

# Tema 7. Conversores D/A y A/D

Isabel M. Tienda Luna

Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores  
Universidad de Granada

isabelt@ugr.es

Grado en Informática  
Curso 2012-2013

## 1 Conversión Digital-Analógica

- Tipos de convertidores D/A

## 2 Conversión Analógico-Digital

- Fases del proceso de la conversión A/D
- Tipos de convertidores A/D

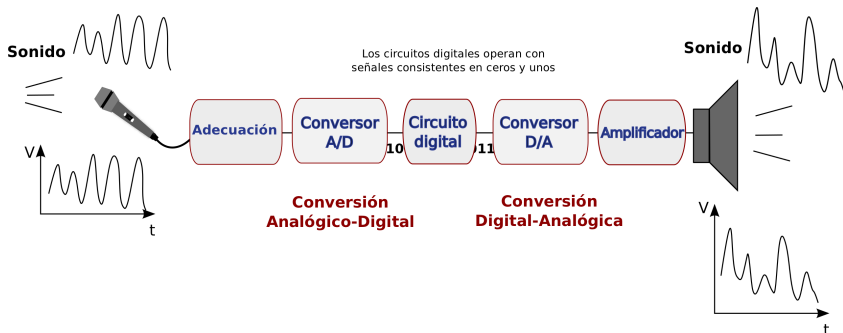
# Introducción

Hasta ahora hemos trabajado con dos tipos de señales en la asignatura:

- Señales analógicas:
  - la señal puede tomar cualquier valor en un intervalo.
  - no sólo nos interesa el estado de los dispositivos.
- Señales digitales:
  - la señal sólo puede tomar ciertos valores.
  - sólo nos interesa el estado de los dispositivos (ON/OFF).
- Ventajas de los sistemas digitales:
  - mayor precisión.
  - más baratos.
  - más fiables.
  - más inmunes al ruido.
  - pueden implementarse funciones complejas más fácilmente.
- Inconveniente de los sistemas digitales: la mayor parte de las señales en la naturaleza son analógicas.

# Introducción

## Ejemplo



## 1 Conversión Digital-Analógica

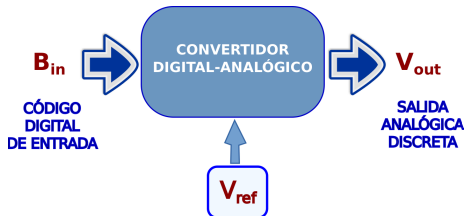
- Tipos de convertidores D/A

## 2 Conversión Analógico-Digital

- Fases del proceso de la conversión A/D
- Tipos de convertidores A/D

# Conversión Digital-Analógica

## Introducción



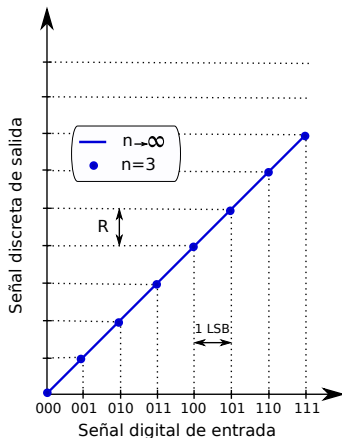
$$V_{\text{out}} = V_{\text{ref}} (b_{n-1}2^{-1} + b_{n-2}2^{-2} + \dots + b_02^{-n}) = V_{\text{ref}} B_{\text{in}} \quad (1)$$

- *Most Significant Bit* (MSB).
- *Less Significant Bit* (LSB).
- Fondo de escala (FE) =  $V_{\text{ref}} (1 - 2^{-n})$ .
- $V_{\text{LSB}} \equiv \frac{V_{\text{ref}}}{2^n}$

# Parámetros de un convertidor D/A

## Características estáticas

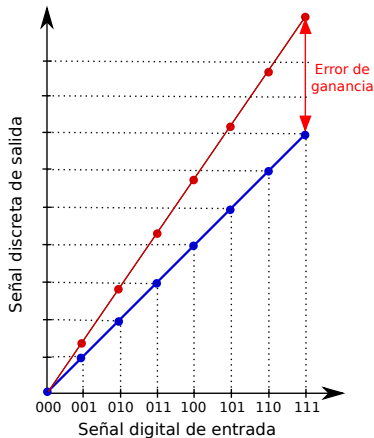
- Resolución.
- Error de ganancia.
- Error de *offset*.
- Monotonicidad.



# Parámetros de un convertidor D/A

## Características estáticas

- Resolución.
- Error de ganancia.
- Error de *offset*.
- Monotonicidad.

