



Instrumentación y Sensores

Interfaces digitales en sistemas de medición

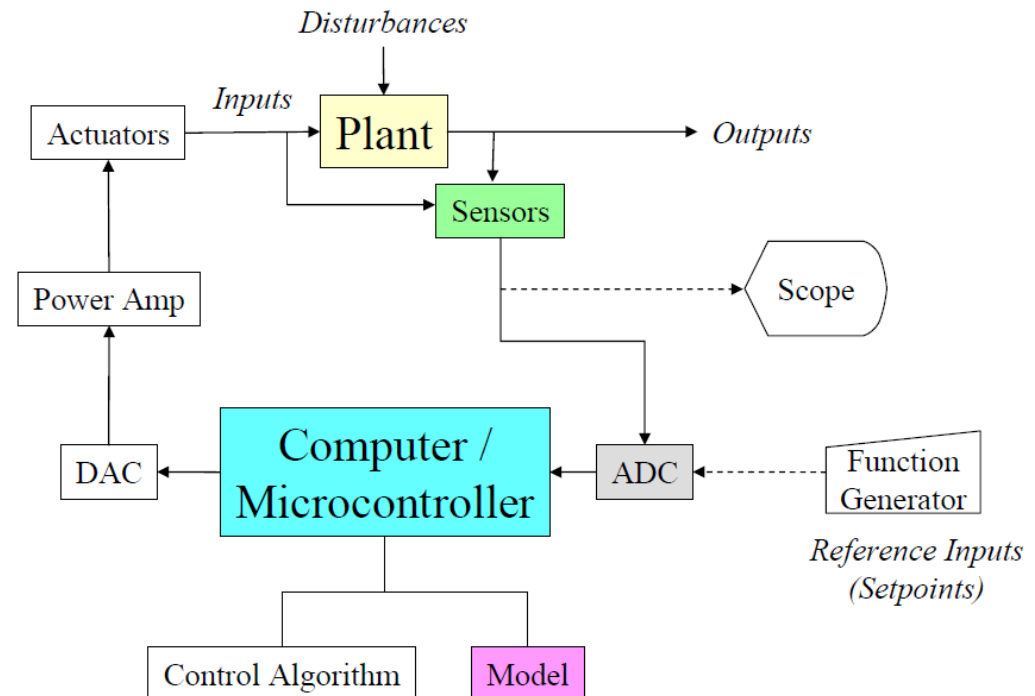


## Introducción

*La creciente automatización de los sistemas de instrumentación, está potenciada por el aumento de las capacidades de la informática industrial y el manejo de grandes cantidades de información*

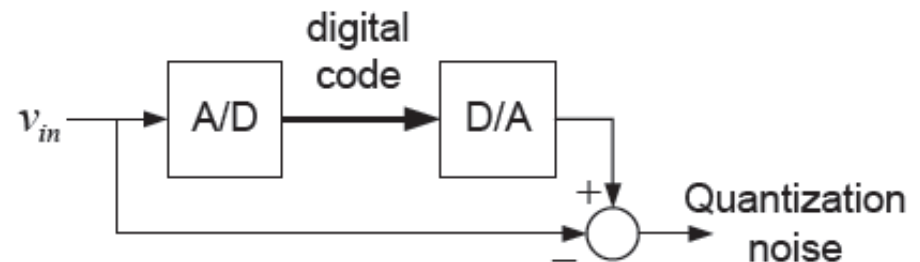
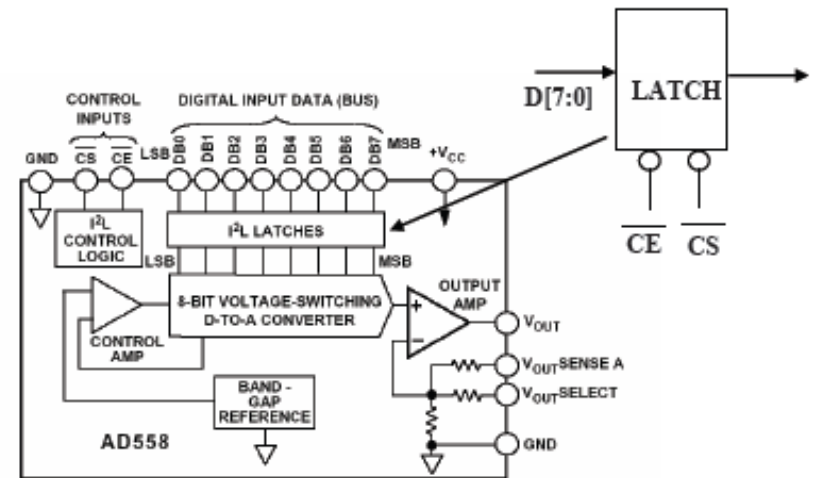
*Los sistemas modernos de Instrumentación desempeñan funciones como:*

- Supervisión de procesos
- Control digital
- Bases de datos en procesos. industriales

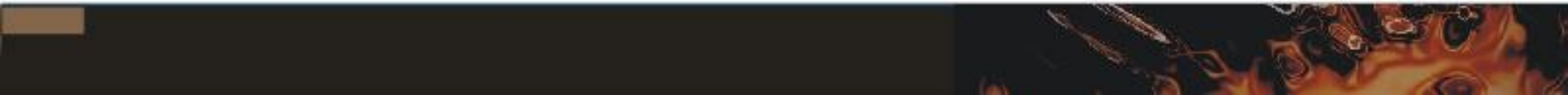


## Objetivos del capítulo:

- Establecer criterios para la selección e implementación de sistemas de conversión A/D y D/A (exactitud, linealidad, resolución, velocidad de conversión, estabilidad).
- Describir el Hardware asociado con la conversión analógica a digital y viceversa.
- Discutir acerca de algunos de los problemas asociados con la digitalización de señales.
- Experimentar con los sistemas de conversión A/D y D/A.

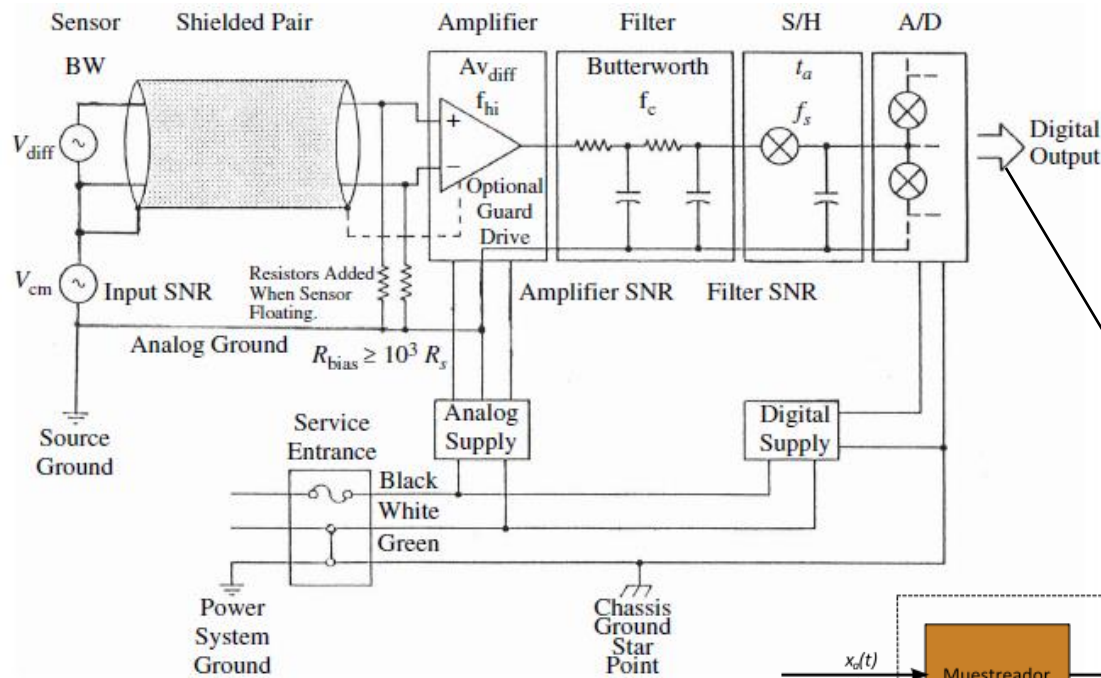


### Introducción

- Los circuitos de conversión de datos, proveen interfaces entre señales en tiempo continuo provenientes de procesos físicos y su equivalente digital en tiempo discreto.
  - Los sistemas de automatización industrial emplean sistemas de conversión Analógica – Digital y Digital – Analógica, para la supervisión, monitoreo y control de procesos de producción industrial y en sectores comercial y de servicios
  - Además de los sistemas A/D y D/A para la construcción de las interfaces, se requieren otros sistemas como los multiplexores analógicos, los sistemas de muestreo y retención de datos .
- 

