

## Tema 4: Conversión AD/DA

### Diseño de sistemas electrónicos

Universidad Carlos III de Madrid

Dpto. Tecnología Electrónica

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales
2. Conversión Digital/Analógica (DAC)
  - Resistivo
  - Binario
  - Ladder R/2R
  - Otros DACs
3. Conversión Analógica/Digital (ADC)
  - Doble rampa, Sobremuestreo
  - Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
  - Paralelo (Flash), Pipeline
  - Otros ADCs

# Índice

- Conceptos principales
- Conversión Digital/Analógica (DAC)
  - Resistivo
  - Binario
  - Ladder R/2R
  - Otros DACs: Segmentado, BCD-Analógico, Complemento a dos-Analógico, Sigma-Delta
- Conversión Analógica/Digital (ADC)
  - Doble rampa, Sobremuestreo
  - Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
  - Paralelo (Flash), Pipeline
  - Otros ADCs: Tensión-Frecuencia, Sigma-Delta

# Conceptos Principales

# Señal analógica y señal digital

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

## • Señal analógica:

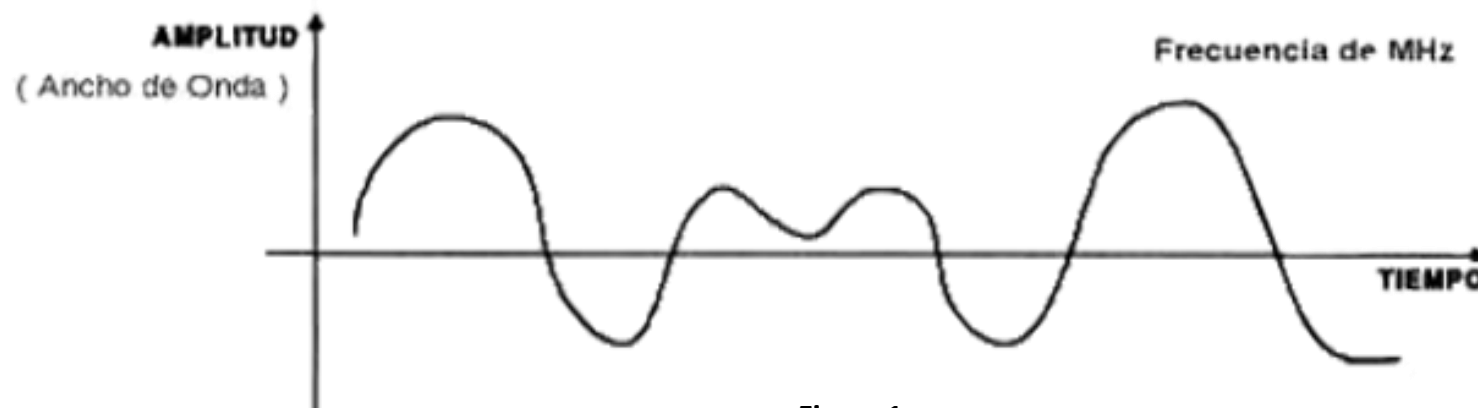


Figura 1

## • Señal digital:

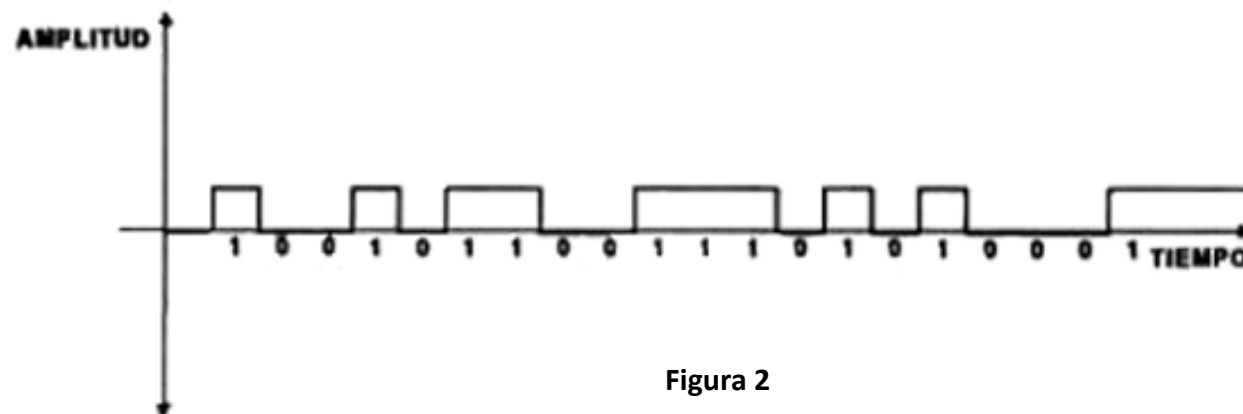


Figura 2

Figura 1: <http://teleinformaticabydani.blogspot.com/2013/05/teoria-de-senales.html>  
 Figura 2: <http://teleinformaticabydani.blogspot.com/2013/05/teoria-de-senales.html>

## ADC y DAC (I)

- Los conversores ADC y DAC ayudan a interactuar con el mundo exterior
  - La información en el mundo exterior es analógica, pero las máquinas funcionan digitalmente
  - Por lo tanto, la información tiene que ser convertida en digital por un conversor ADC
  - La máquina procesa la información digitalmente
  - Y finalmente la máquina convierte la información digital en analógica por medio de un conversor DAC y la saca al mundo exterior como señal analógica (luz, sonido, imagen, etc.)

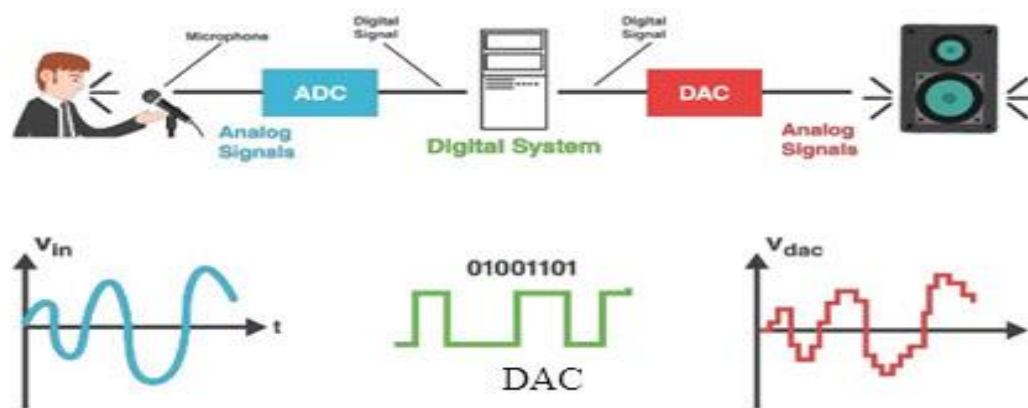
### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs



Figura

# Tema 4: Conversión AD/DA

## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

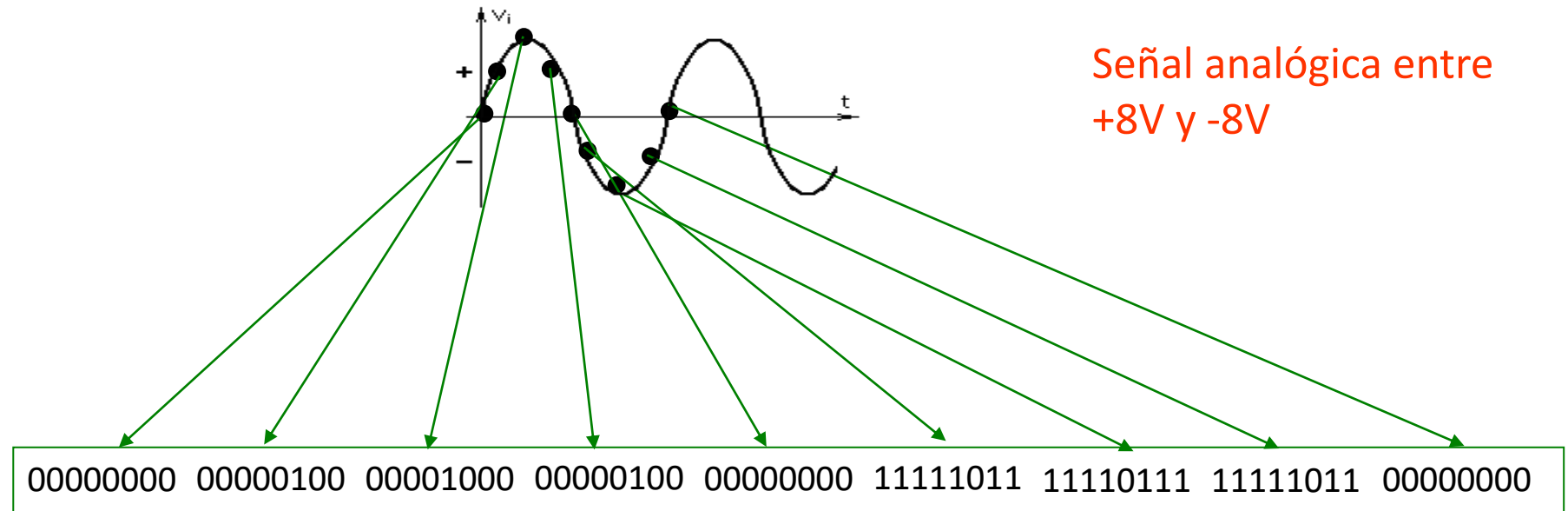
### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# ADC

- El proceso para convertir de analógico en digital (ADC) se basa en los siguientes pasos:

## Muestreo -> Cuantificación -> Codificación



Figura

Señal digital convertida con una cuantificación de 8 bits

# Tema 4: Conversión AD/DA

## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

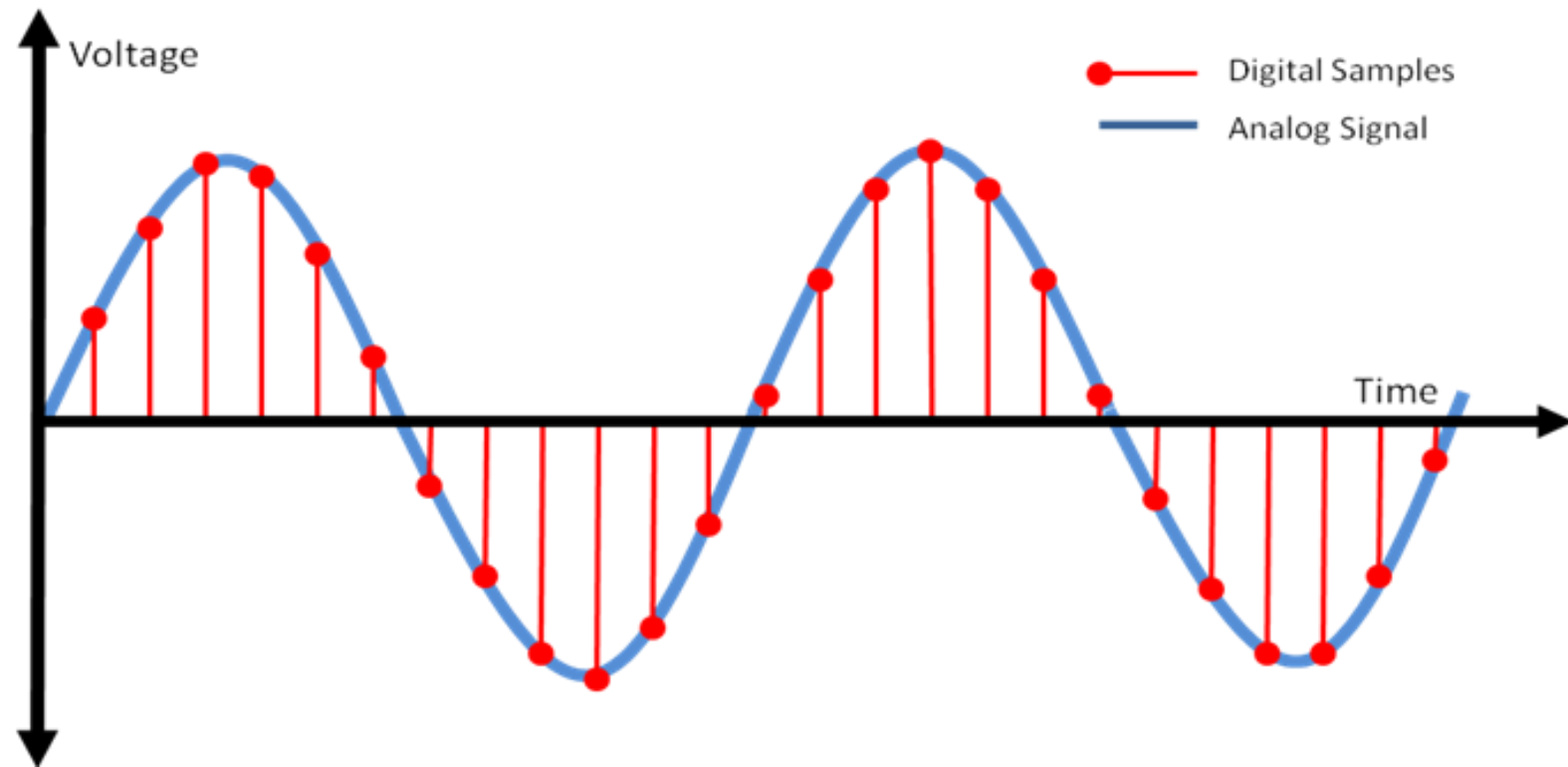
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# ADC: Muestreo

- Se utiliza para discretizar el eje del tiempo
- Consiste en obtener diferentes puntos de la señal analógica original cada cierto tiempo