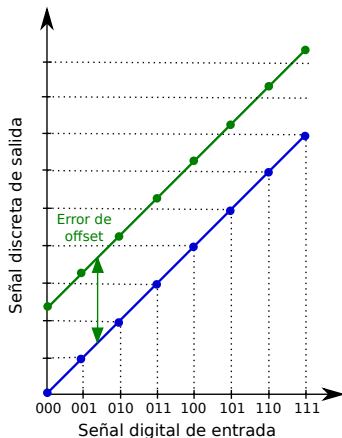




# Parámetros de un convertidor D/A

## Características estáticas

- Resolución.
- Error de ganancia.
- Error de *offset*.
- Monotonicidad.



# Parámetros de un convertidor D/A

## Características dinámicas

- **Tiempo de establecimiento:** Es el tiempo que transcurre desde que se produce el cambio de código en la entrada hasta que la salida se encuentra dentro de un margen de error de  $\pm 1/2$  la resolución del convertidor respecto al valor final que debe tomar.
- **Velocidad de cambio de la salida:** Es el cociente entre la tensión de fondo de escala y el tiempo de establecimiento necesario para alcanzar el valor de fondo de escala partiendo de cero.
- **Frecuencia de conversión:** Es la frecuencia máxima a la que se puede cambiar el código digital de entrada obteniendo la salida que le corresponde.

## 1 Conversión Digital-Analógica

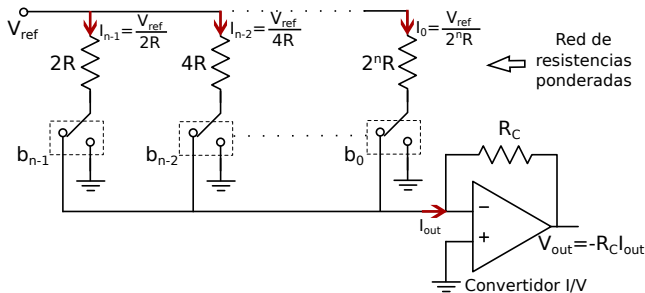
- Tipos de convertidores D/A

## 2 Conversión Analógico-Digital

- Fases del proceso de la conversión A/D
- Tipos de convertidores A/D

# Tipos de convertidores D/A

## Convertidor D/A de resistencias ponderadas

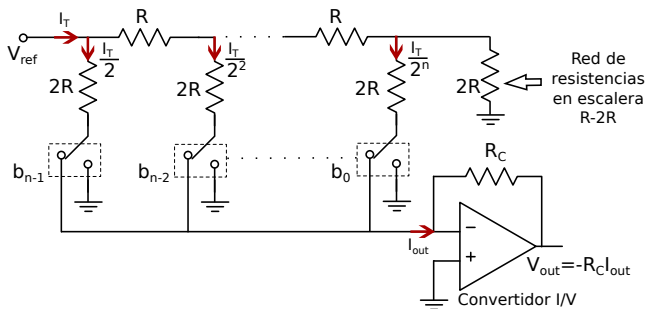


$$V_{out} = -R_C I_{out} = -V_{ref} \frac{R_C}{2^n R} \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i \quad (2)$$

**Inconveniente:** es necesario utilizar resistencias de valores muy distintos y con tolerancias muy pequeñas.

# Tipos de convertidores D/A

## Convertidor D/A en escalera R-2R



$$V_{\text{out}} = -R_C I_{\text{out}} = -V_{\text{ref}} \frac{R_C}{2^n R} \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i \quad (3)$$

# Tipos de convertidores D/A

## Criterios de selección

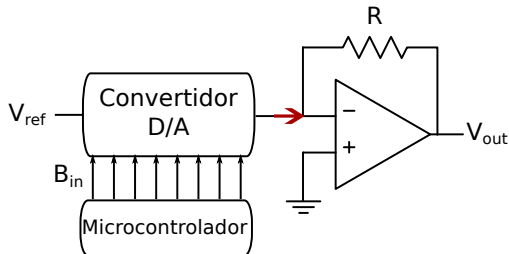
Algunos de los parámetros más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de elegir un convertidor D/A son:

- Código digital de entrada.
- Número de bits del convertidor.
- Frecuencia de conversión.
- Alimentación disponible.

# Tipos de convertidores D/A

## Ejemplo de aplicación de los convertidores D/A

- Además de constituir una parte esencial de algunos tipos de conversores A/D, los convertidores D/A se utilizan en muchas otras aplicaciones.
- Aplicaciones más comunes: amplificadores controlados digitalmente, potenciómetros digitales, integradores programables o filtros controlados digitalmente.