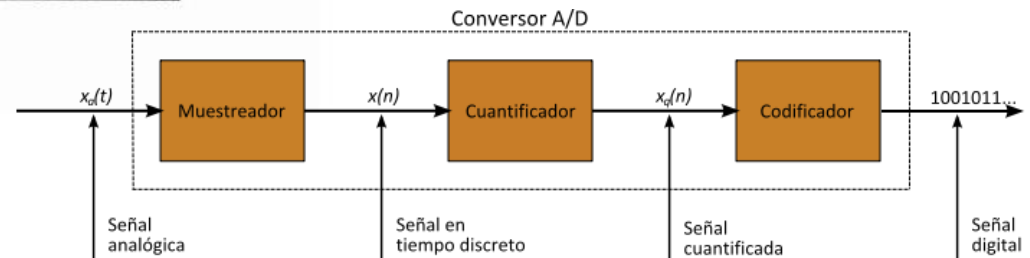
# Conversión de señales

## Arquitectura de un sistema de Medición:



### Etapas del Sistema de conversión

- Muestreo
- Cuantificación
- Codificación

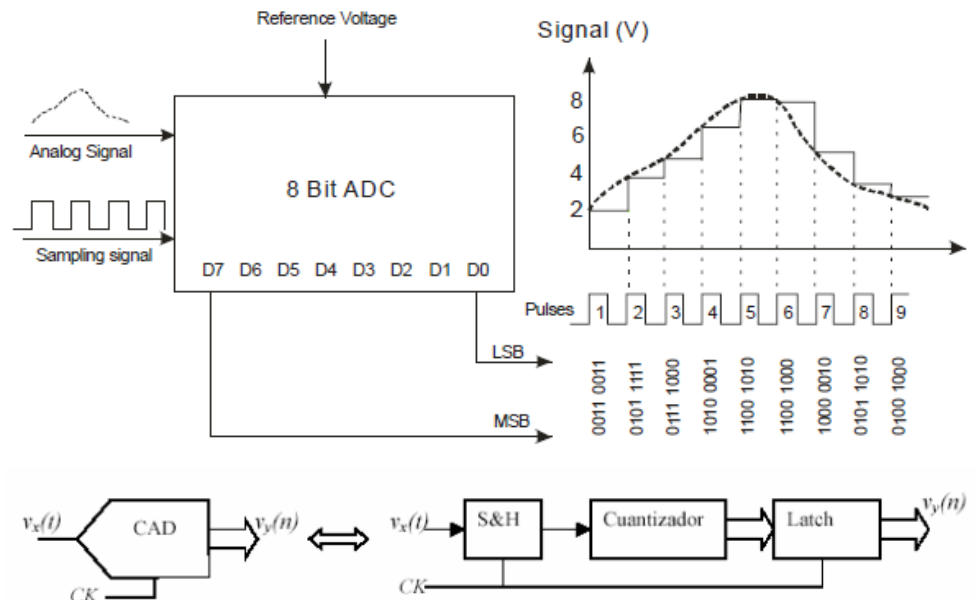




## Conversión Analógico - Digital:

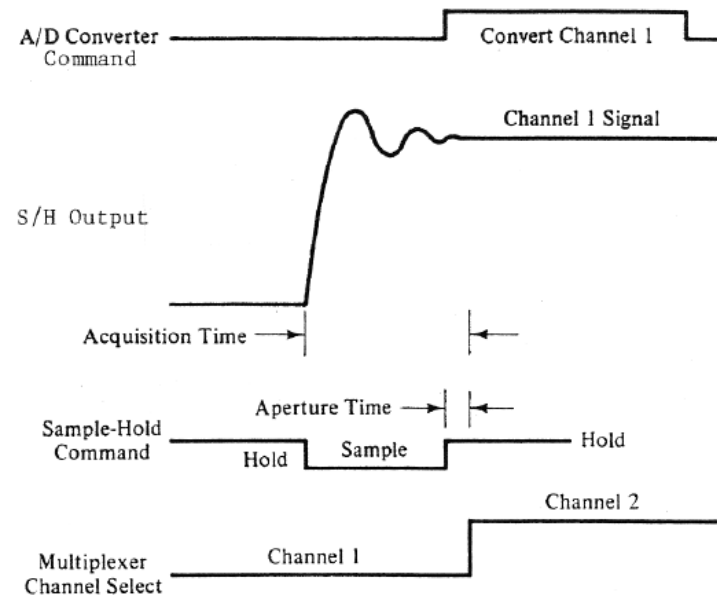
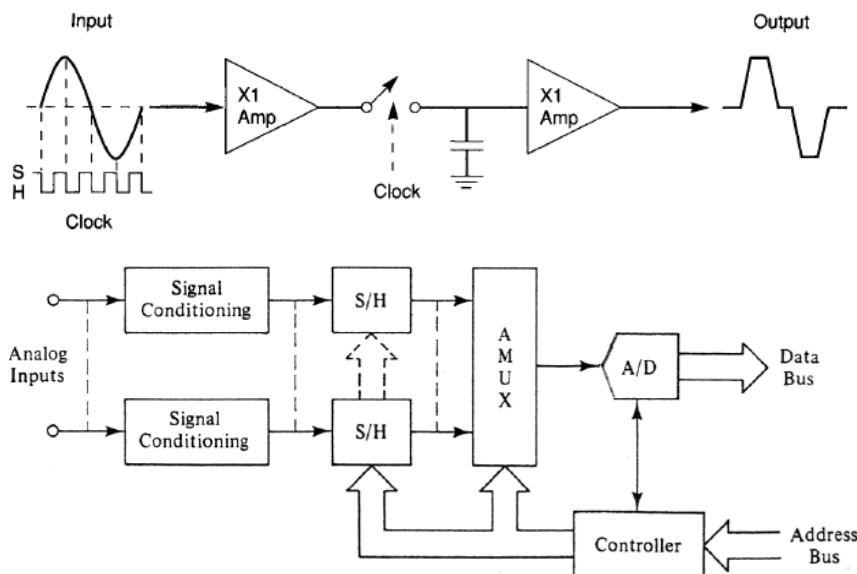
- La conversión Analógico – Digital es el proceso de transformar una señal analógica a un dato en formato digital.
- *La conversión analógica a digital se realiza en tres etapas; muestreo, cuantificación y la codificación.*

1. Una señal analógica tiene una resolución infinita.
2. La señal digitalizada, pierde resolución y presenta al menos error de cuantificación.
3. La función de transferencia para un ADC se convierte en un parámetro irrelevante por la naturaleza de las señales.