Figura

# Tema 4: Conversión AD/DA

## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

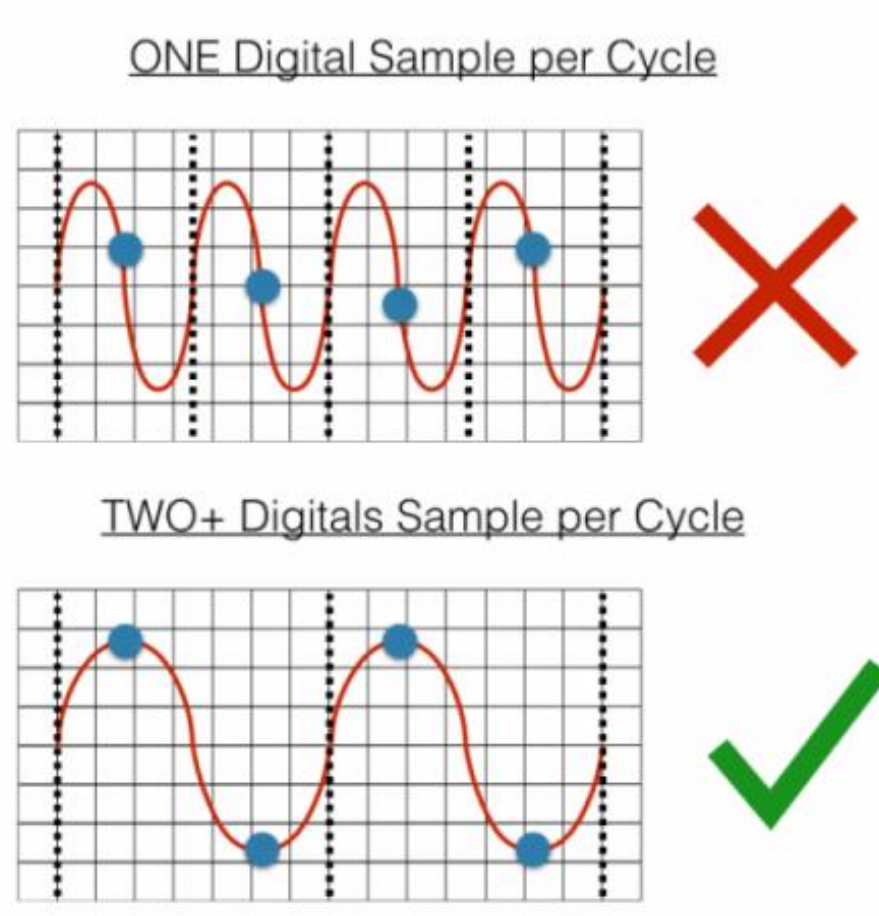
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# ADC: Muestreo: Teorema de Nyquist

- Para no perder información, el muestreo debe respetar el teorema de Nyquist:  $f_{\text{muestreo}} > 2 * f_{\text{más alta de la señal muestreada}}$



Figura



1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

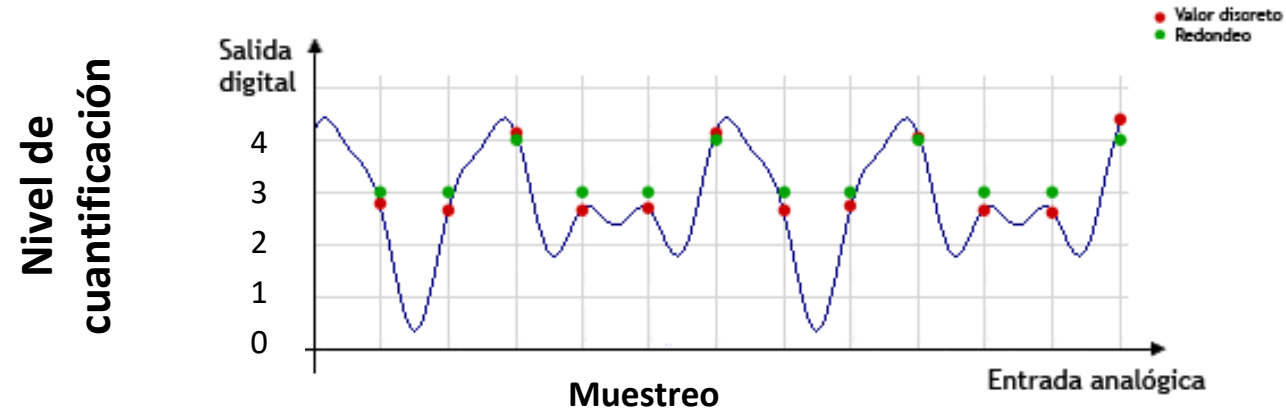
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# ADC: Cuantificación

- Se utiliza para discretizar el eje de la amplitud
- Consiste en asignar un valor discreto a cada punto muestreado, que pertenezca a alguno de los niveles que puede haber en el rango permitido
  - El número de niveles depende del tamaño de la memoria (por ejemplo, si la memoria tiene un tamaño de 8 bits, hay 256 niveles de amplitud)
  - Los niveles pueden tener la misma distancia (escala lineal) o diferentes distancias (escala logarítmica, escala exponencial, etc.), dependiendo de la aplicación
  - En este paso se introduce el primer error (**error de cuantificación**) y es imposible de evitar, porque existe una relación con el muestreo



Figura

## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

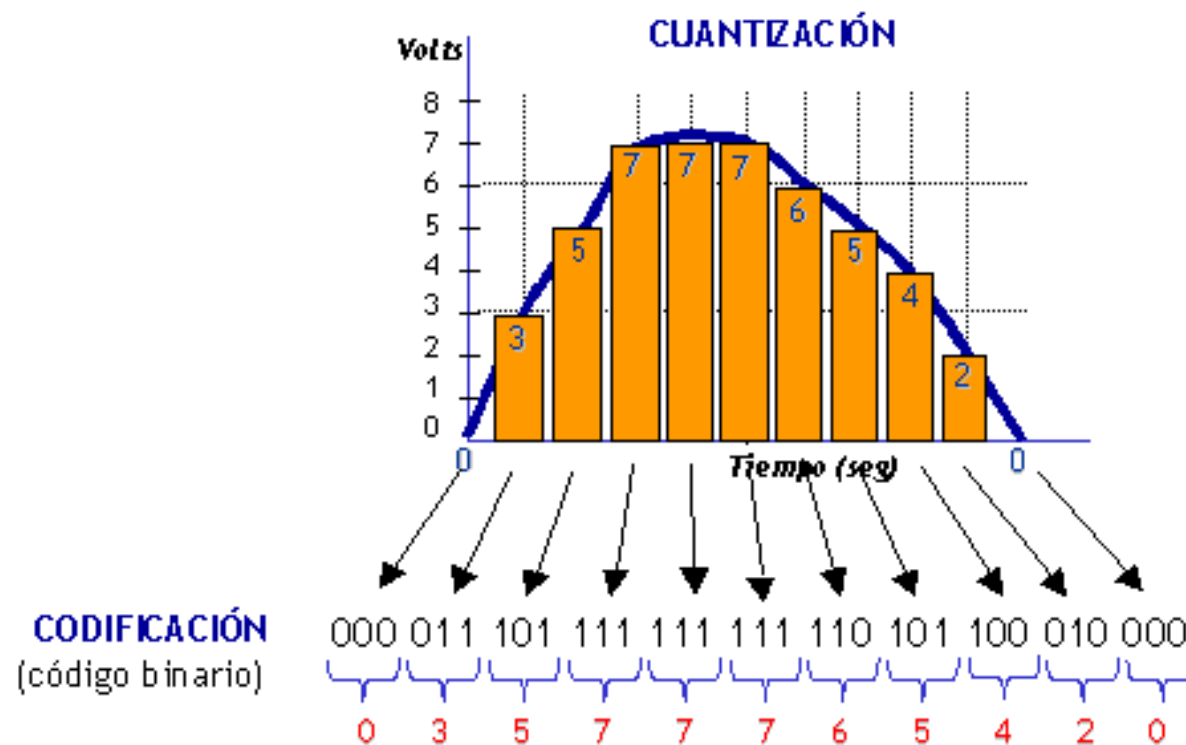
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# ADC: Codificación

- Consiste en asignar finalmente valores binarios a cada nivel de cuantificación. Hay varios tipos: Binario natural, escala logarítmica, etc.



Figura

1. Conceptos principales

2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# ADC: Límites de rendimiento (I)

- **Resolución o error de cuantificación:** Número de diferentes niveles analógicos que el ADC puede desarrollar. Está directamente relacionado con la cuantificación y nunca puede ser cero, pero será menor cuantos más niveles

$$\text{Error de cuantificación} = (V_{\text{ref}+} - V_{\text{ref}-}) / \text{Niveles de cuantificación} / 2$$



Figura

# ADC: Límites de rendimiento (II)

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

- Tiempo de conversión AD y frecuencia de muestreo: El tiempo de conversión AD es el tiempo que necesita el ADC para hacer la conversión
  - Este parámetro da como resultado el número de muestras por unidad de tiempo que se pueden hacer. Este resultado se denomina frecuencia de muestreo. Este parámetro es muy importante y da la calidad del ADC

ADC Clock Period (TAD)		Device Frequency (Fosc)					
ADC Clock Source	ADCS<2:0>	32 MHz	20 MHz	16 MHz	8 MHz	4 MHz	1 MHz
Fosc/2	000	62.5ns <sup>(2)</sup>	100 ns <sup>(2)</sup>	125 ns <sup>(2)</sup>	250 ns <sup>(2)</sup>	500 ns <sup>(2)</sup>	2.0 μs
Fosc/4	100	125 ns <sup>(2)</sup>	200 ns <sup>(2)</sup>	250 ns <sup>(2)</sup>	500 ns <sup>(2)</sup>	1.0 μs	4.0 μs
Fosc/8	001	0.5 μs <sup>(2)</sup>	400 ns <sup>(2)</sup>	0.5 μs <sup>(2)</sup>	1.0 μs	2.0 μs	8.0 μs <sup>(3)</sup>
Fosc/16	101	800 ns	800 ns	1.0 μs	2.0 μs	4.0 μs	16.0 μs <sup>(3)</sup>
Fosc/32	010	1.0 μs	1.6 μs	2.0 μs	4.0 μs	8.0 μs <sup>(3)</sup>	32.0 μs <sup>(3)</sup>
Fosc/64	110	2.0 μs	3.2 μs	4.0 μs	8.0 μs <sup>(3)</sup>	16.0 μs <sup>(3)</sup>	64.0 μs <sup>(3)</sup>

Figura

# Tema 4: Conversión AD/DA

## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

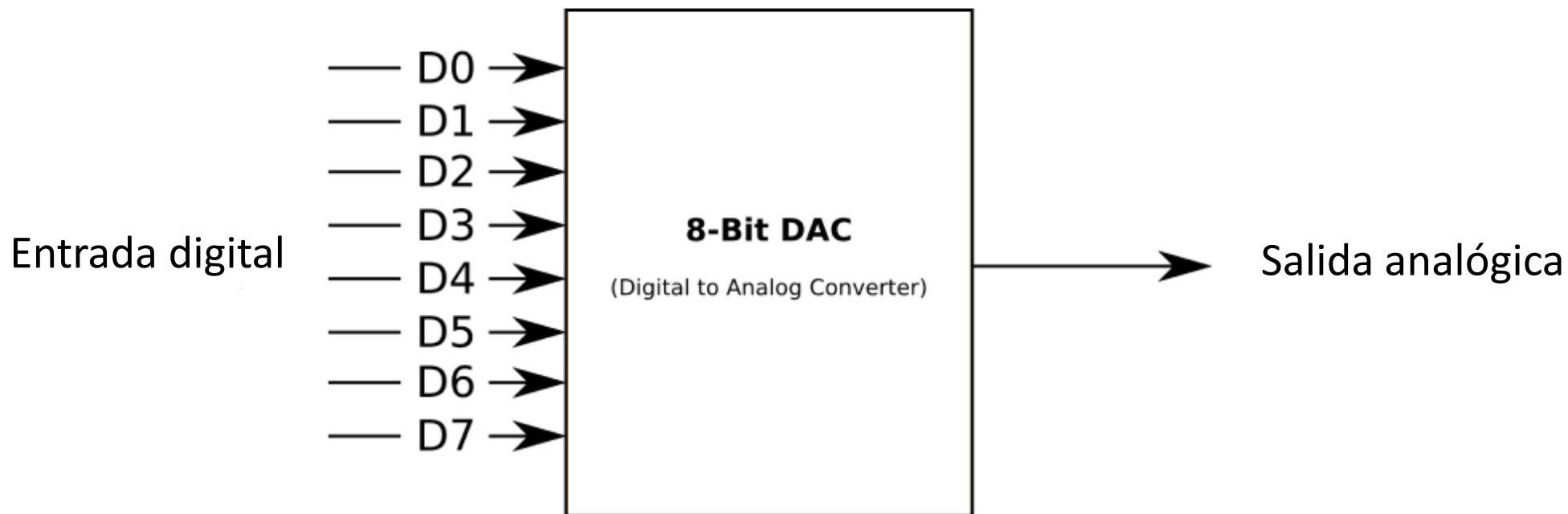
### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# DAC

- El proceso para convertir de digital en analógico (DAC) se basa en los siguientes pasos:

**Reconstrucción de la señal -> Interpolación -> Filtrado**



Figura

## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

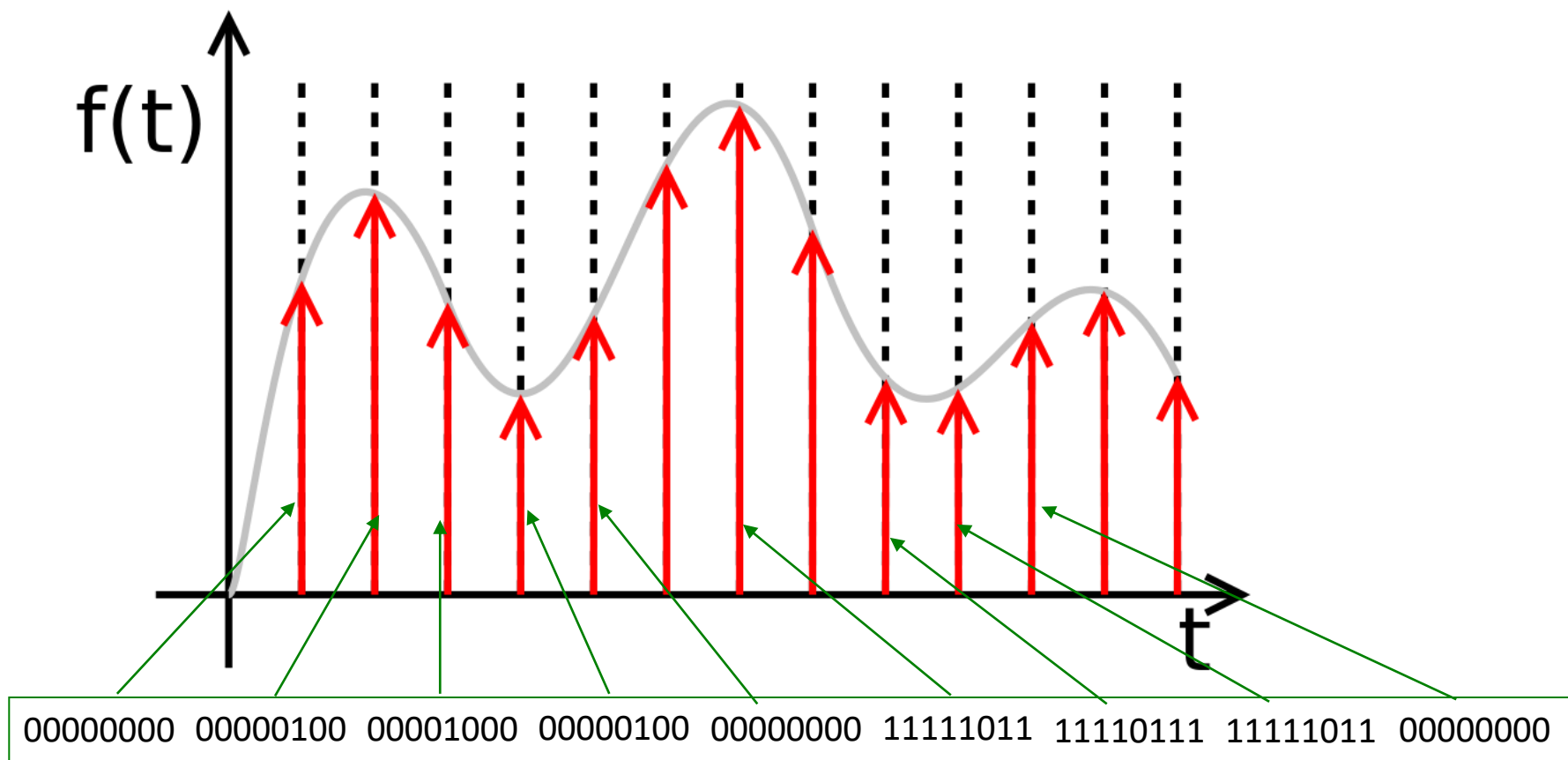
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# DAC: Reconstrucción de la señal