## 1 Conversión Digital-Analógica

- Tipos de convertidores D/A

## 2 Conversión Analógico-Digital

- Fases del proceso de la conversión A/D
- Tipos de convertidores A/D



# Conversión Analógico-Digital

## Introducción



$$V_{\text{ref}} (b_{n-1}2^{-1} + b_{n-2}2^{-2} + \dots b_02^{-n}) = V_{\text{in}} \pm V_x \quad (4)$$

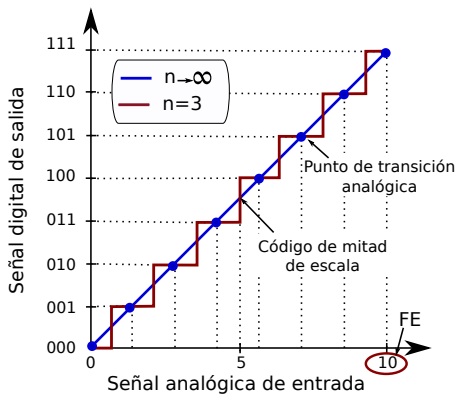
donde

$$-\frac{1}{2}V_{\text{LSB}} \leq V_x \leq \frac{1}{2}V_{\text{LSB}}$$

# Conversión Analógico-Digital

## Introducción

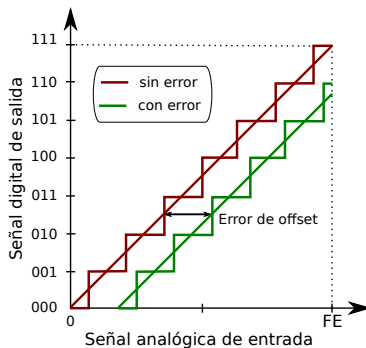
- Error de cuantificación.



# Parámetros de un convertidor A/D

## Características estáticas

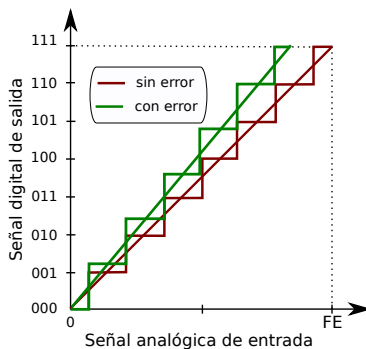
- Margen de entrada.
- Resolución.
- Error de *offset*.
- Error de ganancia.
- Monotonicidad.



# Parámetros de un convertidor A/D

## Características estáticas

- Margen de entrada.
- Resolución.
- Error de *offset*.
- Error de ganancia.
- Monotonicidad.



# Parámetros de un convertidor A/D

## Características dinámicas

- **Tiempo de conversión:** Es el tiempo necesario para que el convertidor realice una conversión.
- **Frecuencia de conversión:** Es la máxima frecuencia a la cual el convertidor puede ofrecer datos estables en su salida.

## 1 Conversión Digital-Analógica

- Tipos de convertidores D/A

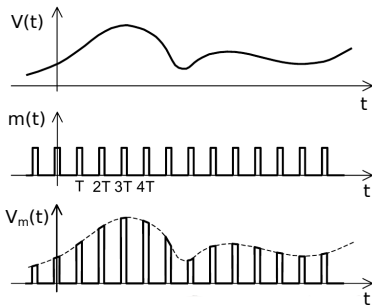
## 2 Conversión Analógico-Digital

- Fases del proceso de la conversión A/D
- Tipos de convertidores A/D

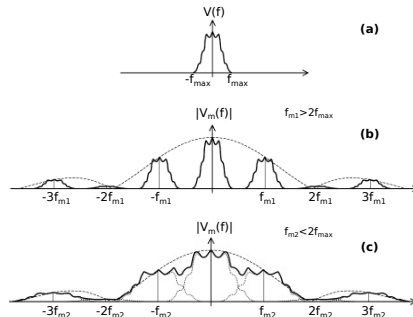
# Fases del proceso de la conversión A/D

## Fase de muestreo

La señal analógica de entrada es discreta: muestreo.



