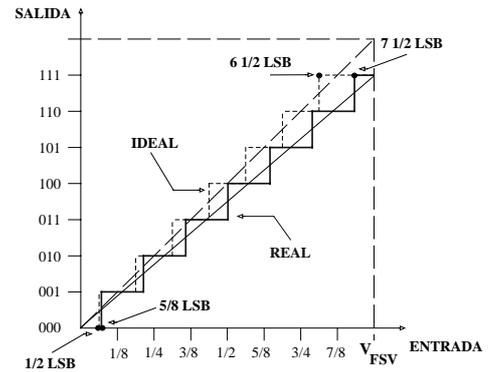
EN LA FIGURA:

$$V_{off} (error) = 1LSB - \frac{1}{2} LSB = \frac{1}{2} LSB \text{ ó } 6.25\% FSR$$



● Error de ganancia:

Se presenta cuando las funciones de transferencia real e ideal tienen pendientes diferentes



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

EN LA FIGURA:

$$(V_{ut} - V_{pt})_{IDEAL} = 6\frac{1}{2} LSB - \frac{1}{2} LSB = 6LSB$$

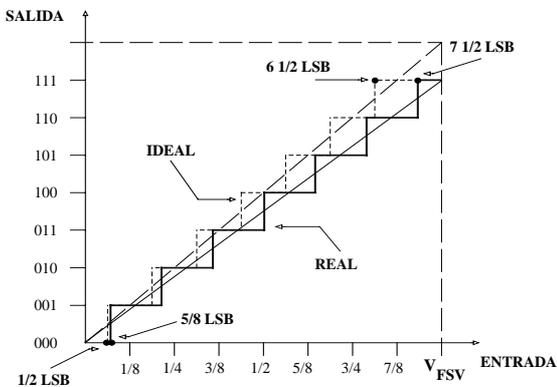
$$(V_{ut} - V_{pt})_{REAL} = 7\frac{1}{2} LSB - \frac{5}{8} LSB = \frac{55}{8} LSB$$

$$E.G. = 6LSB - \frac{55}{8} LSB = -\frac{7}{8} LSB \text{ ó } -10,94\% FSR$$



● Error de fondo de escala:

Error de fondo de escala =
= error de ganancia - offset



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



Ejemplo de ajuste del error de offset y ganancia unipolar:

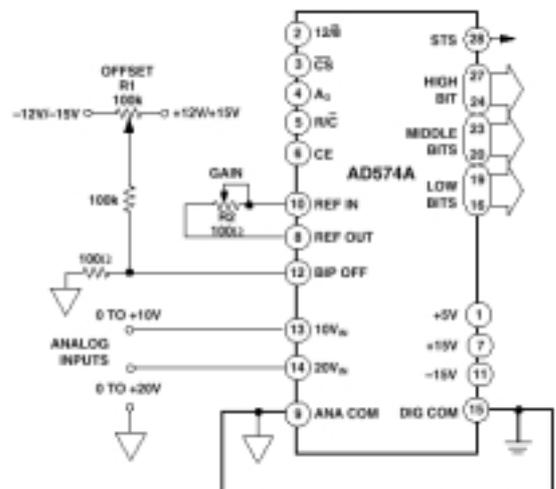


Figure 4. Unipolar Input Connections



Ejemplo de ajuste del error de offset y ganancia bipolar:

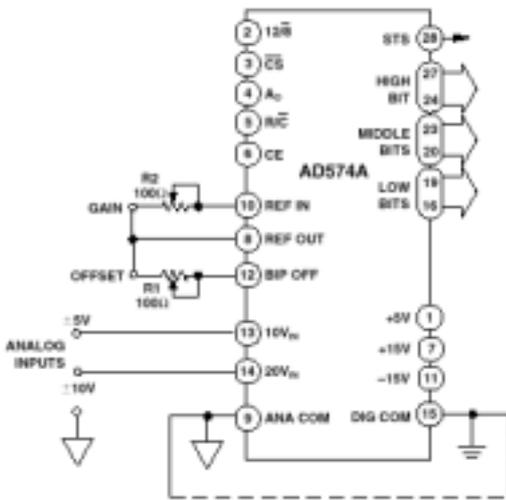
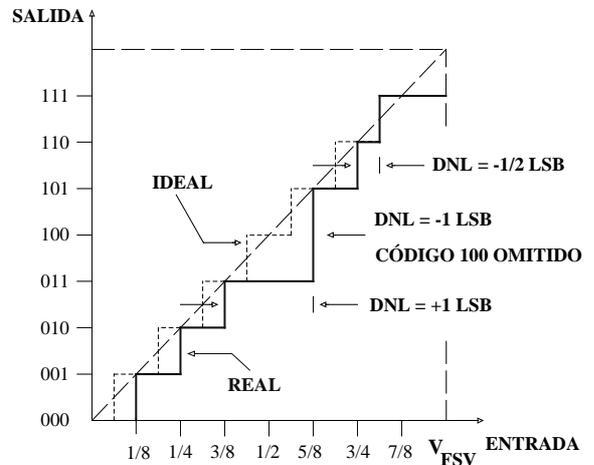