- El DAC convierte la serie de números binarios digitales en una secuencia de impulsos eléctricos, proporcionales a los números binarios



Figura

# Tema 4: Conversión AD/DA

## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

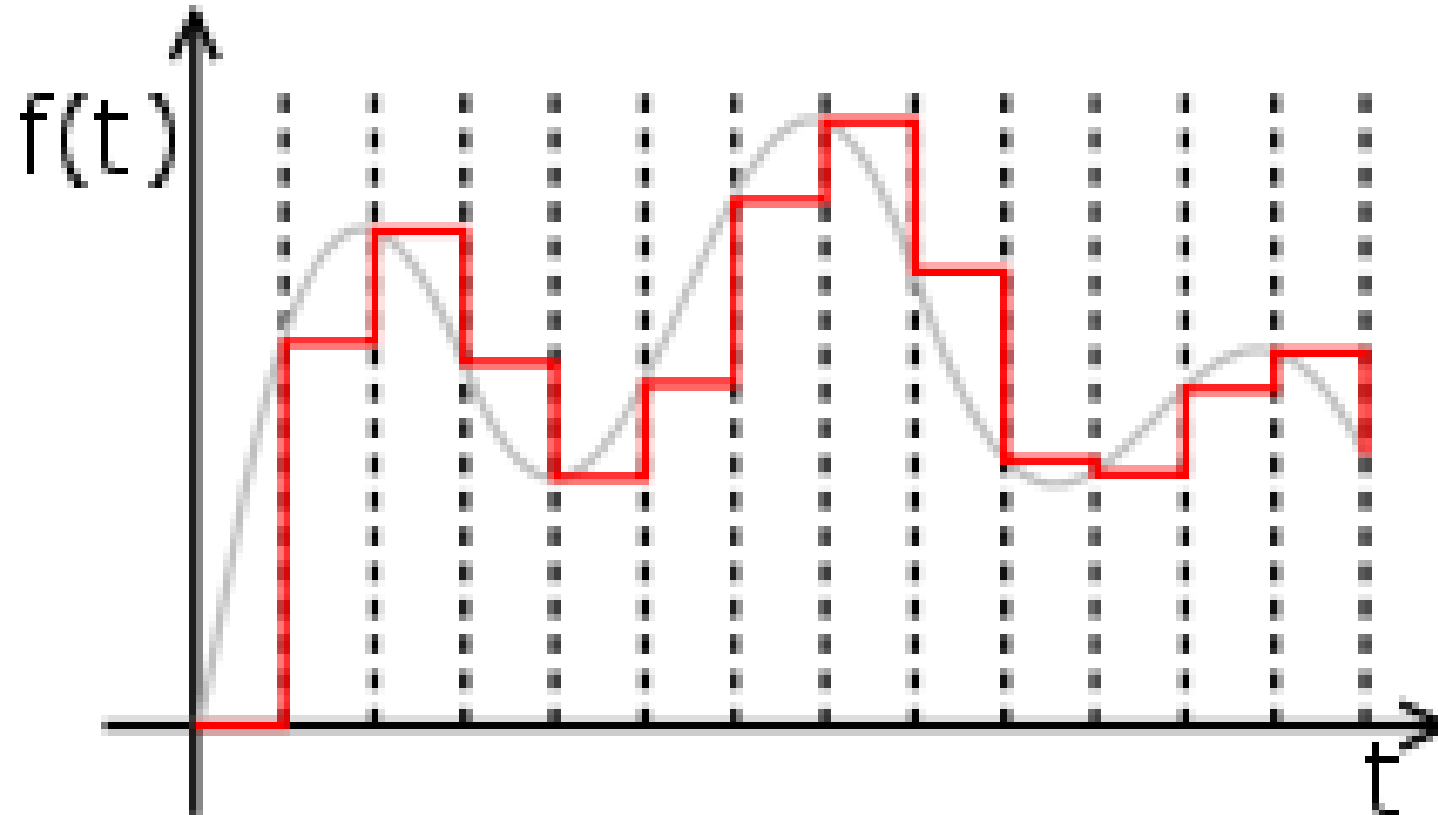
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# DAC: Interpolación

- El DAC procesa la señal reconstruida utilizando alguna forma de interpolación para rellenar los datos entre los impulsos eléctricos



Figura



## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

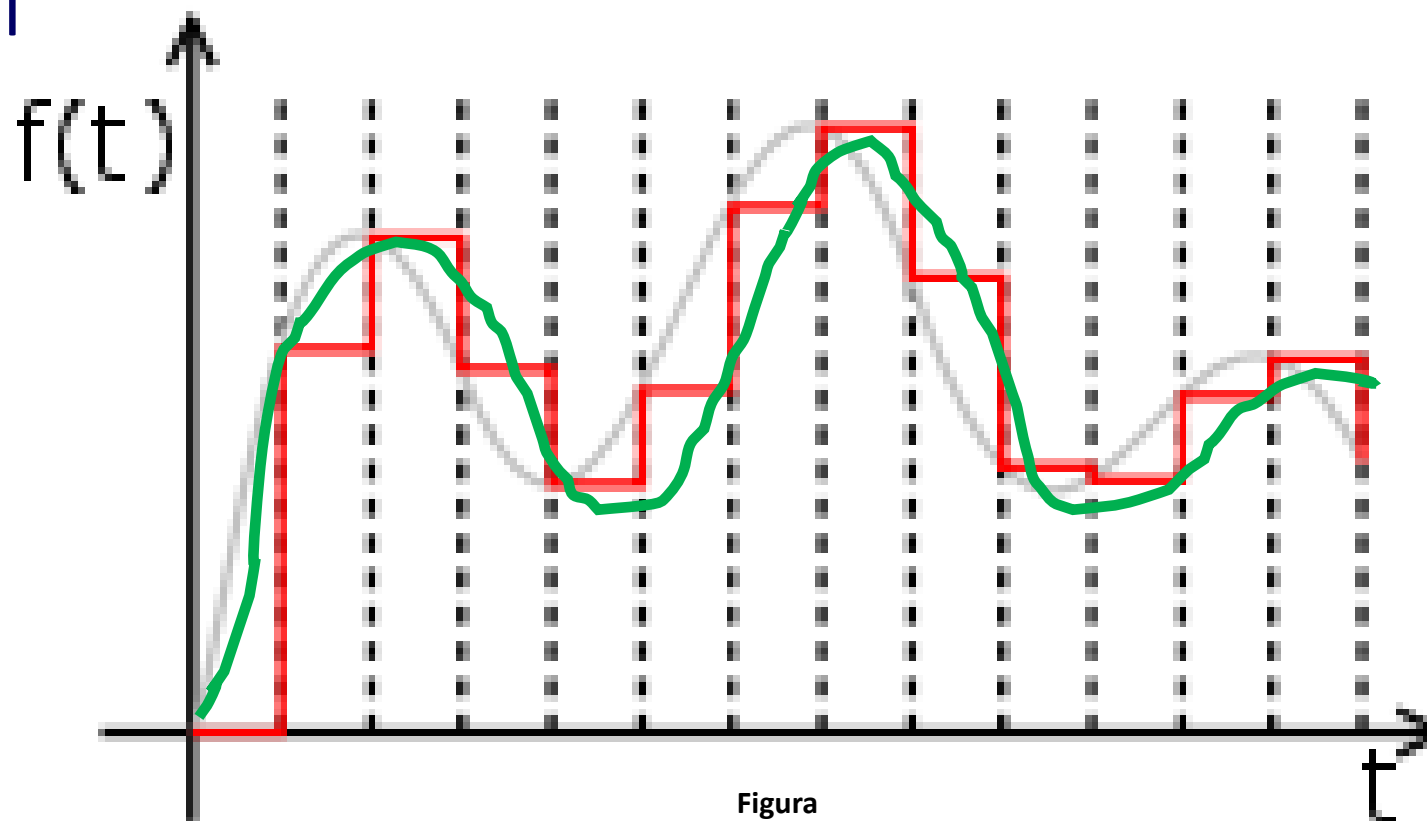
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# DAC: Filtrado

- Por último, se utiliza un filtro paso bajo o paso alto para suavizar la señal rectangular obtenida en el paso anterior, para reconstruirla lo más cercana posible a la señal analógica original



Figura



## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

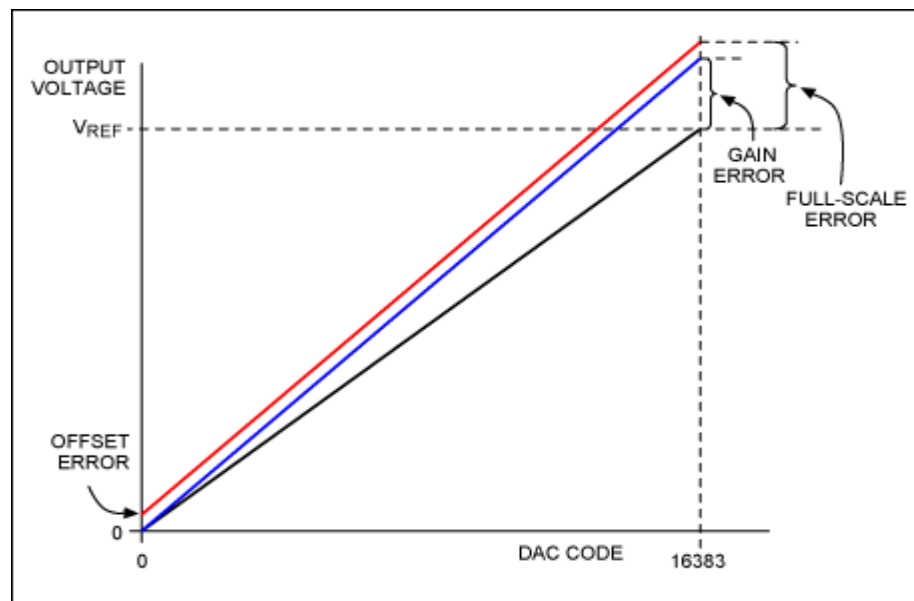
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# DAC: Límites de rendimiento (I)

- **Error de offset:** Es la diferencia en la salida producida por un DAC, para una entrada que debería dar una salida de 0V
- **Error de ganancia:** Es la diferencia de valor entre la curva de conversión real y la ideal producida por un DAC, desplazada sin compensación



Figura

# DAC: Límites de rendimiento (II)

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

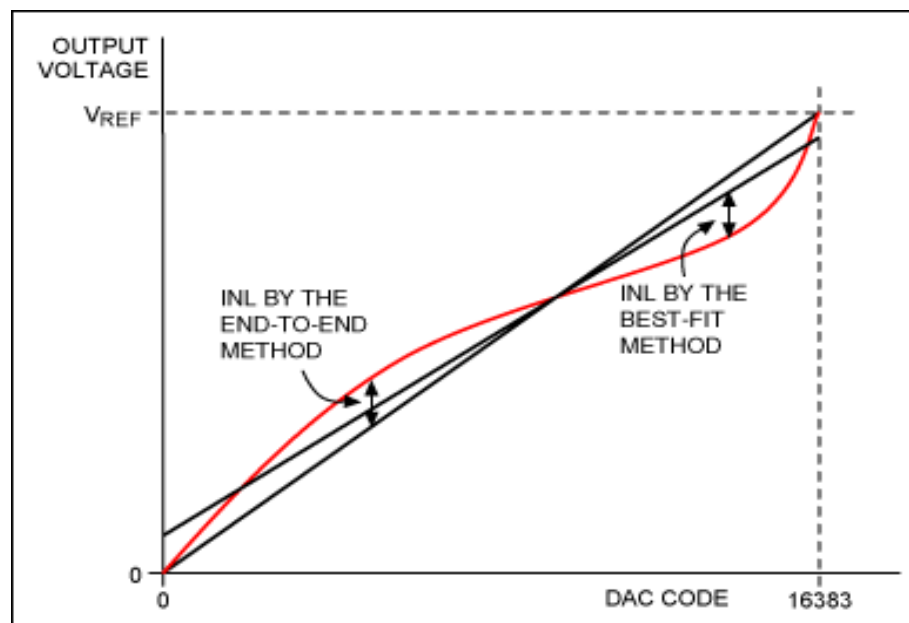
### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

- **Error de no linealidad:** Es una medida de lo lejos que se desvía la curva de la ideal. Se mide de dos maneras: “end-to-end” y “best fit”. Para medirlo, primero se eliminan los errores de offset y ganancia



Figura

- **Precisión :** Incluye normalmente el error de offset, el error de ganancia y el error de no linealidad, todos ellos juntos

## 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

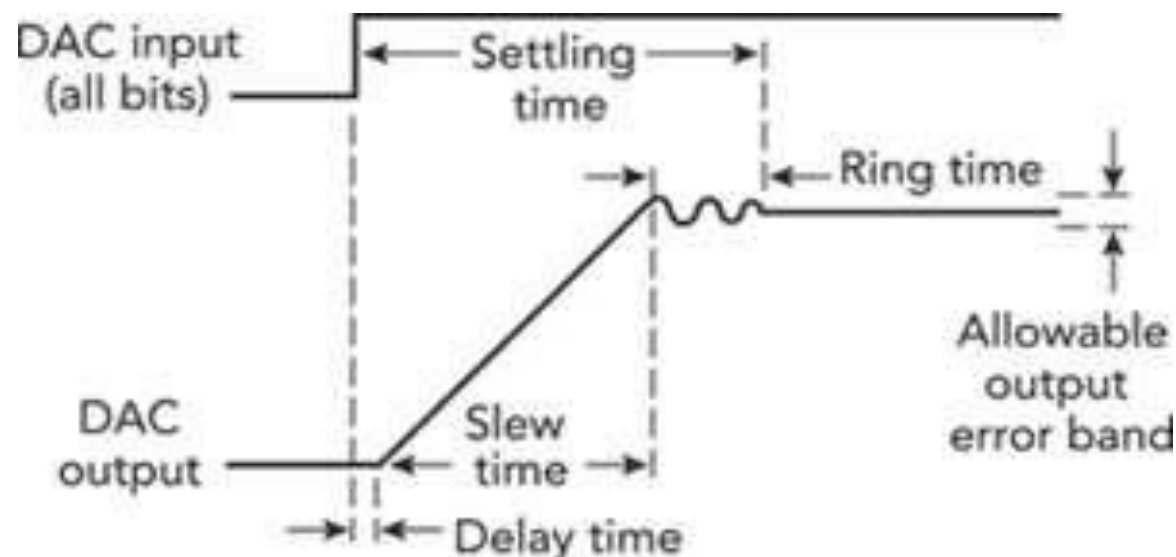
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# DAC: Límites de rendimiento (II)