## Muestreo y Retención

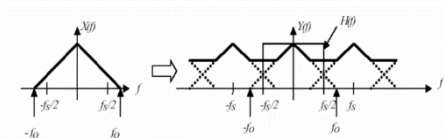
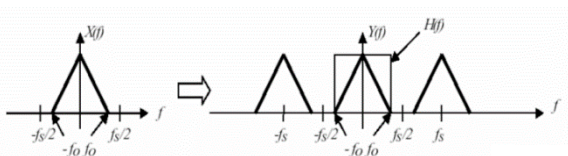
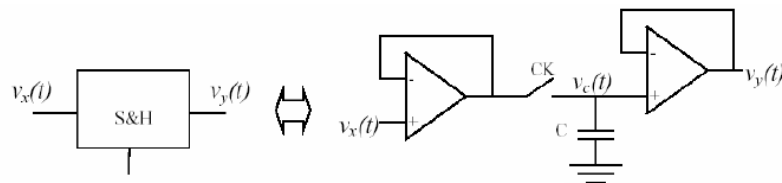
- Muestreo es el proceso de toma de datos puntuales de la señal de entrada en intervalos de tiempo constantes.
- La retención permite mantener la señal de entrada estable, durante el proceso de cuantificación.
- Los circuitos S/H mantienen el datos durante la conversión.



Sistema multiplexado de conversión

## Muestreo y Retención

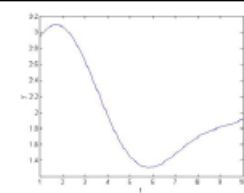
- El muestreo se refiere al proceso de tomar datos de la señal de entrada (Teorema de Nyquist)
- La necesidad de mantener la señal de entrada estable mientras se realiza el proceso de cuantificación.
- Según la topología del conversor A/D se emplean diferentes circuitos S/H.



$$x = \{x(n)\}, \quad -\infty \leq n \leq \infty$$

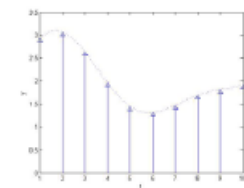
### Continuous time, continuous value.

- Defined for each instant of time and its amplitude may vary continuously with time and assume any value.
  - Signals from transducers
  - Analog signals



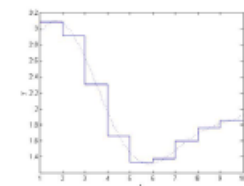
### Discrete time, continuous value.

- Defined at discrete instants of time and its amplitude may vary continuously with time and assume any value



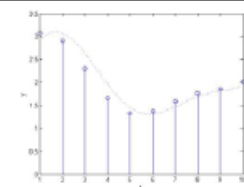
### Continuous time, discrete value.

- Defined for each instant of time and its amplitude may assume discrete values.
  - Signal is sampled at discrete times and the output assumes discrete values



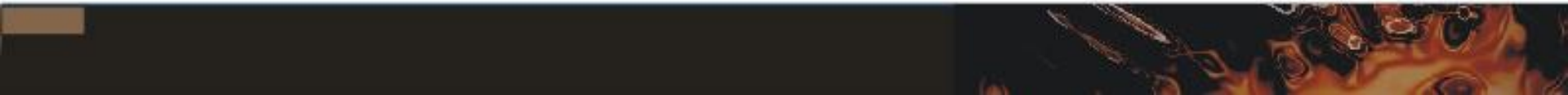
### Discrete time, discrete value.

- Defined at discrete instants of time and its output may assume discrete values
  - Digital signals



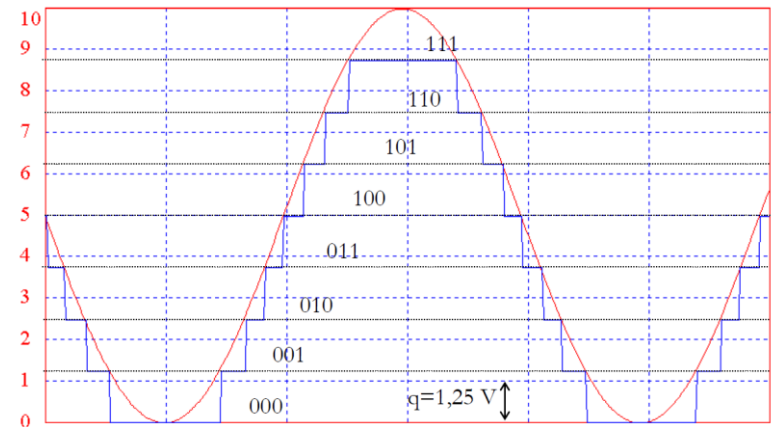


## Conceptos sobre la conversión A/D y D/A

1. El número de Bits ( $n$ ), representa el número de dígitos del código binario al cual será convertida la señal de entrada.
  2. Voltaje escala completa ( $V_{fs}$ ), Valor máximo del voltaje pico a pico de entrada, que puede ser representado en formato digital.
  3. Resolución ( $R$ ): Representa la menor variación de la señal de entrada que puede causar un cambio del código de salida (1 LSB):
  4. ( $V_{in}$ ) un valor instantáneo de entrada al conversor.
  5. Tiempo de conversión: Tiempo necesario para convertir una señal analógica a un código digital.
  6. Error de cuantificación de la salida digital =  $\frac{1}{2}$  LSB.
- 

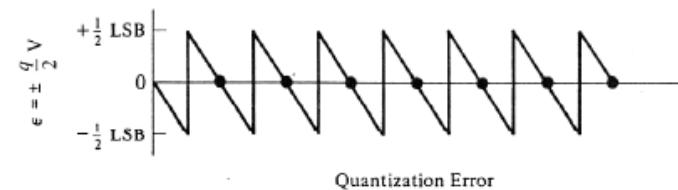
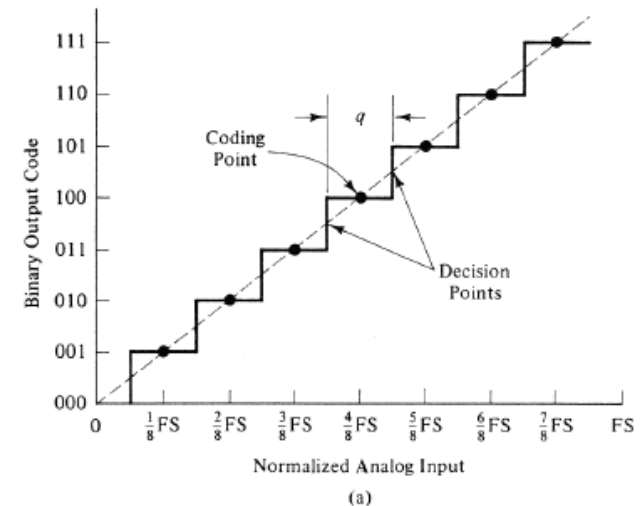
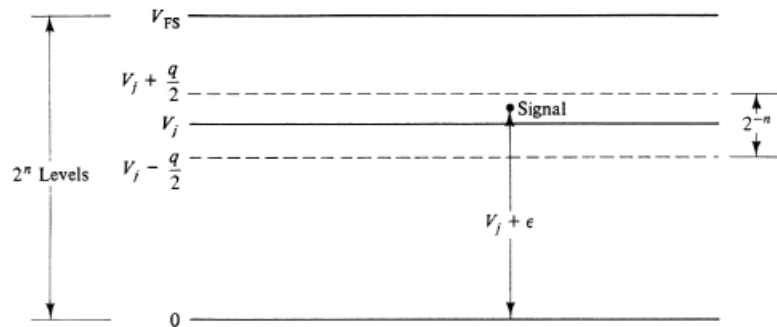
# Conceptos sobre la conversión A/D y D/A

- Conversión de una señal en el tiempo a datos en tiempo discreto.
- Entrada de voltaje analógico de 5V promedio y un valor pico a pico de 10V
- La resolución =  $1.42\text{V/LSB}$
- La salida digital =  $V_{\text{ent}}/\text{Resolución}$
- Error de cuantización =  $\frac{1}{2} \text{ LSB}$
- La entrada analógica =  $\text{Salida Digital} * \text{Resolución}$



### Efecto de la banda de cuantificación en la conversión A - D

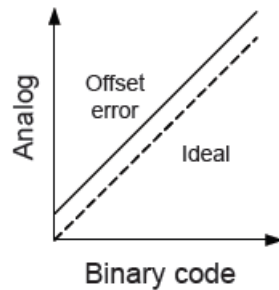
La salida en un conversor A – D, cambia solamente para señales de entrada de valor superior a la banda de cuantificación.