Figure 5. Bipolar Input Connections



Error de no linealidad diferencial:

Es la diferencia entre el ancho real de un código y el ideal.



$$DNL = W_{REAL} - W_{IDEAL}$$

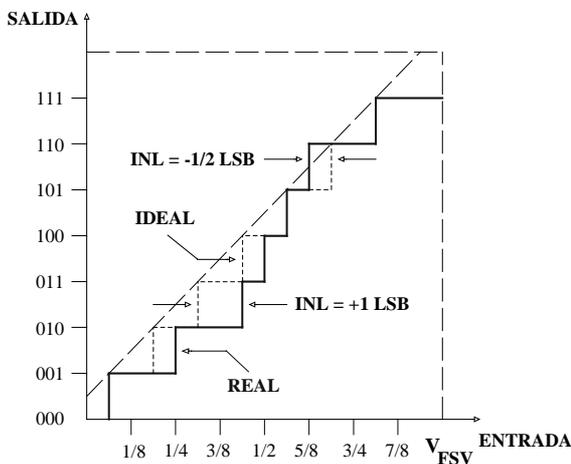
SI DNL = -1 LSB ⇒ OMISIÓN DE CÓDIGO



Error de no linealidad integral:

Es la desviación entre la función de transferencia real y la ideal.

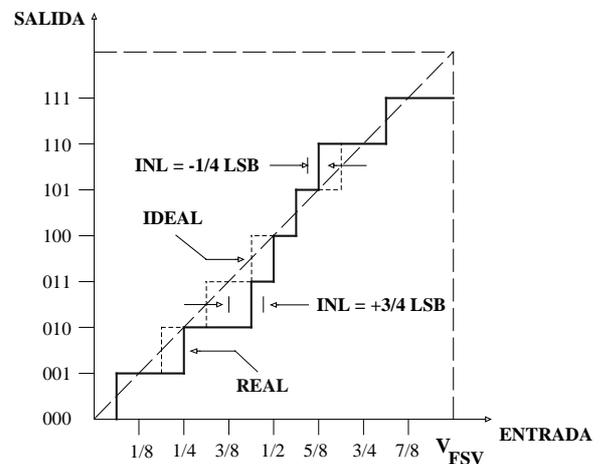
LOW-SIDE TRANSITION



Error de no linealidad integral:

Es la desviación entre la función de transferencia real y la ideal.

CENTER OF CODE





Nº de bits efectivos de un ADC: ENOB

Para un ADC con las siguientes especificaciones:

$V_{FSR}=10.24V$ y $n=10$ bits

Se tiene:

- Ruido de cuantificación: $E_q = \frac{V_{FSR}}{2^n \sqrt{12}} = 2.89mV$

- SNR_{max} suponiendo ADC ideal:

$SNR_{max} = 6.02n + 1.76 = 61.96 \text{ dB}$

- Si $SNR_{real}=56 \text{ dB}$, ¿cuál es el número de bits efectivos del ADC?

$ENOB = \frac{SNR_{real} - 1.76}{6.02} = 9.01 \text{ bits}$



Ejercicio

Se aplica una señal sinusoidal que cubre todo el rango dinámico de entrada de un ADC de 12 bits. Tras realizar un análisis de la señal digital de salida se observa que el tono fundamental de ésta tiene una potencia normalizada de 1W y el resto de armónicos de $0.6\mu W$. Se pide:

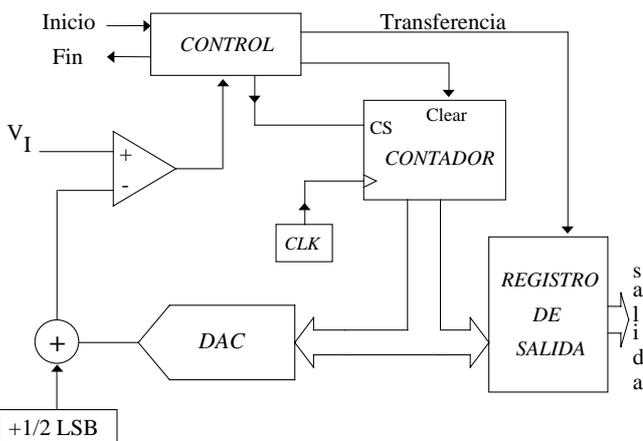
A.- ¿Cuál es el número efectivo de bits del convertidor?