- **Tiempo de establecimiento:** El tiempo de establecimiento es el tiempo necesario para que el DAC proporcione el valor real convertido en su salida



Figura

- **Tiempo de conversión:** El tiempo de establecimiento, junto con el tiempo anterior que tarda el valor digital en llegar al comienzo del tiempo de establecimiento, da como resultado el tiempo de conversión para el DAC

# Conversores Digitales/Analógicos (DACs)

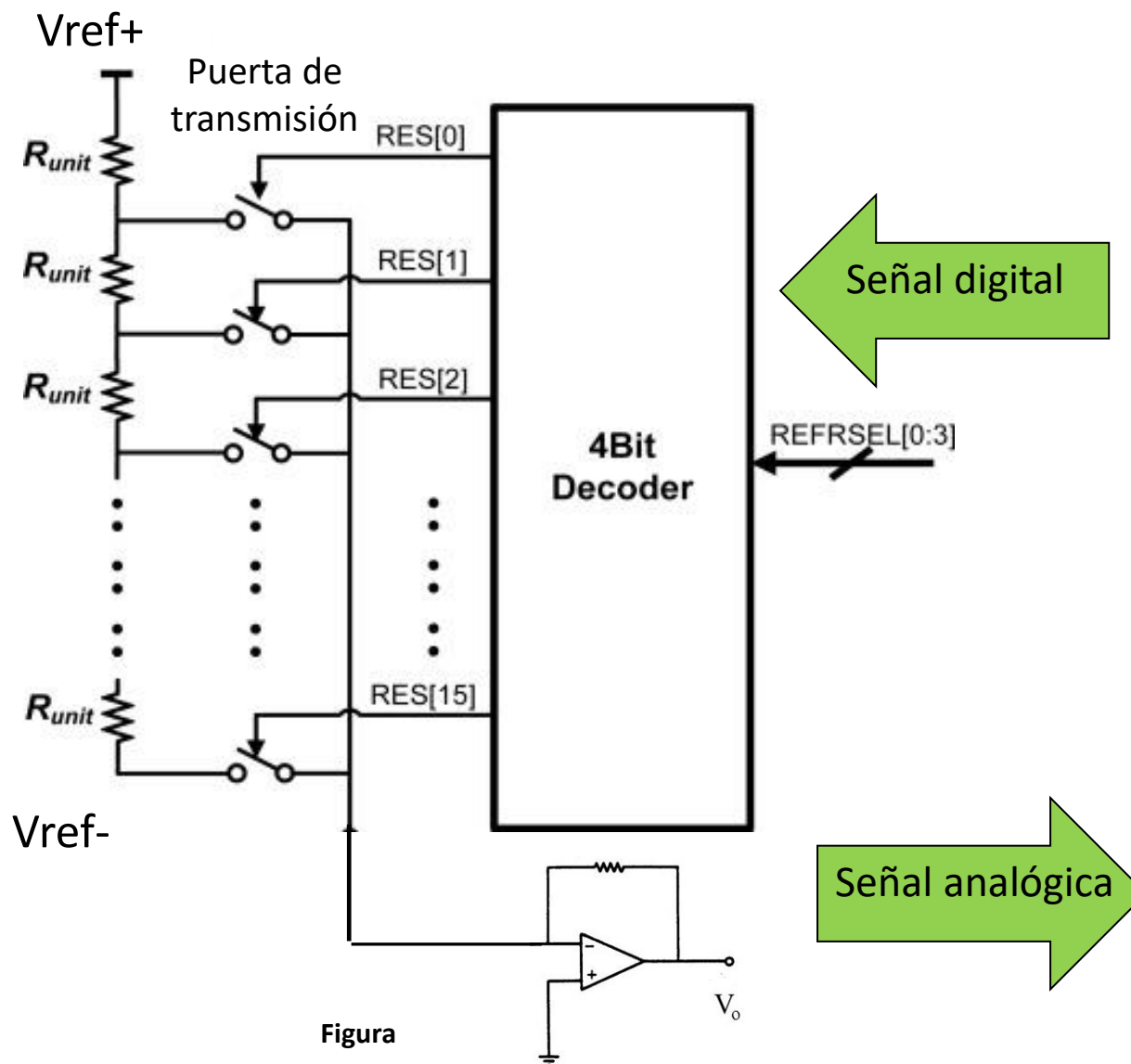
# DAC Básico: Resistivo

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
  - Binario
  - Ladder R/2R
  - Otros DACs
- ### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)
- Doble rampa, Sobremuestreo
  - Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
  - Paralelo (Flash), Pipeline
  - Otros ADCs



Figura

- Funciona con tensiones
- Es un circuito muy simple
- Tiempo de establecimiento casi cero -> Muy rápido
- Válido sólo para muy pocos bits porque el número de resistencias debe ser el mismo que el número de niveles de cuantificación ( $=2^n$ ) y las resistencias son críticas en los circuitos integrados

$$V_o = ((V_{ref+}) - (V_{ref-})) * (V_{R_{unit}}/n)$$

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo

- Binario

- Ladder R/2R

- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

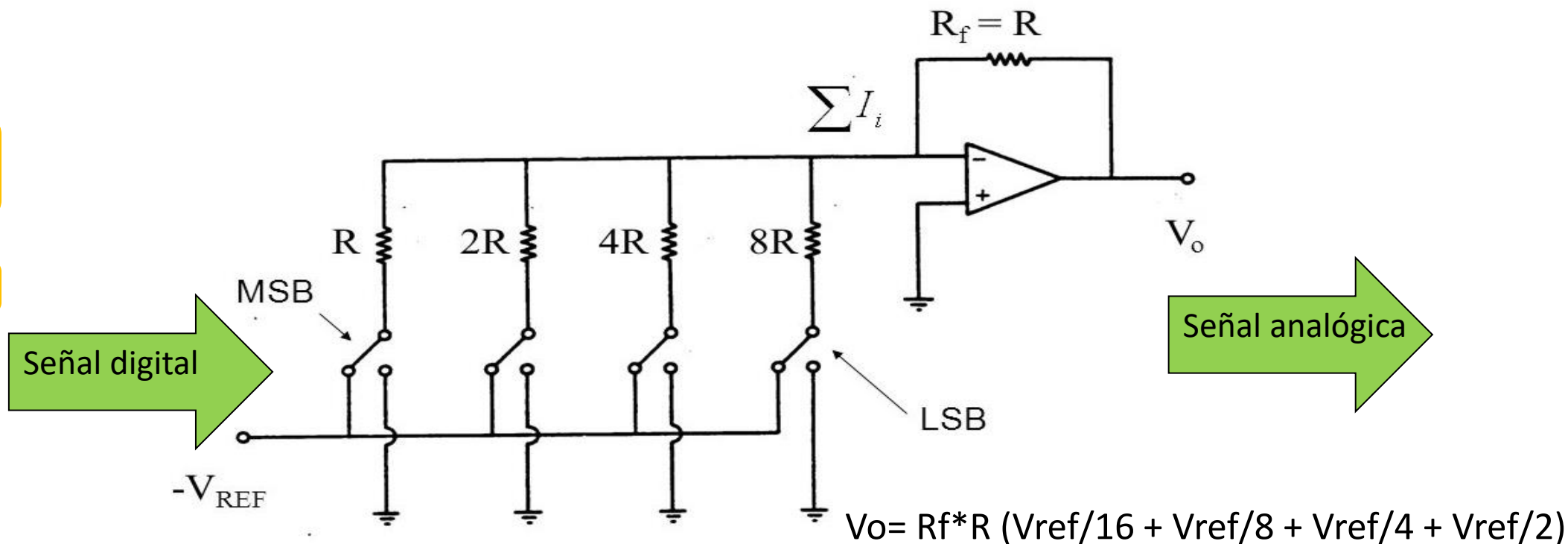
- Doble rampa,  
Sobremuestreo

- Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

- Paralelo (Flash), Pipeline

- Otros ADCs

# DAC Básico: Binario



Figura

- Funciona con corrientes
- Es un circuito muy simple
- Tiempo de establecimiento casi cero -> Muy rápido
- Válido para muchos bits porque el número de resistencias debe ser el mismo que el número de bits para codificar
- Problemas con los grandes tamaños de resistencia y las relaciones entre ellas

# Tema 4: Conversión AD/DA

## 1. Conceptos principales

## 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo

- Binario

- Ladder R/2R

- Otros DACs

## 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo

- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico

- Paralelo (Flash), Pipeline

- Otros ADCs

# DAC Básico: Ladder R/2R (I)

- Sólo 2 tipos de resistencia y siempre una es el doble o la otra
- Utiliza la ley de Kirchhoff que establece que la suma de las corrientes que entran en un nodo debe ser igual a la suma de las corrientes que salen del mismo. En la imagen superior en el nodo la corriente se divide por la mitad. Al cambiar las corrientes en cada nodo, la corriente total que fluye es ponderada en binario
- El truco ahora es usar el teorema de Thevenin en cada nodo de cada bit binario y ver que la resistencia es siempre la misma en la salida y proporcional al número binario (imagen inferior)

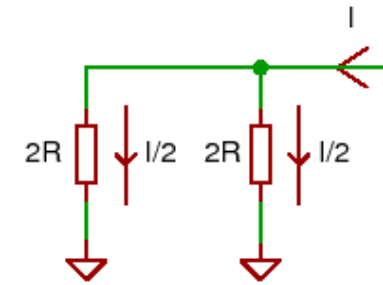


Figura 1

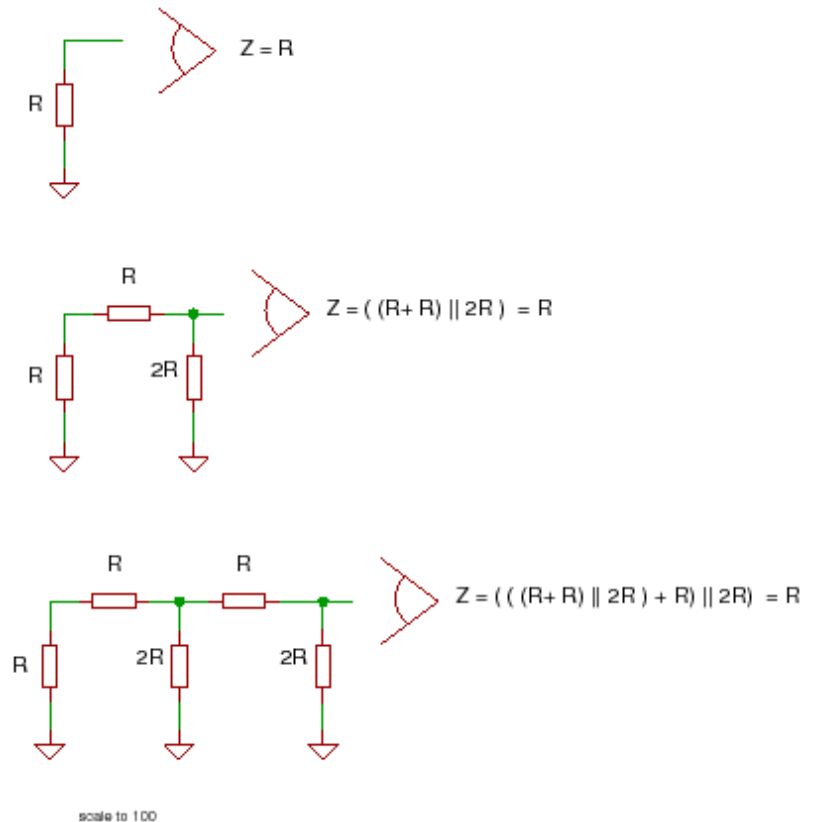


Figura 2

Figura 1: <https://www.best-microcontroller-projects.com/R-2R-ladder.htm>  
 Figura 2: <https://www.best-microcontroller-projects.com/R-2R-ladder.html>

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

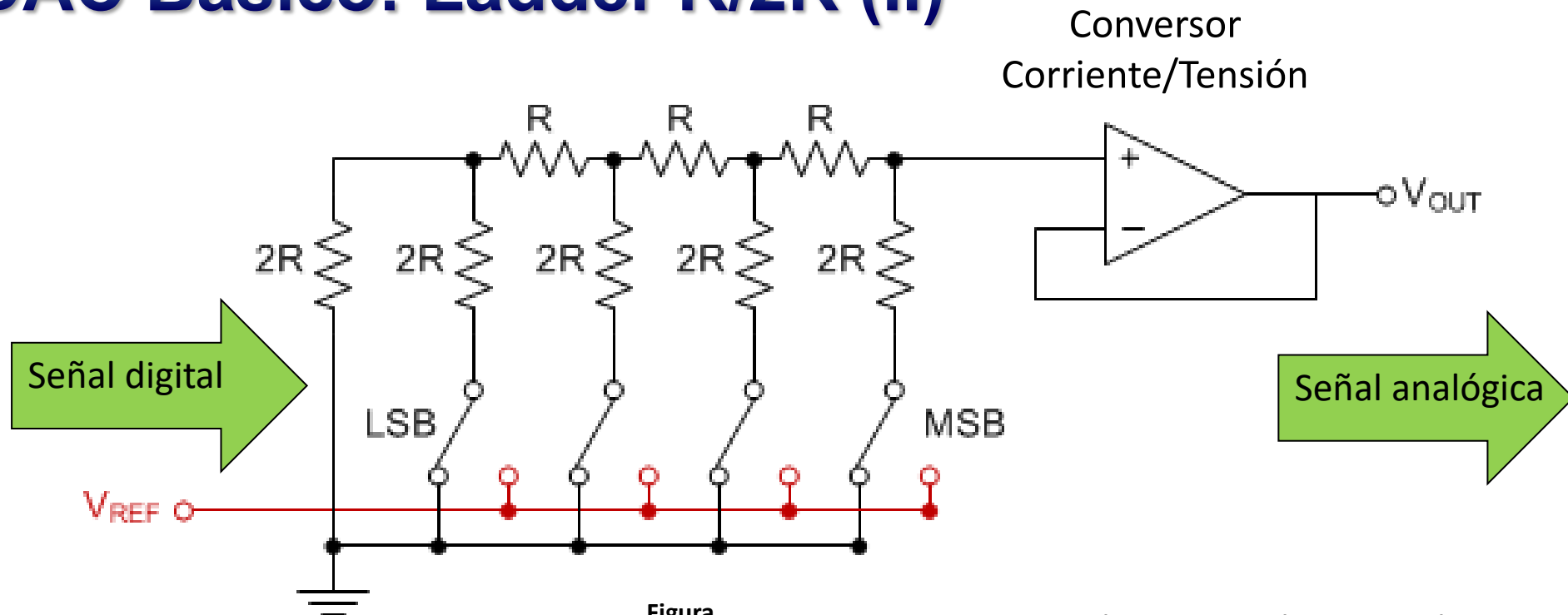
### 2. Conversión Digital/Análogica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Análogica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# DAC Básico: Ladder R/2R (II)