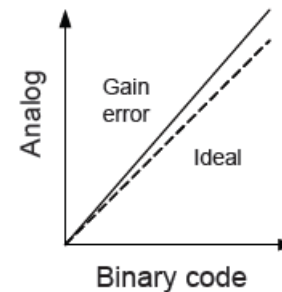
## Errores en los conversores A - D

- *Afectan directamente la banda de cuantificación y se encuentran en el rango de  $\frac{1}{2}$  LSB.*
- *Se emplean circuitos de compensación de errores.*

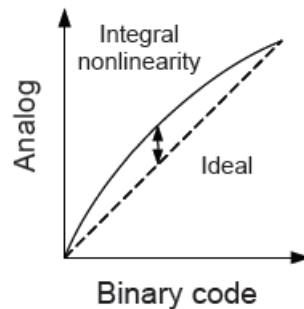
**Offset** – a constant voltage offset that appears at the output when the digital input is 0



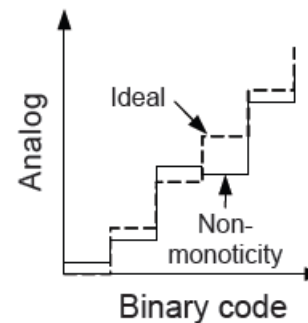
**Gain error** – deviation of slope from ideal value of 1



**Integral Nonlinearity** – maximum deviation from the ideal analog output voltage

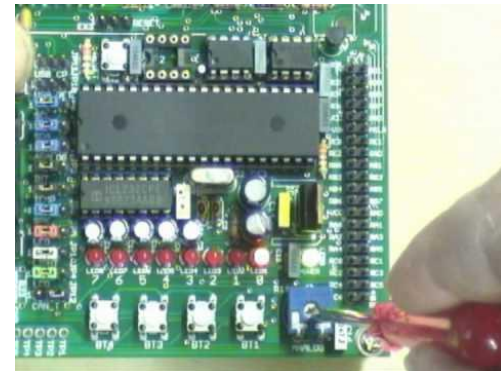
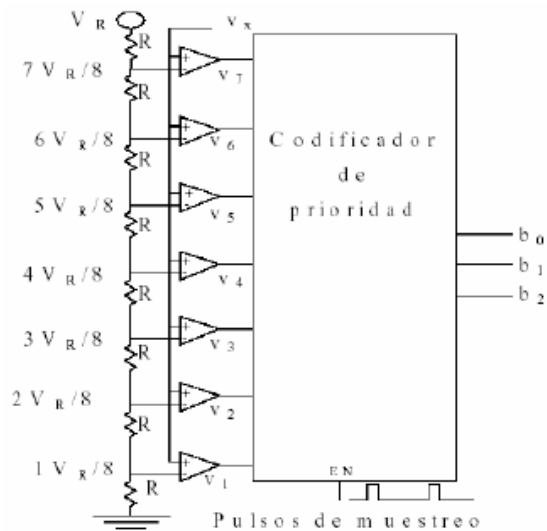


**Differential nonlinearity** – the largest increment in analog output for a 1-bit change



## Clasificación de los circuitos de Conversión

- Según tiempo de conversión
- Según su exactitud
- Según la Arquitectura



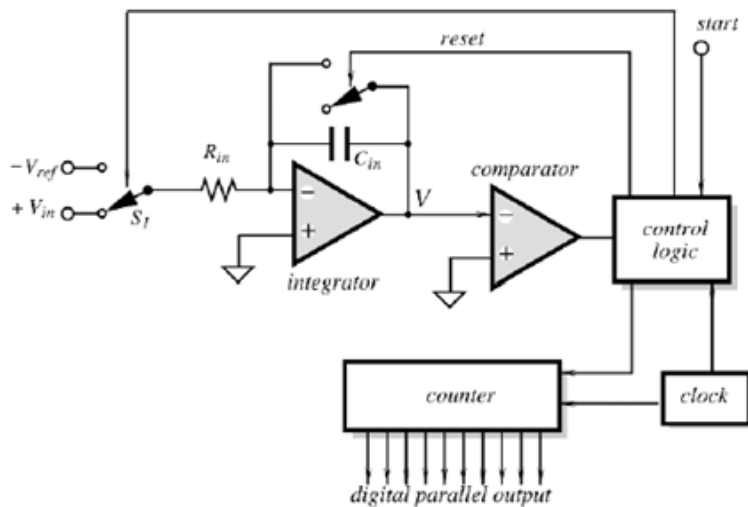
### *Tipos de conversores A - D*

- **ADC Integrador** (Señales de frecuencias bajas)
- **ADC de aproximaciones sucesivas** (Señales de Audio).
- **ADC Paralelo tipo Flash** (Señales de video)



# Acondicionadores de Señal

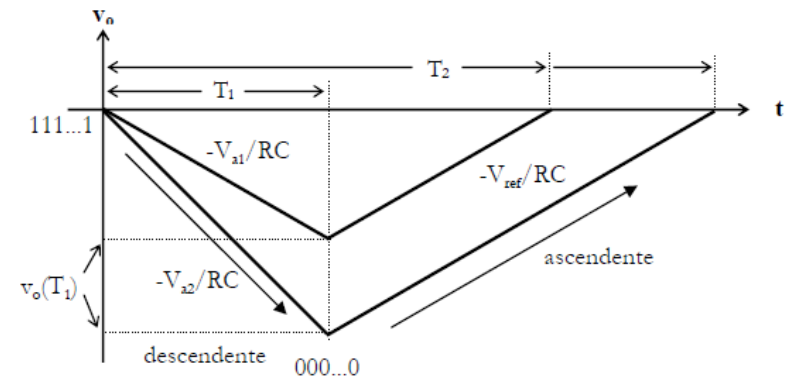
## Conversor A - D integrador (doble Rampa)



### Etapas:

- 2 Etapas de integración.
- Etapa de puesta a cero (Reset).
- Comparador
- Unidad lógica de control
- Contador

Diagrama de tiempos



La operación del dispositivo se tiene como base establecer una relación entre una magnitud de voltaje de entrada y una función en el tiempo que luego es convertida a un código digital