B.- Calcular la SNR si la senoide de entrada se reduce a la centésima parte del rango de fondo de escala de entrada del convertidor.



Técnicas de conversión A-D

● ADC basado en un DAC: Con rampa en escalera



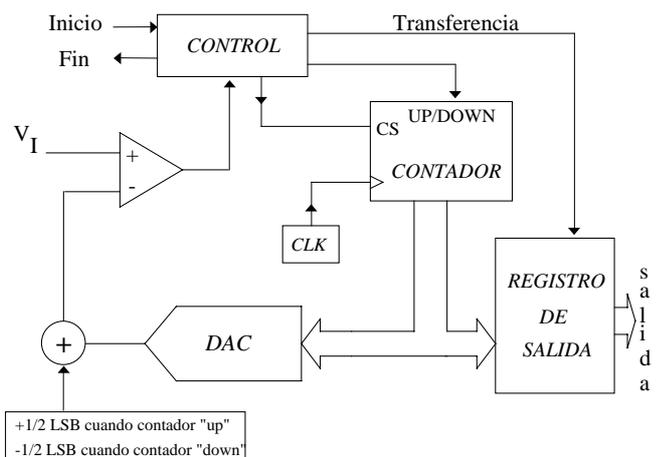
o Válido para aplicaciones de baja velocidad.

o Inconvenientes:

- El T_c depende del valor de V_I
- El $T_{c(max)} = (2^n - 1) \cdot T_{CLK}$



● ADC basado en un DAC: Con rampa continua



o Para V_I de variación lenta \Rightarrow Más rápido.

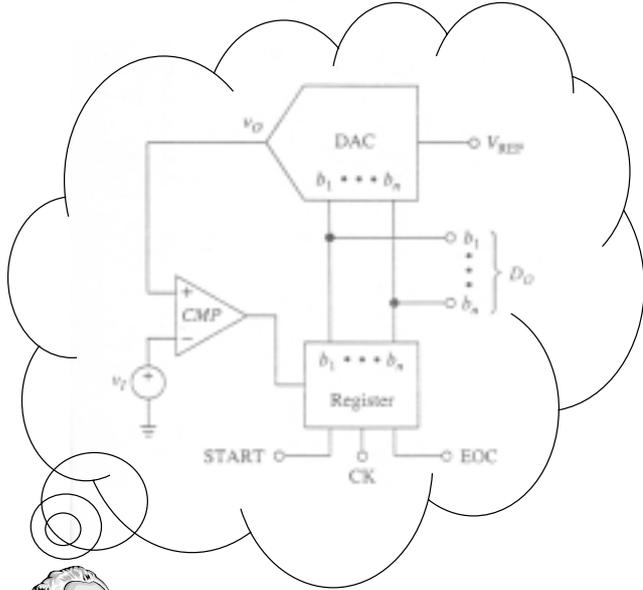
o Llamados: "Tracking" o "Servo Converter"

o Inconvenientes:

- El T_c depende del valor de V_I
- El $T_{c(max)} = (2^n - 1) \cdot T_{CLK}$



● ADC basado en un DAC:
de “Aproximaciones Sucesivas”

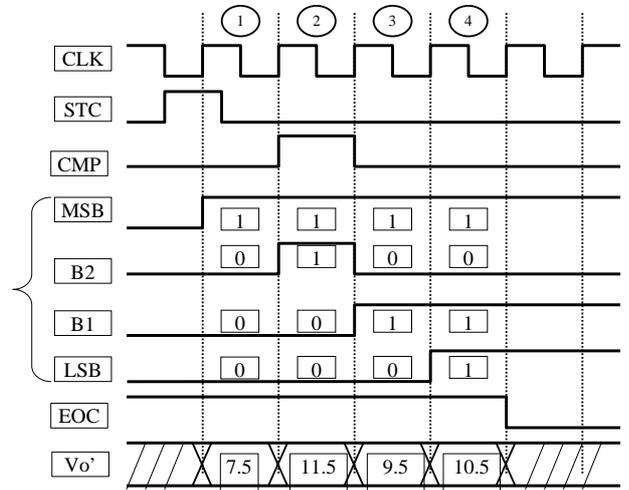


o ¿ Podríamos aplicar al DAC códigos de manera más inteligente que en los casos anteriores?