Figura

$$V_{out} = R (V_{ref}/16 + V_{ref}/8 + V_{ref}/4 + V_{ref}/2)$$

- Funciona con corrientes
- Un circuito muy simple
- Tiempo de establecimiento casi cero
- Válido para muchos bits porque el número de resistencias debe ser sólo el doble del número de bits para codificar
- Sin problemas con los tamaños y proporciones de las resistencias
- Por lo tanto, es el circuito más utilizado



# Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

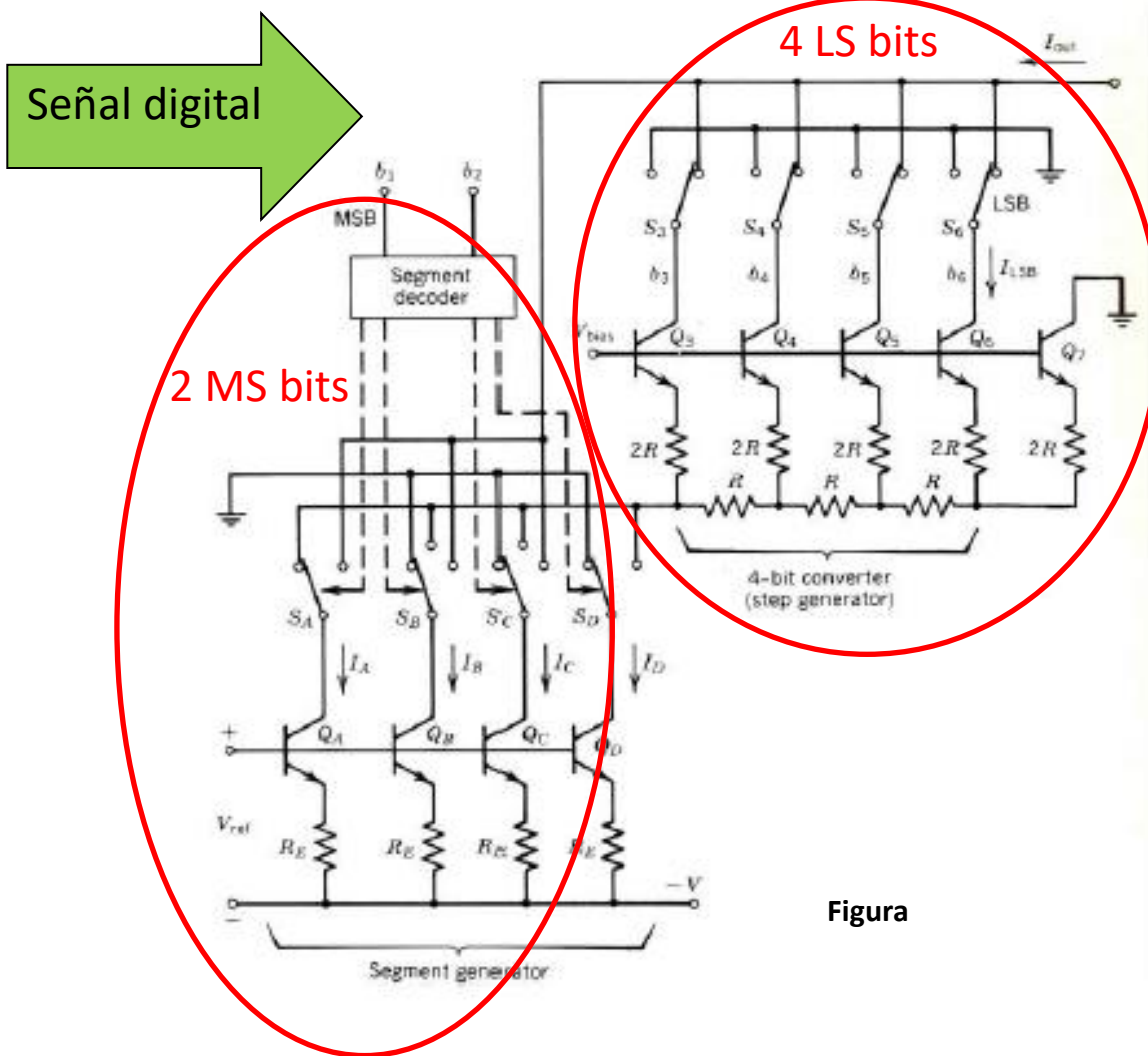
2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

## Otros DACs: Segmentado



Figura

Señal analógica

- Funciona con corrientes
- Es un convertidor en el que se mezclan varias arquitecturas (por ejemplo, binario y Ladder)
- Por ejemplo, un convertidor segmentado de 6 bits con una parte R-2R para los 4 bits menos significativos y una parte binaria con un decodificador de segmentos para los 2 bits más significativos
- La ventaja es que la precisión de la conversión es mayor
- Pero el circuito es más complejo

# Otros DACs: BCD-Analógico

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

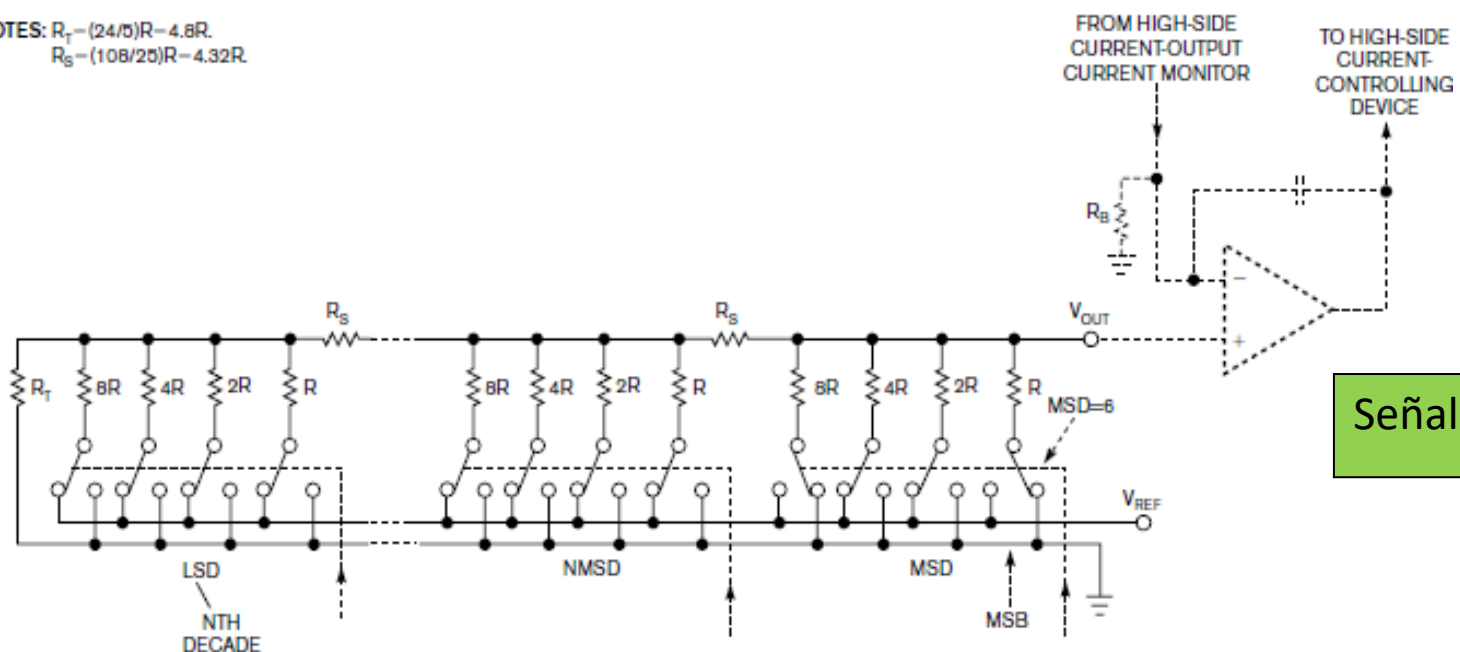
- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs



NOTES:  $R_1 = (24/5)R = 4.8R$   
 $R_5 = (108/25)R = 4.32R$



- También hay convertidores para códigos binarios no naturales (BCD, etc...)
- En esta diapositiva se puede ver un conversor BCD-Analógico de n bits usando una estructura DAC binaria
- Todas las relaciones de las resistencias están diseñadas para sopesar el código BCD y obtener el valor analógico correspondiente

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# Otros DACs: Sigma-Delta (I)

- Basados en la tecnología de modulación Sigma-Delta, sólo es necesario un simple convertidor con una resolución de 1 bit
- Los DAC con una resolución de más de 16 bits se construyen hoy en día usando esta tecnología
- Son especialmente óptimos para aplicaciones de audio y video
- Ventajas:
  - Alta precisión
  - Alta linealidad
  - Reducción del ruido
  - Bajo coste
- Desventajas:
  - Tiempos de conversión altos debido al sobremuestreo

# Otros DACs: Sigma-Delta (II)

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

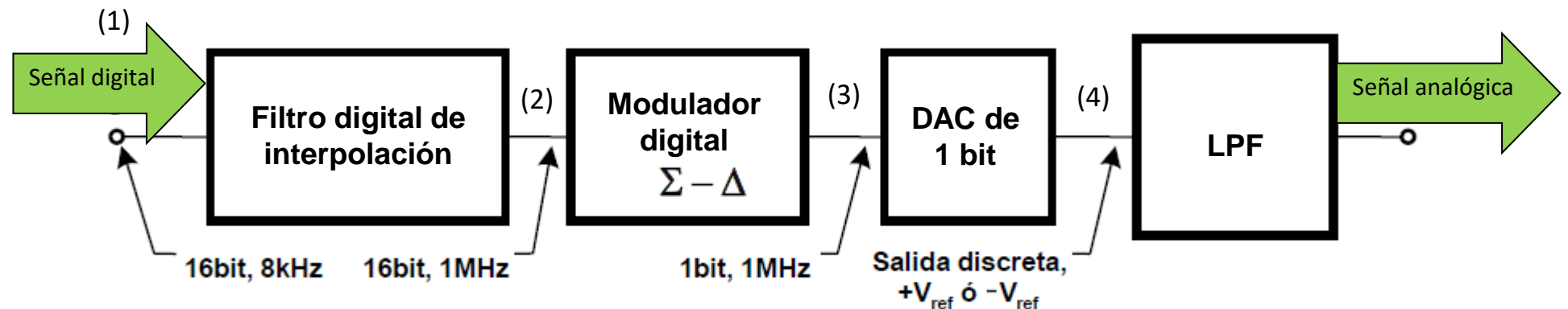
### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

- La señal digital (1) se interpola utilizando una alta frecuencia de muestreo. Esta señal (2) se modula utilizando un modulador digital Sigma-Delta que obtiene señales de 1 bit (3). Estas señales se introducen en un DAC de 1 bit y las salidas (4) se aplican finalmente a un filtro paso bajo para obtener finalmente la señal analógica deseada. Este filtro paso bajo (LPF) es muy complejo de diseñar debido a la alta frecuencia de muestreo



# DAC en formato chip: DAC0830

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

## DAC0830/DAC0831/DAC0832 8-Bit $\mu$ P Compatible, Double-Buffered D to A Converters

### General Description

The DAC0830 is an advanced CMOS/Si-Cr 8-bit multiplying DAC designed to interface directly with the 8080, 8048, 8085, Z80<sup>®</sup>, and other popular microprocessors. A deposited silicon-chromium R-2R resistor ladder network divides the reference current and provides the circuit with excellent temperature tracking characteristics (0.05% of Full Scale Range maximum linearity error over temperature). The circuit uses CMOS current switches and control logic to achieve low power consumption and low output leakage current errors. Special circuitry provides TTL logic input voltage level compatibility.

Double buffering allows these DACs to output a voltage corresponding to one digital word while holding the next digital word. This permits the simultaneous updating of any number of DACs.

The DAC0830 series are the 8-bit members of a family of microprocessor-compatible DACs (MICRO-DAC<sup>™</sup>). For applications demanding higher resolution, the DAC1000 series (10-bits) and the DAC1208 and DAC1230 (12-bits) are available alternatives.

### Features

- Double-buffered, single-buffered or flow-through digital data inputs
- Easy interchange and pin-compatible with 12-bit DAC1230 series
- Direct interface to all popular microprocessors
- Linearity specified with zero and full scale adjust only—NOT BEST STRAIGHT LINE FIT.
- Works with  $\pm 10V$  reference-full 4-quadrant multiplication
- Can be used in the voltage switching mode
- Logic inputs which meet TTL voltage level specs (1.4V logic threshold)
- Operates "STAND ALONE" (without  $\mu$ P) if desired
- Available in 20-pin DIP package or molded chip carrier package

### Key Specifications

- Current settling time: 1  $\mu$ s
- Resolution: 8 bits
- Linearity (guaranteed over temp.): 8, 9, or 10 bits
- Gain Tempco: 0.0002% FS/°C
- Low power dissipation: 20 mW
- Single power supply: 5 to 15 Vdc

8-BIT<sup>™</sup> and MICRO-DAC<sup>™</sup> are trademarks of National Semiconductor Corporation. Z80<sup>®</sup> is a registered trademark of Zilog Corporation.