# Acondicionadores de Señal

## Generalidades del Conversor A - D integrador - doble rampa

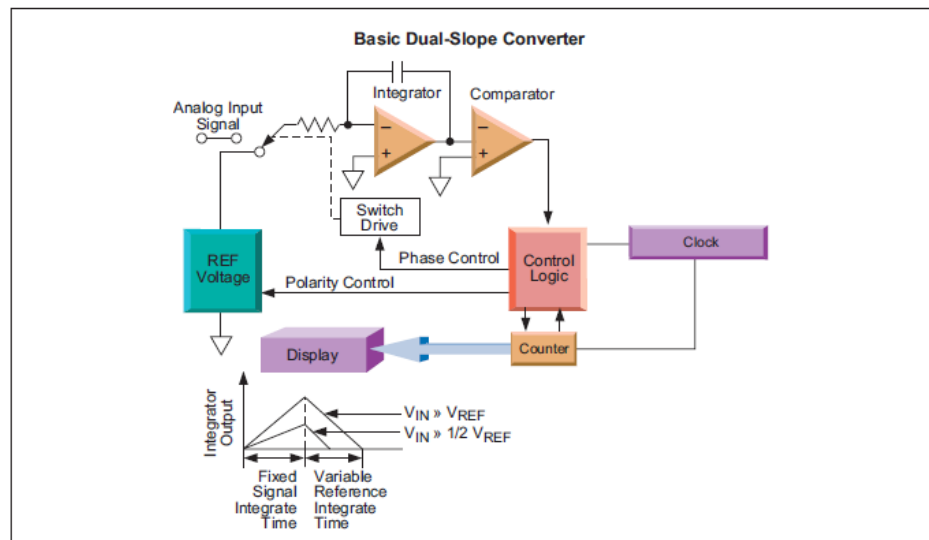
- Se emplea en instrumentos digitales portátiles como DVM.
- Por su característica de funcionamiento presenta alta inmunidad al ruido.
- Alta resolución.
- La exactitud de la conversión es independiente de la frecuencia de reloj.
- Tiempo de conversión aprox. 300ms

### TC5XX Key Features (Cont.)

- Directly Accepts Bipolar and Differential Input Signals
- Low Power Dissipation:  
10 mW - (TC500/TC500A), 18 mW - (TC510/TC514)

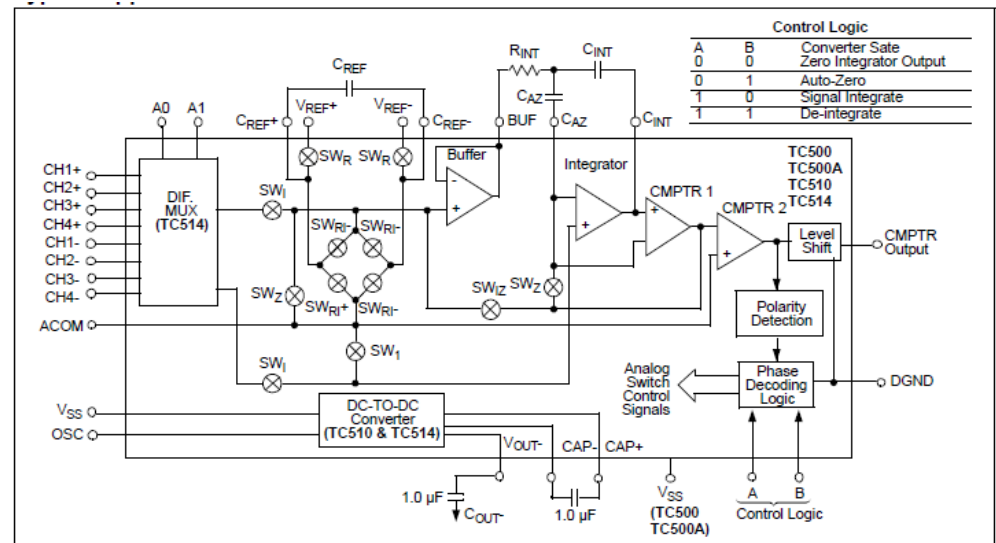
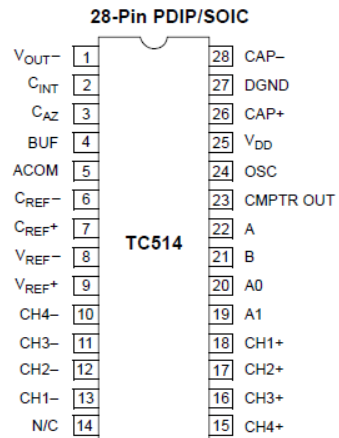
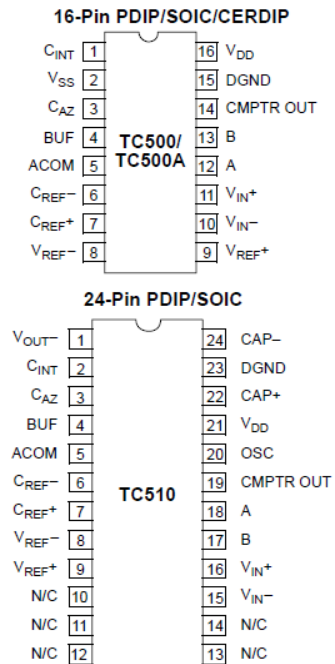
### TC5XX Applications:

- Precision Analog Signal Processor
- Precision Sensor Interface
- High-Accuracy DC Measurements



# Acondicionadores de Señal

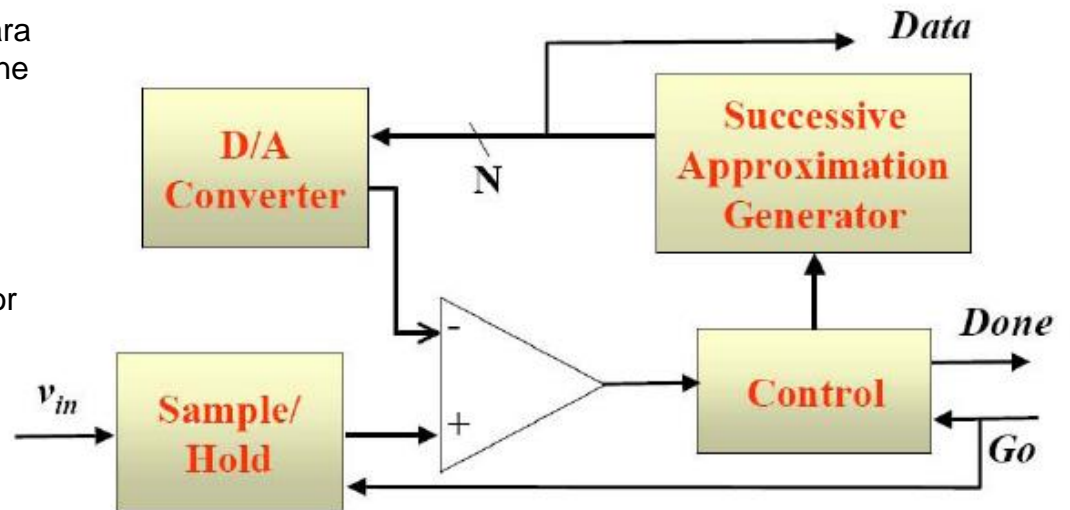
## ADC Integrador



# Acondicionadores de Señal

## Conversor ADC de Aproximaciones Sucesivas:

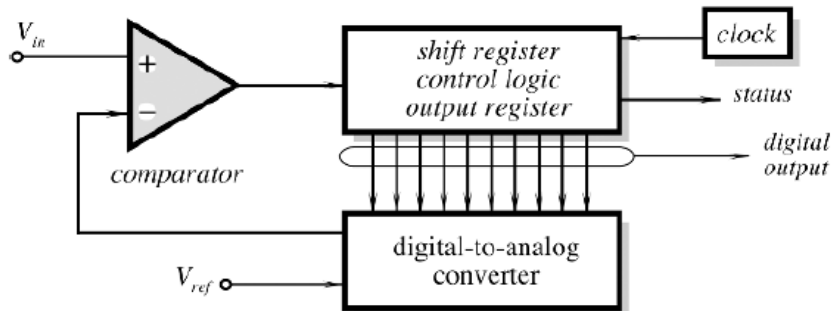
- Emplea una técnica de Aproximación para convertir la entrada analógica a un código Digital de salida
- Es la técnica de conversión mas utilizada, ideal para frecuencias medias en donde la velocidad se impone a la precisión.
- SAR Registro de aproximaciones sucesivas (Shift Register + unidad de control lógico)
- Mejora la característica de velocidad del conversor ADC Integrador
- Se emplea en canales multiplexados  
Control de motores  
Equipo médico