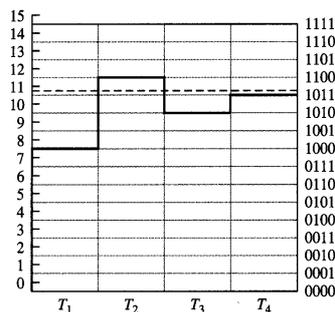
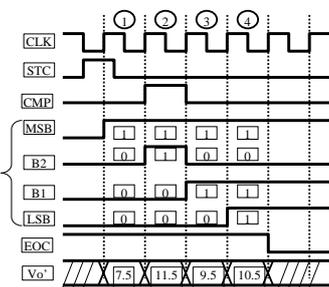
● ADC basado en un DAC:
de “Aproximaciones Sucesivas”

Funcionamiento ($n=4$, $V_{FSR}=16$ V, $v_I=10.8$ V)



● ADC basado en un DAC:
de “Aproximaciones Sucesivas”

Funcionamiento ($n=4$, $V_{FSR}=16$ V, $v_I=10.8$ V)



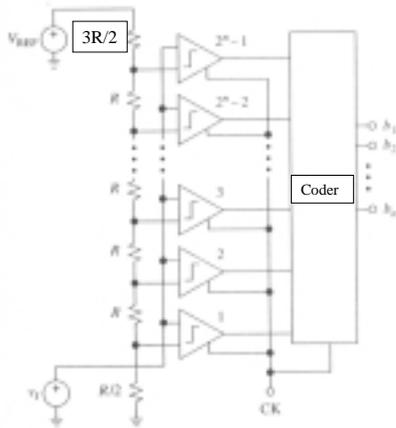
● ADC basado en un DAC:
de “Aproximaciones Sucesivas”

o Características más relevantes:

- Muy empleados (especialmente con μ Procesadores)
- Alta resolución: 16 bits.
- Alta velocidad: $T_c = n \cdot T_{CLK} \approx \mu s$ (en teoría).
- Cada conversión es única e independiente de la anterior.
- Su exactitud, linealidad y velocidad son el resultado directo de las características del DAC (junto con su tensión de referencia) y del A.O.



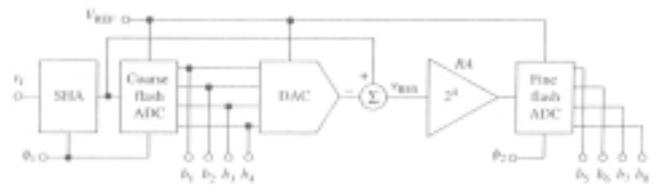
● **ADC Flash**



Su característica principal es la rapidez
 En la práctica esta estructura está limitada a $n \leq 10$ bits



● **ADC de técnica mixta: half-flash**

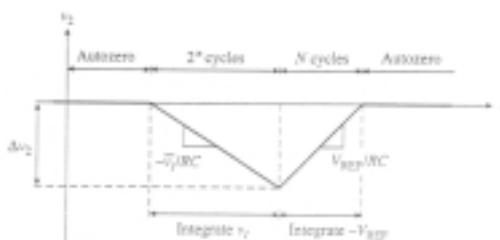
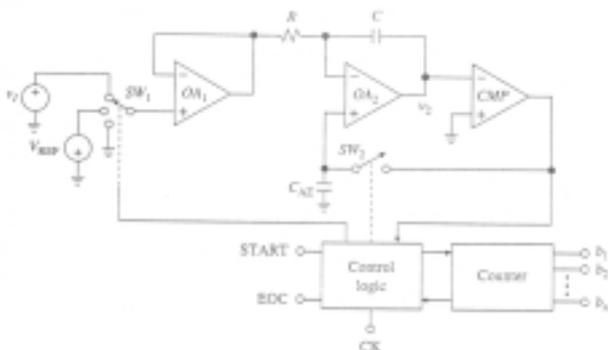


Más lentos que los flash puros pero más rápidos que los basados en SAR.

Emplean un número de comparadores muy inferior a los flash puros.



● **ADC integrador: de carga balanceada**



● **ADC integrador: de carga balanceada**

- o Presentan una excelente linealidad y resolución.
- o Presentan un excelente rechazo al ruido ac.
- o Son muy lentos.
- o Se emplean para realizar medidas de alta exactitud y variación lenta: en multímetros, medida de termopares...
- o Algunos ofrecen códigos de salida para excitar directamente a un LCD o display de LED.