### Typical Application

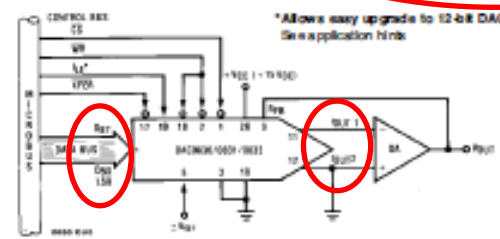


Figura 1

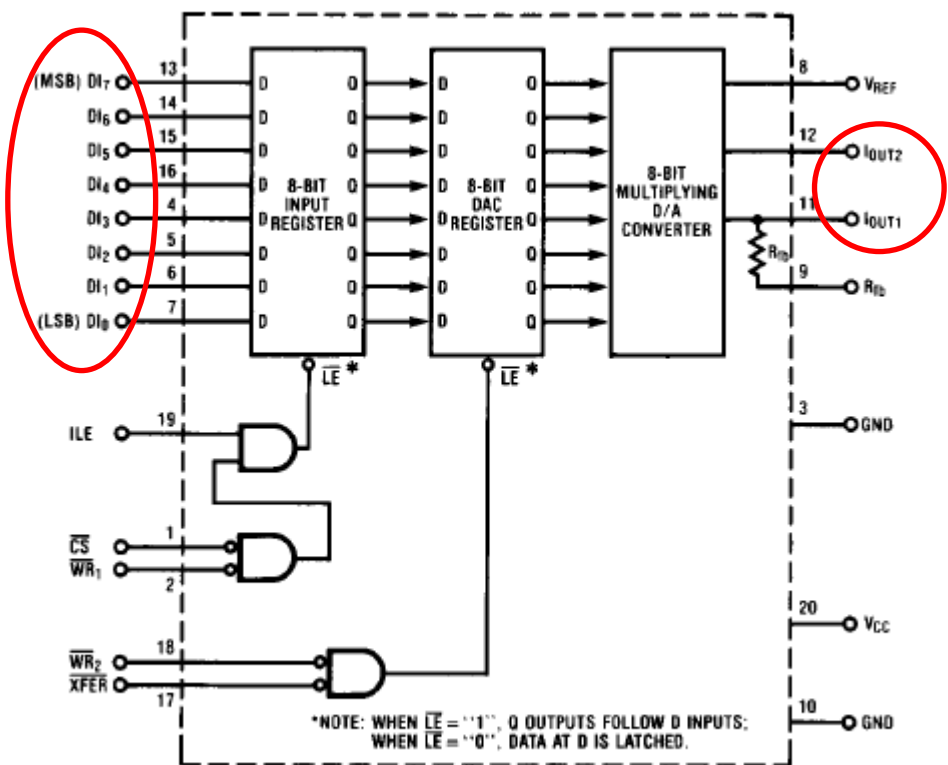


FIGURE 1. DAC0830 Functional Diagram

Figura 2

Figura 1: Archivo "DAC0830/DAC0831/DAC0832 - Product data sheet", 1995, Pag. 1  
 Figura 2: Archivo "DAC0830/DAC0831/DAC0832 - Product data sheet", 1995, Pag. 6



# DAC en formato chip: TC1320

## Tema 4: Conversión AD/DA

### 1. Conceptos principales

### 2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R

### Otros DACs

### 3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

## 8-Bit Digital-to-Analog Converter with Two-Wire Interface

### Features

- 8-bit Digital-to-Analog Converter
- $\pm 2$  LSB INL
- $\pm 0.8$  LSB DNL
- 2.7-5.5V Single Supply Operation
- Simple SMBus/I<sup>2</sup>C™ Serial Interface
- Low Power: 350 $\mu$ A Operation, 0.5 $\mu$ A Shutdown
- 8-Pin SOIC and 8-Pin MSOP Packages

### Applications

- Programmable Voltage Sources
- Digital Controlled Amplifiers/Attenuators
- Process Monitoring and Control

### Device Selection Table

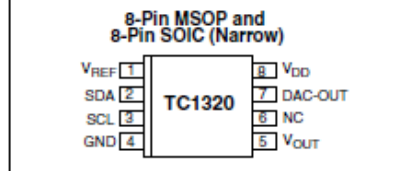
Part Number	Package	Temperature Range
TC1320EOA	8-Pin SOIC (Narrow)	-40°C to +85°C
TC1320EUA	8-Pin MSOP	-40°C to +85°C

### General Description

The TC1320 is a serially accessible 8-bit voltage output digital-to-analog converter (DAC). The DAC produces an output voltage that ranges from ground to an externally supplied reference voltage. It operates from a single power supply that can range from 2.7V to 5.5V, making it ideal for a wide range of applications. Built into the part is a Power-on Reset function that ensures that the device starts at a known condition.

Communication with the TC1320 is accomplished via a simple 2-wire SMBus/I<sup>2</sup>C™ compatible serial port with the TC1320 acting as a slave only device. The host can enable the SHDN bit in the CONFIG register to activate the Low Power Standby mode.

### Package Type



### Typical Application

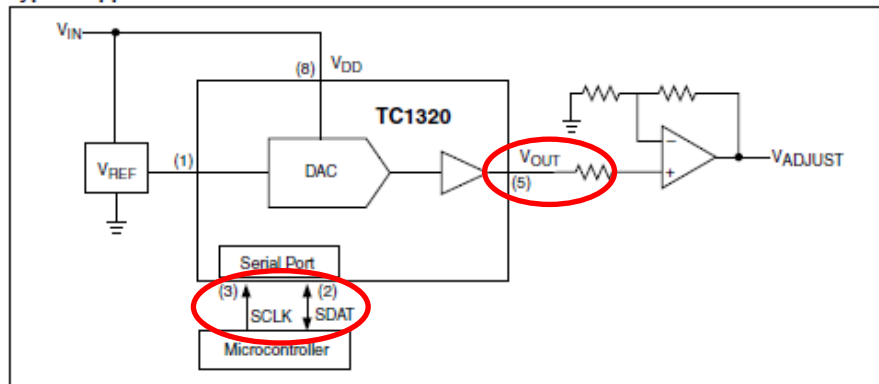


Figura 1

Figura 1: Archivo "TC1320 - Product data sheet, DS21386B", 2002, Pag. 1

Figura 2: Archivo "TC1320 - Product data sheet, DS21386B", 2002, Pag. 2

### Functional Block Diagram

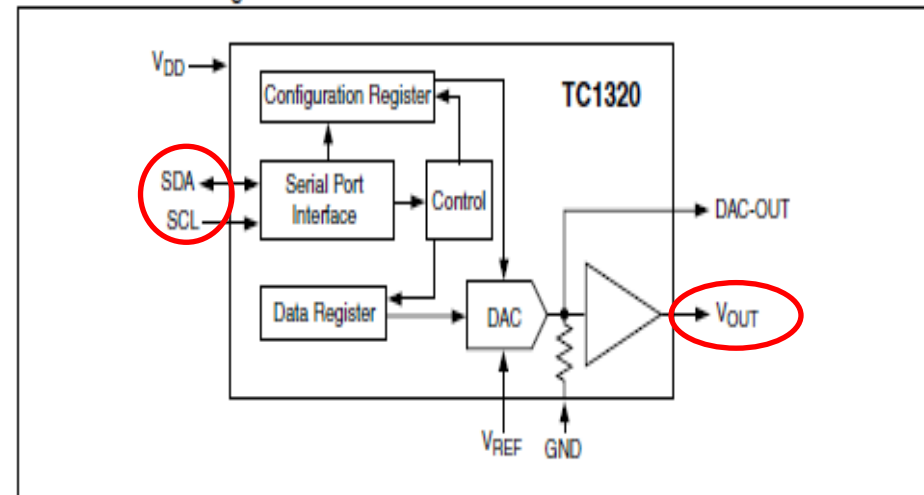


Figura 2

# Conversores Analógicos/Digitales (ADCs)

# Conversión Analógica-Digital

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

- Resistivo

- Binario

- Ladder R/2R

- Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

- Doble rampa,  
Sobremuestreo

- Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

- Paralelo (Flash), Pipeline

- Otros ADCs

- Hay muchas tecnologías de conversión AD que juegan siempre entre la velocidad y la precisión, porque cuanto más rápida es la velocidad, menos precisión se puede obtener y viceversa
- Es el principio de incertidumbre de Heissenberg aplicado a la electrónica

Velocidad media-baja Alta precisión	Velocidad media Precisión media	Velocidad alta Precisión media-baja
<p><b>Doble rampa (integratdr) Sobremuestreo</b></p>	<p><b>Aproximaciones sucesivas Algorítmico</b></p>	<p><b>Paralelo (Flash)</b> 2 pasos Interpolador Folding <b>Pipeline</b> Time Interleaved</p>



# Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión Digital/Análogica (DAC)

- Resistivo

- Binario

- Ladder R/2R

- Otros DACs

3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo

- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico

- Paralelo (Flash), Pipeline

- Otros ADCs

# ADC: Doble rampa

Señal analógica

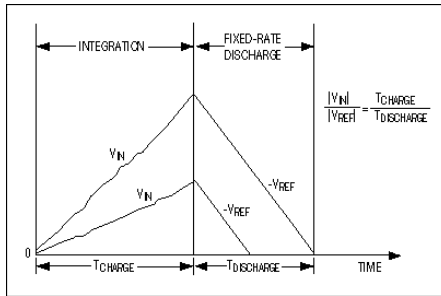


Figura 1

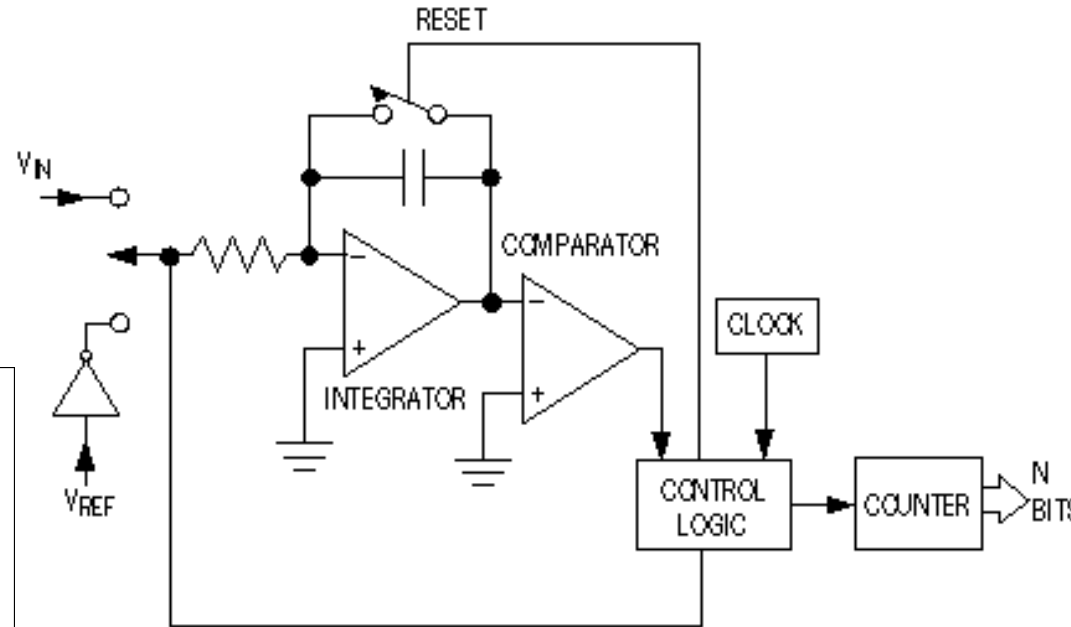


Figura 2

- La precisión es máxima

- Pero es muy lento

Señal digital

- Se basa en la carga de un condensador usando un tiempo fijo (por lo que la tensión cargada sería proporcional a la tensión de entrada) y la medición del tiempo de descarga de ese condensador
- El contador da directamente el valor digital, simplemente comparando el tiempo contado en la descarga del condensador para la tensión de entrada con el tiempo necesario para descargarlo con la tensión de entrada máxima

Figura 1: [https://www.pc-control.co.uk/atod\\_types.htm](https://www.pc-control.co.uk/atod_types.htm)  
 Figura 2: [https://www.pc-control.co.uk/atod\\_types.htm](https://www.pc-control.co.uk/atod_types.htm)

# Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

- Resistivo
- Binario
- Ladder R/2R
- Otros DACs

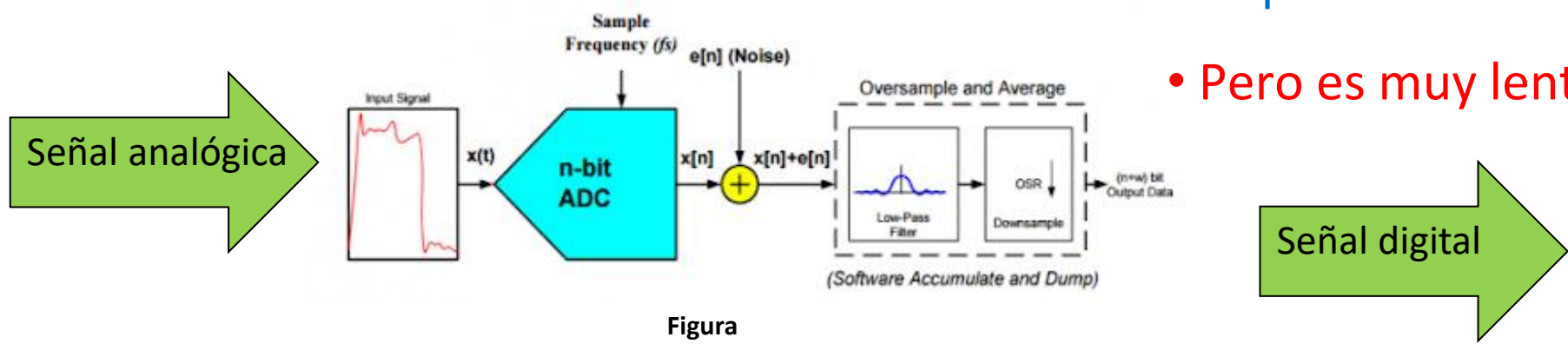
3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo
- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico
- Paralelo (Flash), Pipeline
- Otros ADCs

# ADC: Sobremuestreo

- La tasa de muestreo está muy por encima del ancho de banda de la señal
- La cuantificación se combina con la retroalimentación para proporcionar una estimación precisa de la señal de entrada en un sentido "promedio".
- El error de cuantificación en la salida digital puede ser eliminado por el filtro digital
- La resolución/precisión de los conversores de sobremuestreo se logra con una secuencia de muestras (sentido "promedio") en lugar de una sola muestra