# Acondicionadores de Señal

## Conversor ADC de Aproximaciones Sucesivas:

*Es el tipo de conversor mas empleado:*



### Ejemplo:

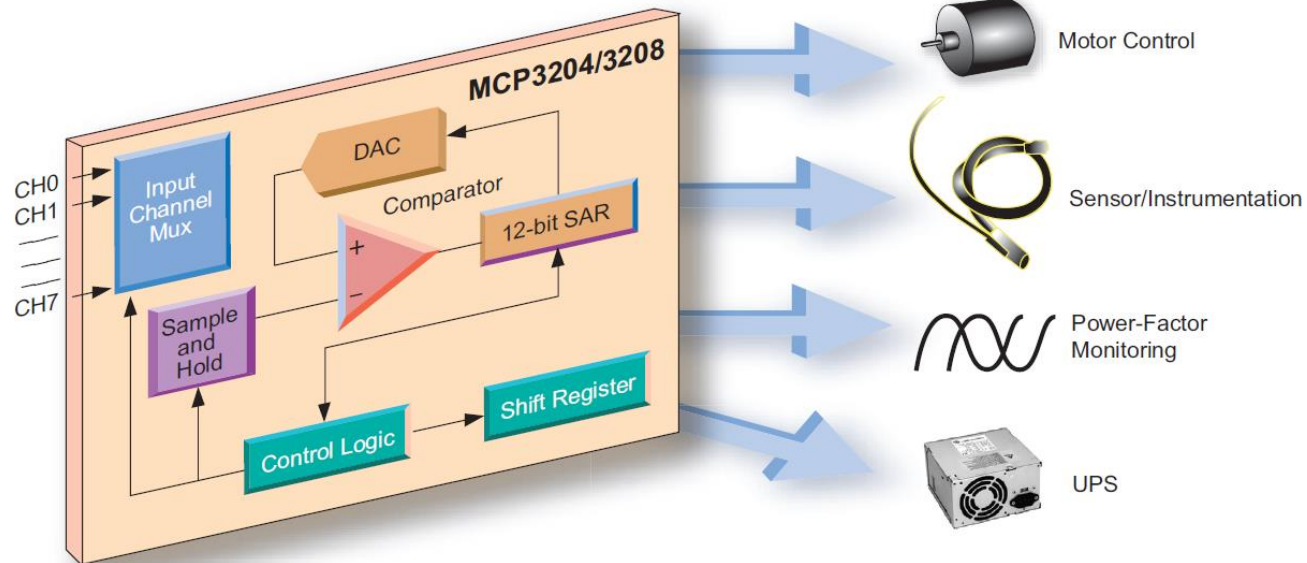
- Un ADC de 8 Bits con un  $V_{in}$  de 3.7V y un  $V_{fs} = 10V$  ,  $f_{clock} = 1Mhz$
- $T_{conv.} = T_{clock} (n+1)$
- La comparación inicia en el MSB

Pulso	Palabra digital ( $Q_i$ )	Fracción de estado-Tensión aproximada	Bits del SAR afectados
0, inicio	10000000	$(128/256)*10=5>3,7$	$Q_7=0$ y $Q_6=1$
1	01000000	$(64/256)*10=2,5<3,7$	$Q_6=1$ y $Q_5=1$
2	01100000	$(96/256)*10=3,75>3,7$	$Q_5=0$ y $Q_4=1$
3	01010000	$(80/256)*10=3,125<3,7$	$Q_4=1$ y $Q_3=1$
4	01011000	$(88/256)*10=3,4375<3,7$	$Q_3=1$ y $Q_2=1$
5	01011100	$(92/256)*10=3,59375<3,7$	$Q_2=1$ y $Q_1=1$
6	01011110	$(94/256)*10=3,671875<3,7$	$Q_1=1$ y $Q_0=1$
7	01011111	$(95/256)*10=3,7109375<3,7$	$Q_0=0$ , fin conversión
8	01011110		



# Acondicionadores de Señal

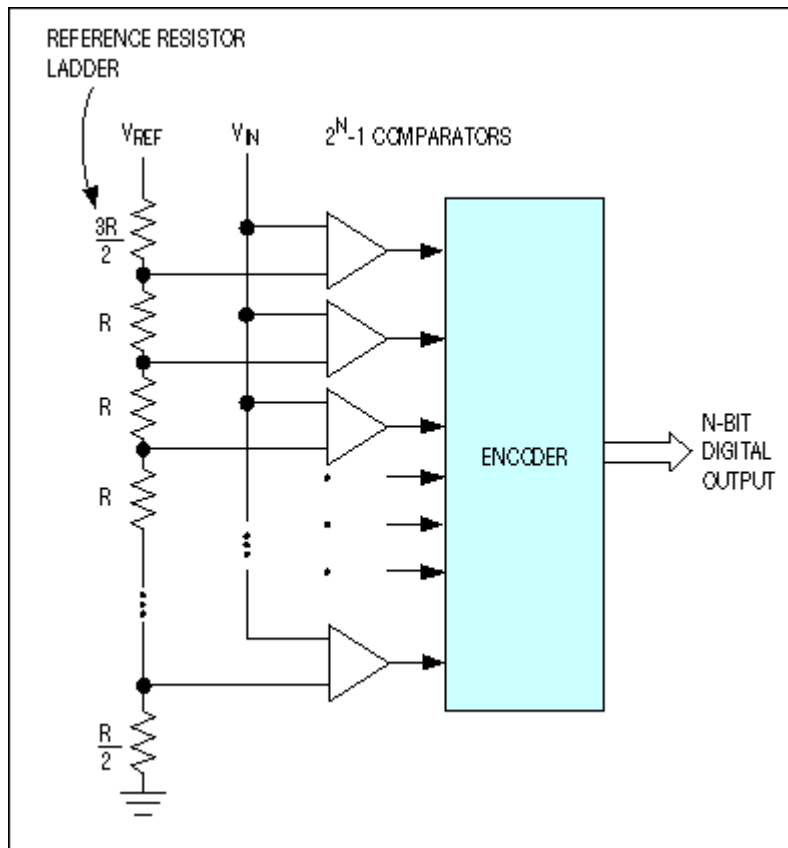
## ADC de Aproximaciones Sucesivas:



### **MCP3X02/4/8 ADC Applications:**

- Multi-channel Data Acquisition Portables
- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

## Conversor ADC paralelo tipo FLASH



*Alta velocidad de conversión*

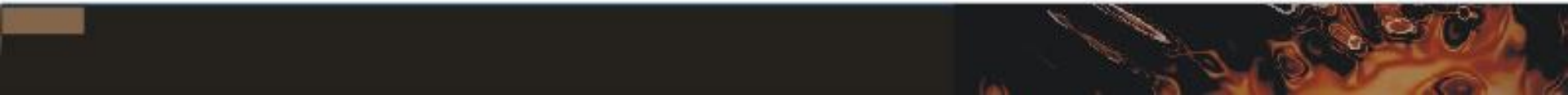
*El tiempo de conversión es igual al tiempo empleado por un comparador.*

*El error de no linealidad es alto.*

*Amplio ancho de banda*

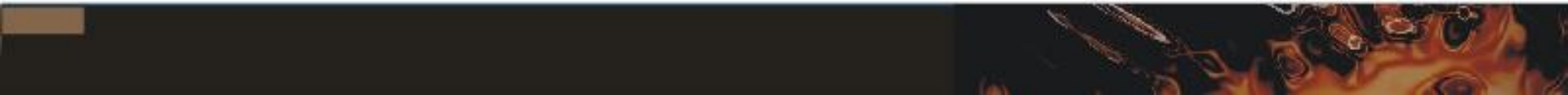
*Uso en instrumentos digitales (Osciloscopios) y circuitos de video.*