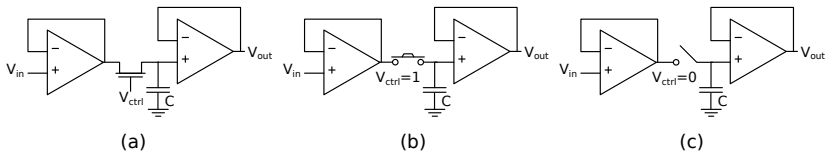
Teorema de Nyquist: *aliasing*



# Fases del proceso de la conversión A/D

## Fase de mantenimiento

- Durante el tiempo que se tarda en transformar la señal analógica a digital, ha de mantenerse el valor de la señal muestreada.
- Circuitos de muestreo y mantenimiento (*Sample & hold*).





# Fases del proceso de la conversión A/D

## Fases de cuantificación y codificación

### Fase de cuantificación

- La cuantificación de una señal consiste en representarla mediante una serie finita de niveles de amplitud o estados de salida.

### Fase de codificación

- La codificación es el proceso de representar de forma unívoca cada uno de los estados de salida (finitos) del cuantificador por un símbolo elegido de un alfabeto finito.
- Códigos unipolares.
- Códigos polares.

## 1 Conversión Digital-Analógica

- Tipos de convertidores D/A

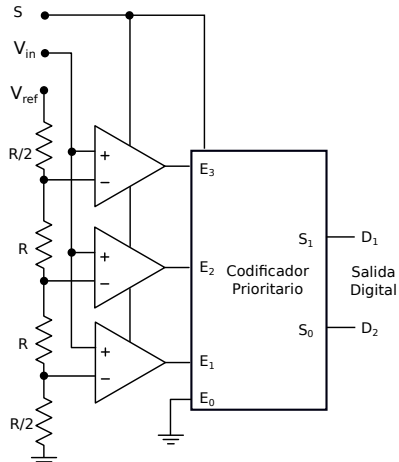
## 2 Conversión Analógico-Digital

- Fases del proceso de la conversión A/D
- Tipos de convertidores A/D

# Tipos de convertidores A/D

## Convertidor A/D paralelo o flash

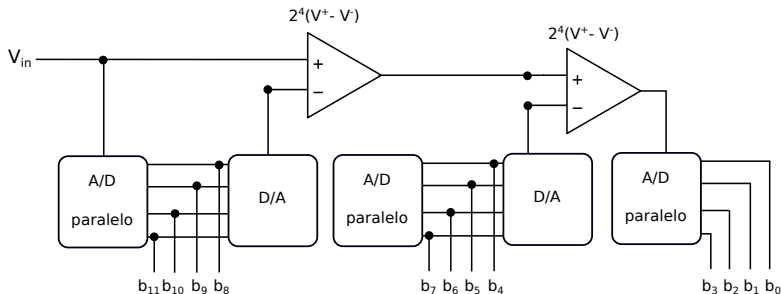
- Se necesitan  $2^n - 1$  comparadores.
- Convertidor muy rápido  $\rightarrow$  consume mucha energía.



# Tipos de convertidores A/D

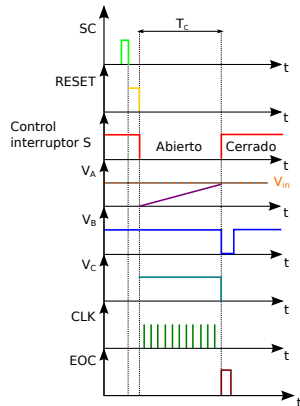
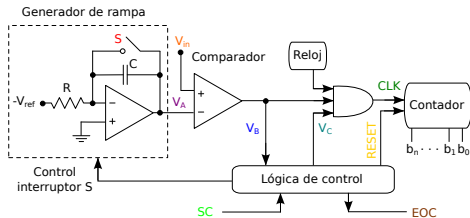
## Convertidor A/D paralelo o half-flash

- Solución para aumentar la resolución manteniendo una velocidad de conversión alta.



# Tipos de convertidores A/D

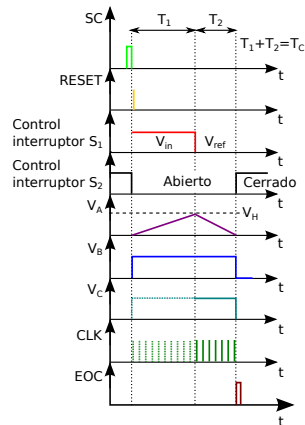
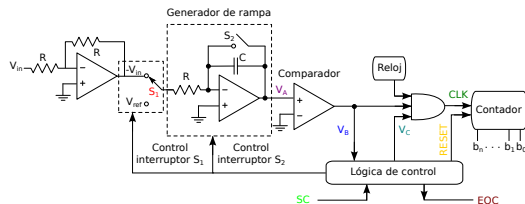
## Convertidor A/D de pendiente simple



- $N = [f_{CLK} T_C] = \left[ f_{CLK} R C \frac{V_{in}}{V_{ref}} \right]$ .
- Si  $f_{CLK} R C = 2^n$  se obtiene un conversor de  $n$  bits.