- La precisión es máxima
- Pero es muy lento



Figura

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

• Resistivo

• Binario

• Ladder R/2R

• Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

• Doble rampa,  
Sobremuestreo

• Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

• Paralelo (Flash), Pipeline

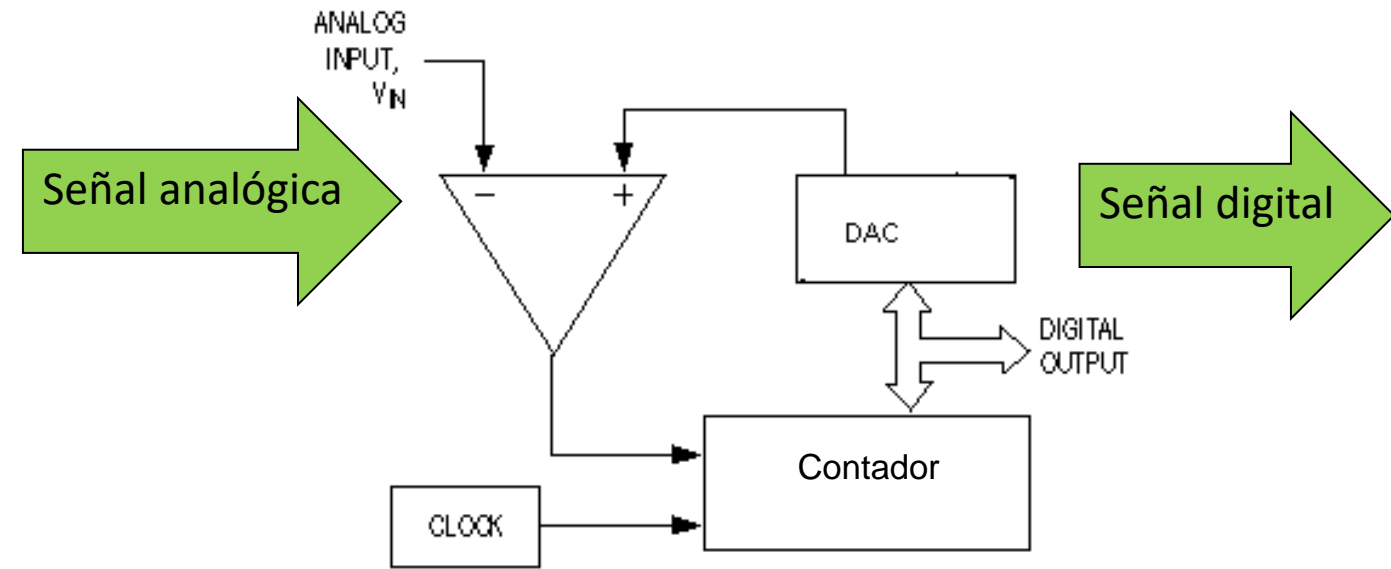
• Otros ADCs

# ADC: Aproximaciones sucesivas

- Son más rápidos que los anteriores ADC

- Pero la precisión es peor

- Otra desventaja importante es que los tiempos de conversión no son los mismos para todos los valores



Figura

- Se basa en la comparación de la tensión de entrada a convertir ( $V_{in}$ ) con una tensión interna que cambia automáticamente ( $V_{Aout}$ ) y ejecutándolo muchas veces hasta que el comparador encuentra el valor deseado por aproximaciones sucesivas
- La tensión interna que cambia para comparar está dada por un DAC interno según el código binario del contador que comienza con 0, por ejemplo

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

• Resistivo

• Binario

• Ladder R/2R

• Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

• Doble rampa,  
Sobremuestreo

• Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

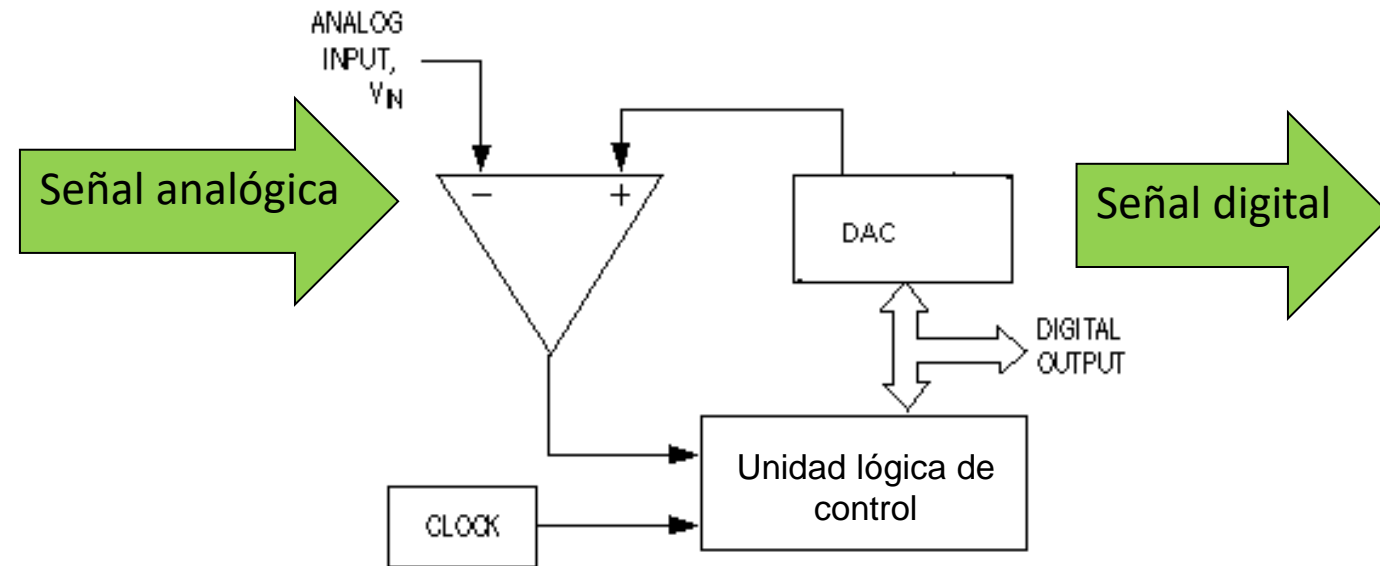
• Paralelo (Flash), Pipeline

• Otros ADCs

# ADC: Algorítmico

- Las mismas ventajas y desventajas que el ADC de aproximaciones sucesivas

- Pero ahora los tiempos de conversión son los mismos para todos los valores



Figura

- En este caso se utiliza un ADC de aproximaciones sucesivas pero con una unidad lógica de control en lugar de un simple contador
- Usamos la propiedad binaria en la que el bit más significativo en un número binario divide las posibles combinaciones de números por la mitad y ahora tenemos un ADC de aproximaciones sucesivas con el mismo tiempo de conversión para cada valor => Ciclos para comparar = Número de bits + 1

# ADC: Paralelo (Flash)

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

- Resistivo

- Binario

- Ladder R/2R

- Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

- Doble rampa,  
Sobremuestreo

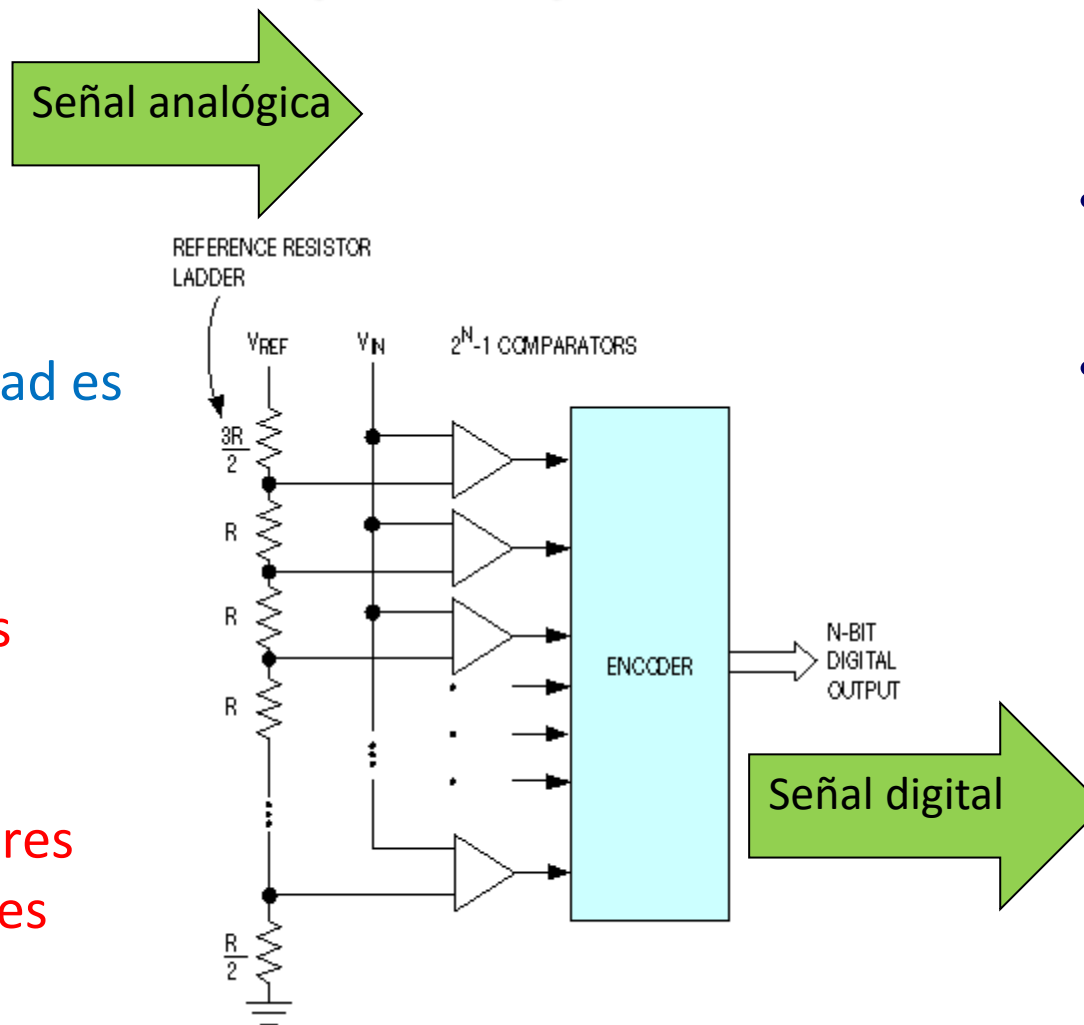
- Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

- Paralelo (Flash), Pipeline

- Otros ADCs

- La velocidad es máxima

- Pero la precisión es pobre y el número de comparadores necesarios es alto



Figura

- La idea es la misma que en el DAC resistivo
- Se basa en la comparación de la tensión de entrada con muchas tensiones inferiores y proporcionales, de modo que el codificador de prioridad proporciona el valor binario de acuerdo con su entrada después de las comparaciones

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

• Resistivo

• Binario

• Ladder R/2R

• Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

• Doble rampa,  
Sobremuestreo

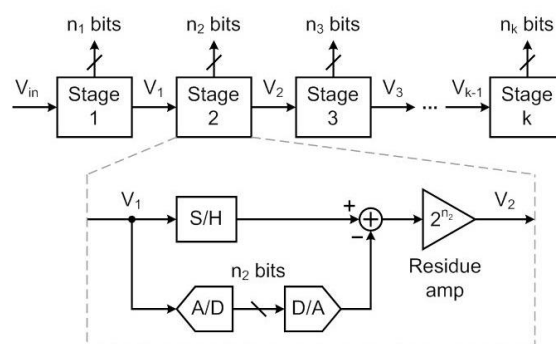
• Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

• Paralelo (Flash), Pipeline

• Otros ADCs

# ADC: Pipeline

- El gran problema de un convertidor Flash es el alto número de comparadores necesarios
- Usando un ADC Pipeline el número de comparadores se reduce considerablemente
- Por ejemplo, para un ADC Flash de 8 bits es necesario utilizar 256 comparadores, pero con un ACD Pipeline de 8 bits (con 2 pasos) basado en una arquitectura Flash sólo es necesario utilizar 32 comparadores
- La señal analógica pasa a través de un circuito de “sample & hold” obteniendo la señal muestreada. Esta señal muestreada pasa a través de un ADC “subflash” y un DCA para obtener la señal cuantificada. La señal muestreada y la señal cuantificada se restan para obtener una señal, que es amplificada por un amplificador para obtener la señal de salida residual para este paso. Este procedimiento se repite varias veces para obtener la señal digital final



Figura

• La velocidad es máxima

• La precisión es pobre, pero el número de comparadores necesarios es muy reducido



## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

• Resistivo

• Binario

• Ladder R/2R

• Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

• Doble rampa,  
Sobremuestreo

• Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

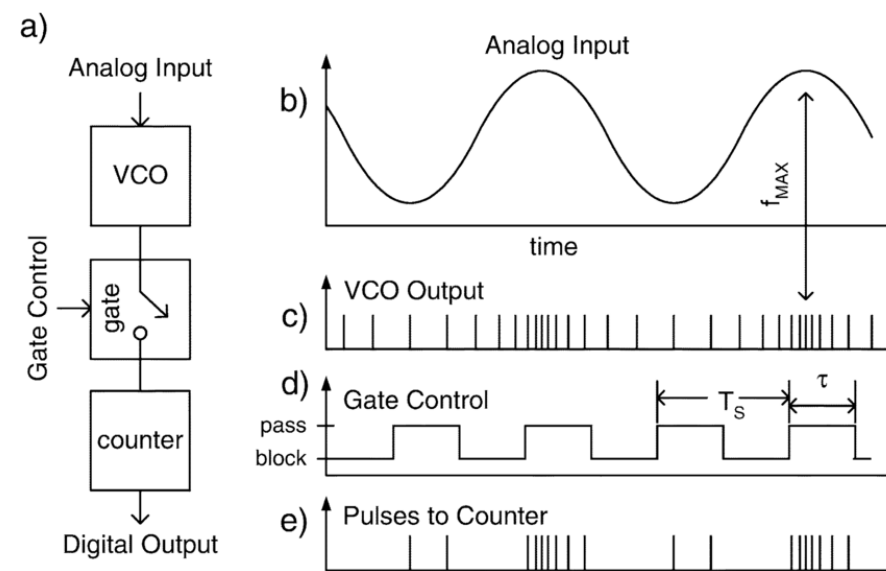
• Paralelo (Flash), Pipeline

• Otros ADCs

# Otros ADCs: Tensión-Frecuencia

- Este conversor tiene dos pasos diferentes. El primer paso convierte la señal analógica en una frecuencia y el segundo paso hace una medida de esa frecuencia
- La principal ventaja de este convertidor es la gran capacidad de aislamiento. Si la salida del convertidor se conecta a un opto-acoplador, el aislamiento obtenido es completo

- Diagrama de bloques
- Señal analógica de entrada
- Pulso de salida del conversor Tensión-Frecuencia (VCO)
- Señal de control de la puerta
- Pulso resultante, que se envía al contador para medir la frecuencia y obtener la señal digital final