### Consideraciones para la selección de Conversores ADC

- *Exactitud: Relacionada con el numero de Bits (Generalmente se selecciona un ADC con 1 ó 2 Bits por encima del requerimiento)*
  - *Ancho de Banda ó frecuencia máxima de la señal a digitalizar: Asociado con la arquitectura .*
  - *La SNR (Relación : señal medida /Ruido)*
  - *Tiempo de conversión*
- 

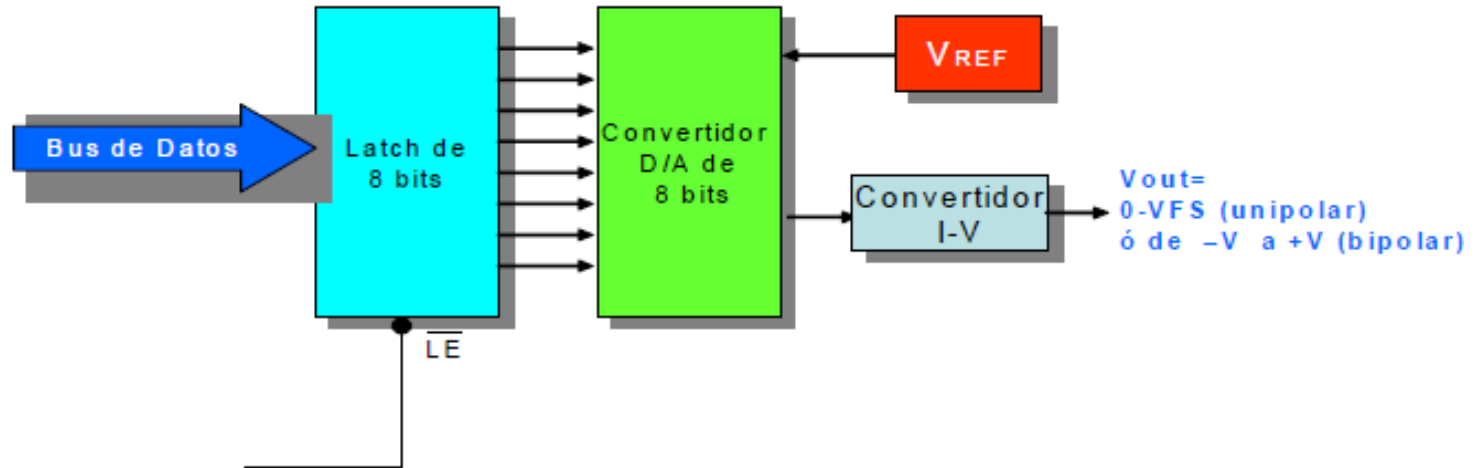


# Conversores DAC



### Conversores DAC

- Se define como el proceso de transformar un dato digital de entrada a señal analógica de corriente o voltaje.
- La conversión Digital a Analógico tiene por objeto comunicar un sistema microprocesado con elementos DC ó AC de variación continua.

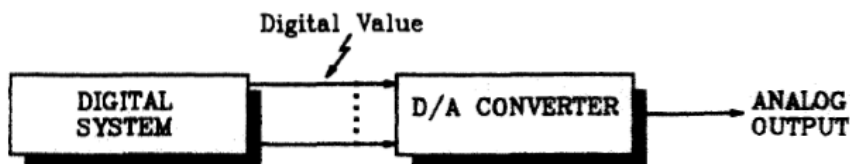


- Un DAC tiene un número limitado de posibles valores de la señal de salida ( $V/I$ ), diferente a una señal analógica pura.



## Conversores DAC

- La resolución de salida de un DAC depende del número de Bits del dato digital de entrada y del voltaje de referencia de salida del conversor.
- La exactitud de un DAC, hace referencia al error entre el valor real de salida y el valor esperado según el dato de entrada.
- El tiempo requerido para la conversión en un DAC, se asocia con el tiempo de propagación (circuitos internos )



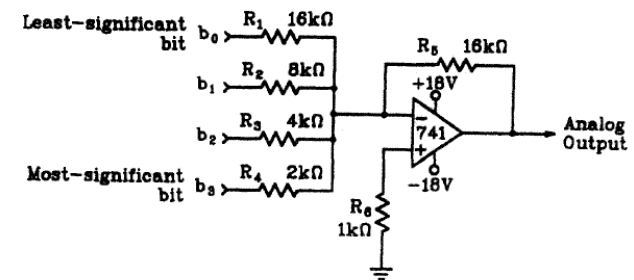
**Pregunta:** De la tabla cual es el valor superior del rango?

Resolution in Bits	Number of Steps	Resolution as Percent of Full Scale (%)
1	2	50
2	4	25
3	8	12.5
4	16	6.25
5	32	3.125
6	64	1.5625
7	128	0.78125
8	256	0.390625

## Tipos de conversores DAC

- **Conversor DAC de resistores ponderados:**
- Un amplificador sumador inversor
- Los valores de entrada son 0v ó -1V

DAC con el LM 741

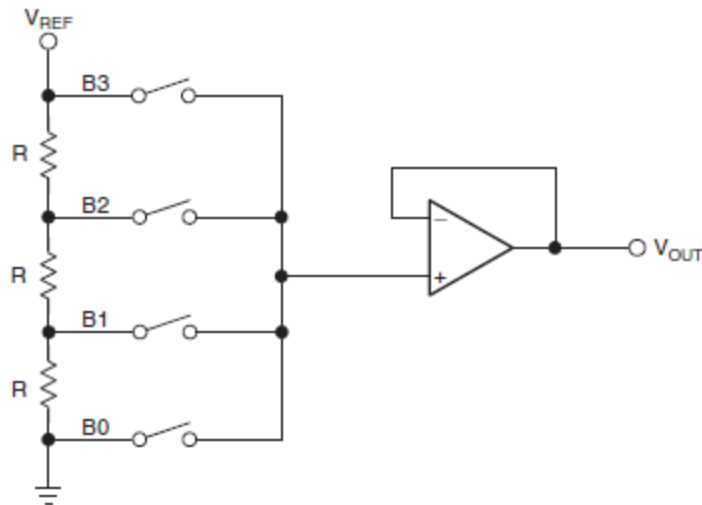


*Cual es la justificación para usar un amplificador inversor en un DAC ?*

Digital Number	Binary Value	$b_3$	$b_2$	$b_1$	$b_0$
0	0000	0 volt	0 volt	0 volt	0 volt
1	0001	0 volt	0 volt	0 volt	-1 volt
2	0010	0 volt	0 volt	-1 volt	0 volt
3	0011	0 volt	0 volt	-1 volt	-1 volt
4	0100	0 volt	-1 volt	0 volt	0 volt
5	0101	0 volt	-1 volt	0 volt	-1 volt
6	0110	0 volt	-1 volt	-1 volt	0 volt
7	0111	0 volt	-1 volt	-1 volt	-1 volt