# Tipos de convertidores A/D

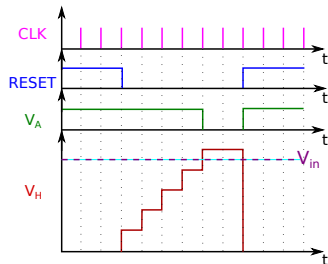
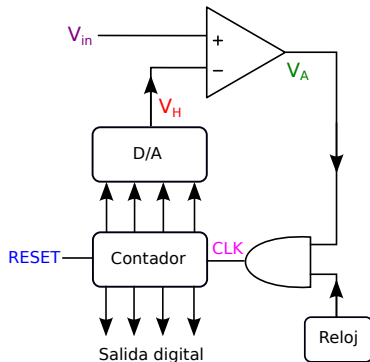
## Convertidor A/D de pendiente doble



- Subida:  $V_H = \frac{V_{in}}{R} T_1$ .
- Bajada:  $V_H = \frac{V_{ref}}{R} T_2$ .
- $N_2 = \left[ \frac{V_{in}}{V_{ref}} N_1 \right]$ .

# Tipos de convertidores A/D

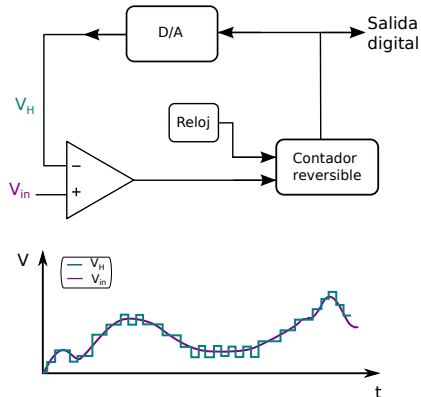
## Convertidor A/D de rampa en escalera



- $T_C$  depende del valor de la señal de entrada.

# Tipos de convertidores A/D

## Convertidor A/D rastreador o de seguimiento

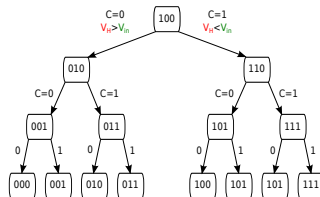
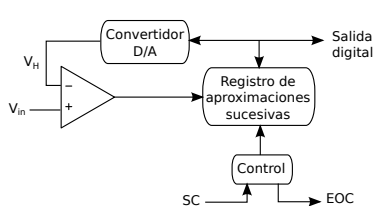


- Ventaja: no es necesario resetear → conversión rápida y continuada.
- Inconveniente: señales constantes.

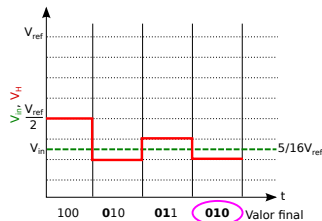


# Tipos de convertidores A/D

## Convertidor A/D de aproximaciones sucesivas



- Permite una velocidad de conversión considerable y una resolución alta a bajo coste.
- Tiene un tiempo de conversión constante y menor que el de otros convertidores A/D realimentados.



# Tipos de convertidores A/D

## Criterios de selección

Algunos de los parámetros más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de elegir un convertidor A/D son:

- Coste.
- Velocidad.
- Consumo.
- Resolución.
- Precisión.

| Convertidor             | Precisión  | Nº de bits | Tiempo de conversión |
|-------------------------|------------|------------|----------------------|
| <b>Paralelo</b>         | Media      | 4-8        | ns                   |
| <b>Semiparalelo</b>     | Media      | 8-14       | $\mu$ s              |
| <b>Doble rampa</b>      | Media-Alta | 8-12       | ms                   |
| <b>Aprox. Sucesivas</b> | Alta       | 8-16       | $\mu$ s              |

# Tipos de convertidores A/D

## Ejemplo de aplicación de los convertidores A/D

- Los convertidores A/D están presentes en todos aquellos sistemas donde una señal analógica se quiera procesar, almacenar o transportar de forma digital.
- Análisis de datos analógicos con ordenador, sistemas de comunicaciones digitales, sistemas de reproducción musical, equipos de medida, etc.