Figura

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

• Resistivo

• Binario

• Ladder R/2R

• Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

• Doble rampa,  
Sobremuestreo

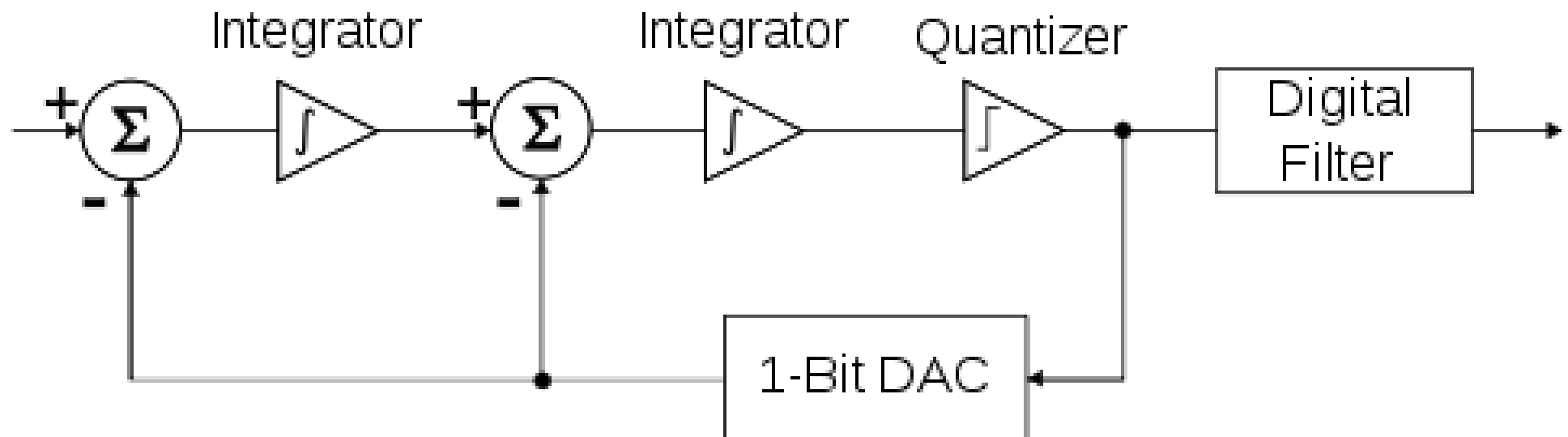
• Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

• Paralelo (Flash), Pipeline

• Otros ADCs

# Otros ADCs: Sigma-Delta

- Un modulador SD clásico de primer orden está compuesto por un integrador, un muestreador, un cuantificador uniforme de un bit y un convertidor D/A en el camino de realimentación
- Tienen una velocidad de conversión máxima baja, pero una relación señal-ruido muy alta



Figura



# ADC en formato chip: MAX135

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

- Resistivo

- Binario

- Ladder R/2R

- Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

- Doble rampa,  
Sobremuestreo

- Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

- Paralelo (Flash), Pipeline

- Otros ADCs

### General Description

The MAX135 is a CMOS 15-bit, binary-output analog-to-digital converter (ADC). Multi-slope integration provides low-noise and high-resolution conversions in less time than standard integrating ADCs: The MAX135 is tested at 16 conversions per second, but operates at up to 6 times that rate. The MAX135 uses Super LSBs with data averaging to achieve 18-bit resolution.

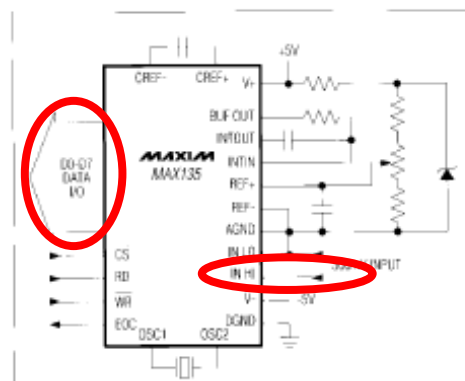
Supply current is 125µA maximum during normal operation and only 10µA maximum in sleep mode. Low conversion noise allows tested operation at only 300mV full scale (15µV per LSB). A simple 8-bit parallel data bus and three control lines easily interface to all common microprocessors, and two's-complement output coding simplifies bipolar measurements.

High resolution and compact size make the MAX135 ideal for data loggers, numerical control systems, weigh scales, data-acquisition systems, and panel meters. The MAX135 comes in 28-pin DIP and SO packages in both commercial and extended temperature grades.

### Applications

Data Acquisition  
 Battery-Powered Instruments  
 Control Applications  
 Analog-Signal Measurement  
 Pressure, Flow, Temperature, Voltage,  
 Current, Resistance, Weight

### Functional Diagram



### Features

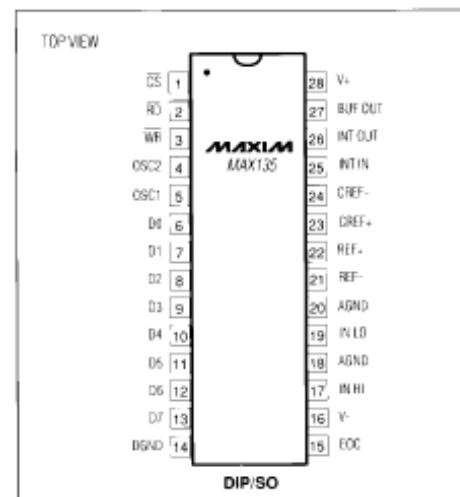
- ◆ 15-Bit, Multi-Slope Integrating ADC
- ◆ 15µV Resolution at 16 Conv/Sec
- ◆ Low Supply Current
  - 125µA Max (Normal Operation)
  - 10µA Max (Sleep-Mode Operation)
- ◆ ±0.005% Accuracy at 16 Conv/Sec
- ◆ 3 Super Bits for 18-Bit Resolution
- ◆ Low Noise - Operates at 300mV Full Scale
- ◆ Easy µP Interface - 8-Bit Parallel Data Bus
- ◆ ±10µA Input Leakage Current
- ◆ Small 28-Pin DIP and SO Packages

### Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX135CPI	0°C to +70°C	28 Plastic DIP
MAX135CWI	0°C to +70°C	Wide SO
MAX135CID	0°C to +70°C	Dice*
MAX135EPI	-40°C to +85°C	28 Plastic DIP
MAX135EWI	-40°C to +85°C	28 Wide SO

\* Contact factory for dice specifications.

### Pin Configuration



MAX135

Figura

# ADC dentro de un micro: PIC18F2525 (I)

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión Digital/Analógica (DAC)

- Resistivo

- Binario

- Ladder R/2R

- Otros DACs

3. Conversión Analógica/Digital (ADC)

- Doble rampa, Sobremuestreo

- Aproximaciones sucesivas, Algorítmico

- Paralelo (Flash), Pipeline

- Otros ADCs

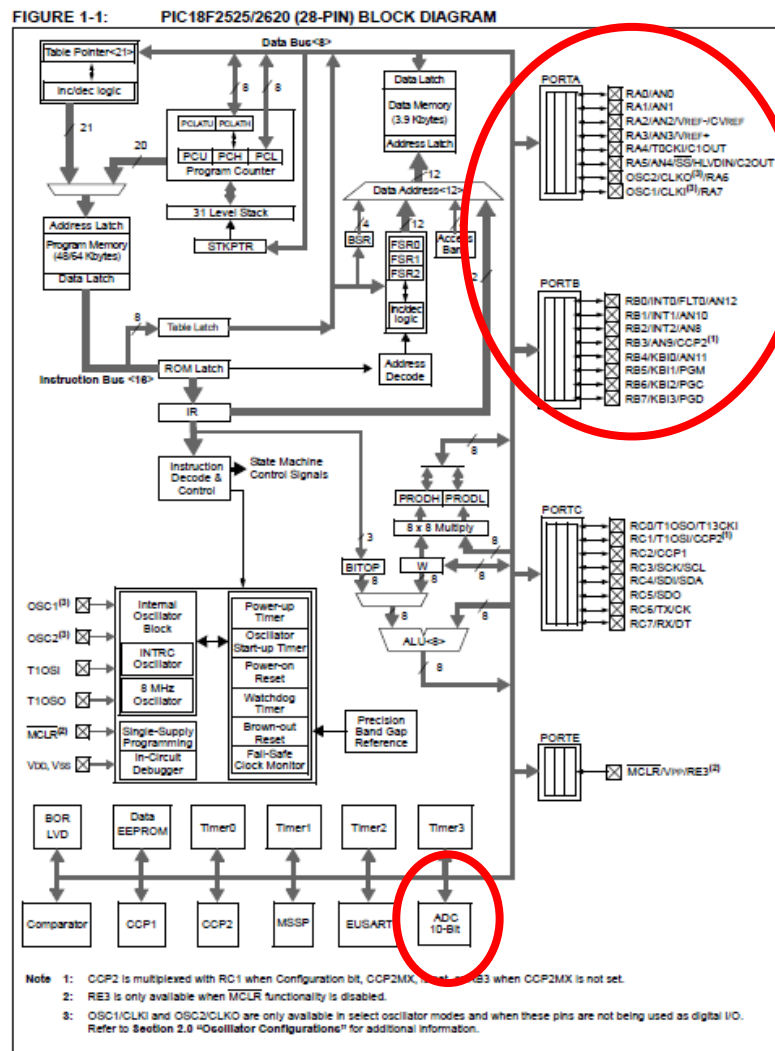


Figura 1

Figura 1: Archivo "PIC18F2525/2620/4525/4620 - Product data sheet, DS39626E", 2008, Pag. 11

Figura 2: Archivo "PIC18F2525/2620/4525/4620 - Product data sheet, DS39626E", 2008, Pag. 2

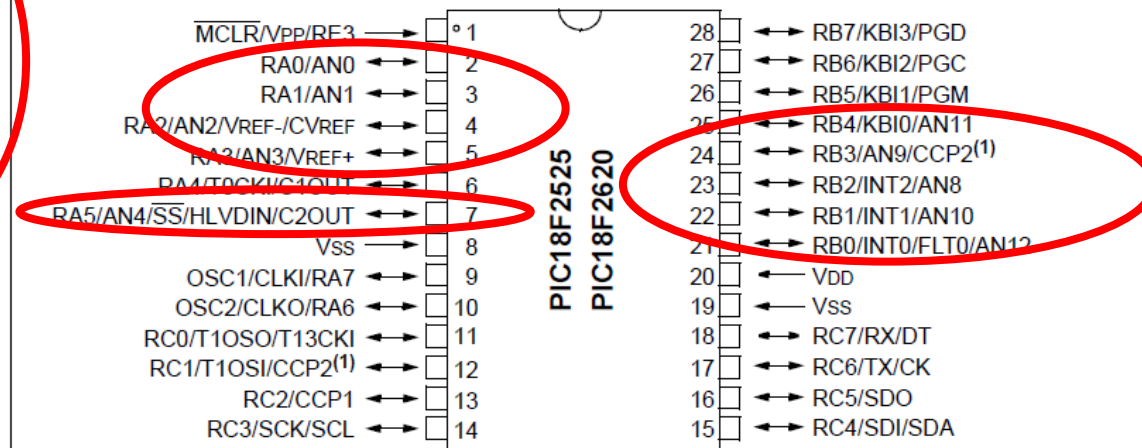


Figura 2

El microcontrolador PIC18F2525 utiliza un DAC de aproximaciones sucesivas de 10 bits, multiplexando hasta 12 posibles entradas analógicas

# ADC dentro de un micro: PIC18F2525 (II)

## Tema 4: Conversión AD/DA

1. Conceptos principales

2. Conversión  
Digital/Analógica  
(DAC)

- Resistivo

- Binario

- Ladder R/2R

- Otros DACs

3. Conversión  
Analógica/Digital  
(ADC)

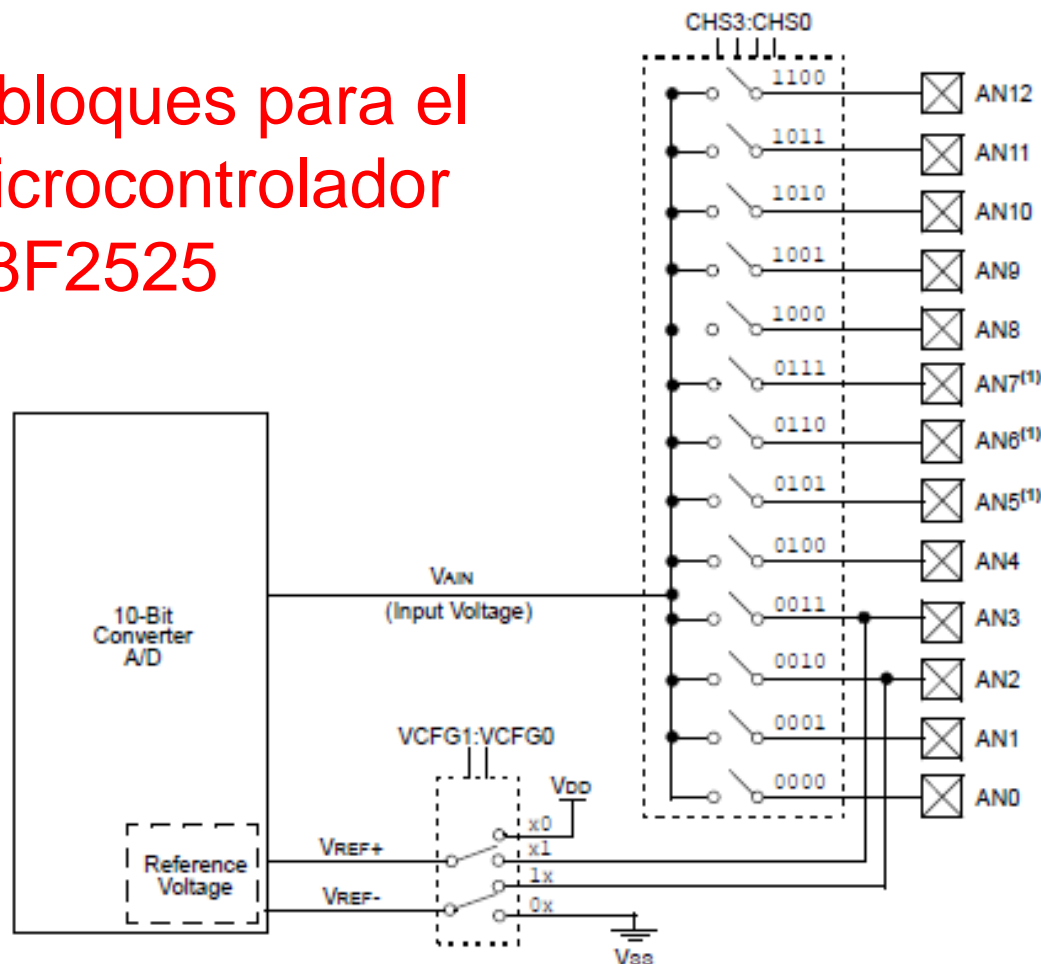
- Doble rampa,  
Sobremuestreo

- Aproximaciones sucesivas,  
Algorítmico

- Paralelo (Flash), Pipeline

- Otros ADCs

## Diagrama de bloques para el ADC en el microcontrolador PIC18F2525



Note 1: Channels AN5 through AN7 are not available on 28-pin devices.

Note 2: I/O pins have diode protection to V<sub>DD</sub> and V<sub>SS</sub>.

Figura