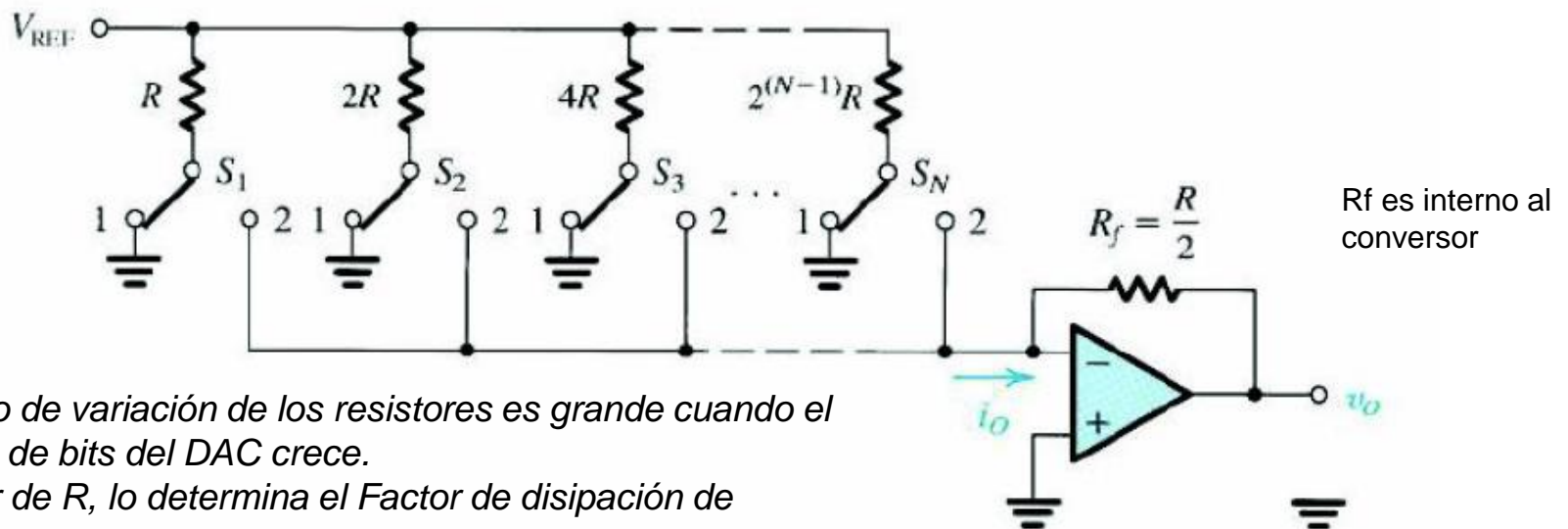
- **Conversor DAC red de resistores escalera:**

1. Un voltaje de referencia se divide en de Bits de entrada del conversor.
2. Para conversores de un número pequeño de Bits, presenta alto desempeño .



## Tipos de conversores DAC

- **Conversor DAC de resistores ponderados:**
- Un amplificador sumador inversor
- El valor de cada resistor es inversamente proporcional al bit que representa.



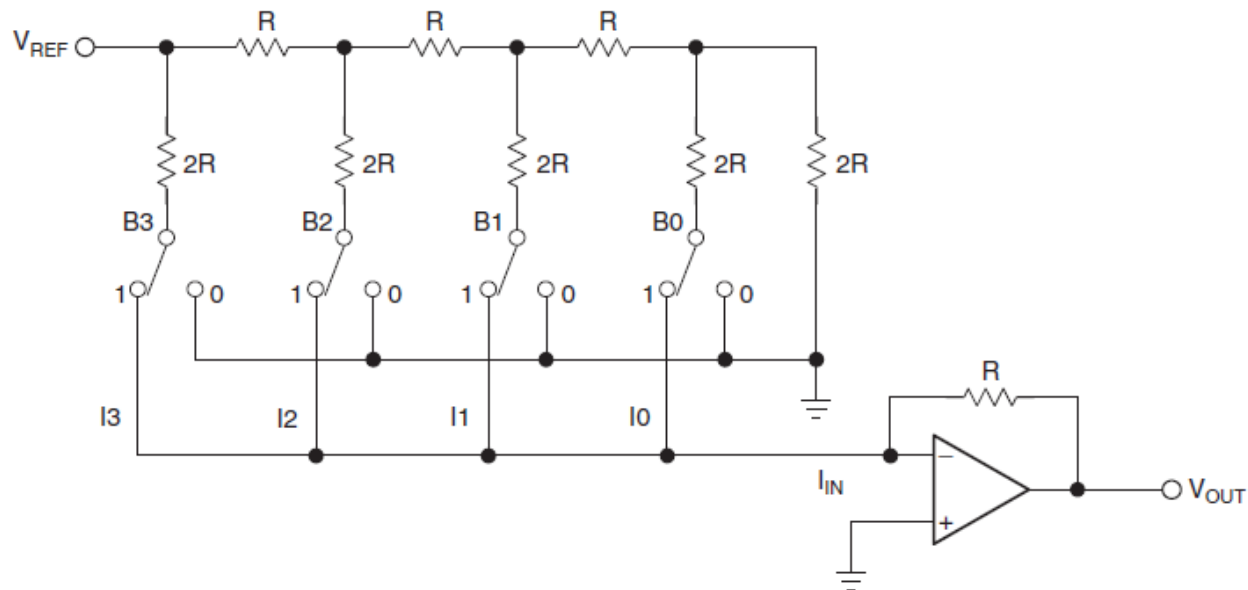
*El rango de variación de los resistores es grande cuando el número de bits del DAC crece.*

*El Valor de  $R$ , lo determina el Factor de disipación de potencia.*

## Tipos de conversores DAC

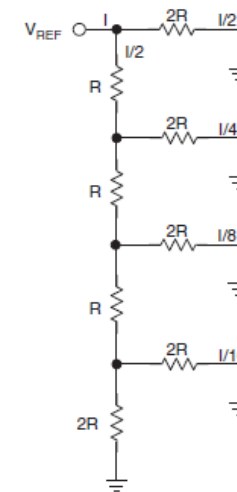
### • **Conversor DAC R - 2R**

1. Emplea un resistor de Realimentación .
2. La ganancia del amplificador es fija y el voltaje de full escala está limitado por el voltaje de referencia.



### Parámetros característicos

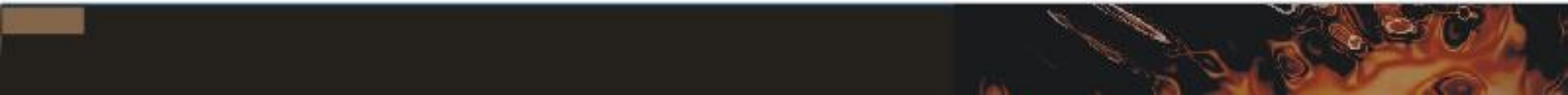
- Corriente de referencia ( $I_{ref}$ )
- Resolución en corriente ( $I_0$ )







## Aspectos a tener en cuenta para el uso de DAC tipo resistivos

1. El voltaje offset de entrada del OPAMP (bajo), se suma al error de offset del DAC.
  2. La corriente de polarización del OPAMP (baja) junto con el resistor de realimentación incrementa el error de offset .
  3. El tiempo de establecimiento del OPAMP debe ser menor que el cambio más rápido del dato de entrada.
  4. Reconocer inicialmente cuál es el paso aceptable de la señal de salida, para así determinar el número de bits del conversor.
  5. La resolución de un conversor DAC está asociada directamente con el número de Bits de este.
  6. Para compensar el error de salida del DAC se recomienda seleccionar el DAC con un bit adicional al requerimiento de diseño.
- 

## Acondicionadores de Señal

Relación entre el paso de salida el número de bits y el voltaje de Referencia

Bits	States	3 V	5 V	10 V
4	16	0.1875	0.3125	0.625
8	256	0.011719	0.019531	0.039063
10	1024	0.00293	0.004883	0.009766
12	4096	0.000732	0.001221	0.002441
14	16384	0.000183	0.000305	0.00061
16	65536	4.58 E-05	7.63 E-05	0.000153
18	262144	1.14 E-05	1.91 E-05	3.81 E-05
20	1048576	2.86 E-06	4.77 E-06	9.54 E-06
22	4194304	7.15 E-07	1.19 E-06	2.38 E-06
24	16777216	1.79 E-07	2.98 E-07	5.96 E-07

# Acondicionadores de Señal

## Elementos característicos de los conversores D/A

1. El error de Offset se expresa como porcentaje de full escala del voltaje de entrada.
2. Error de ganancia: Es la diferencia entre las pendientes de la curva ideal del voltaje de salida y la grafica del comportamiento real.

