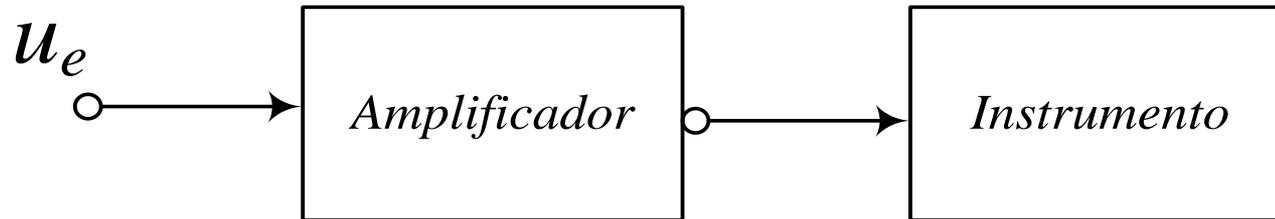
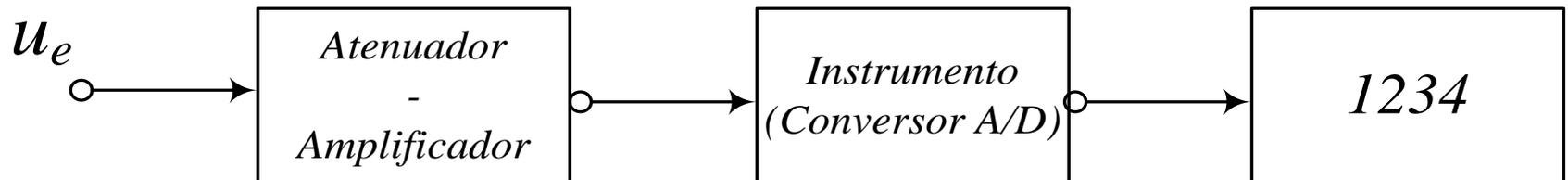


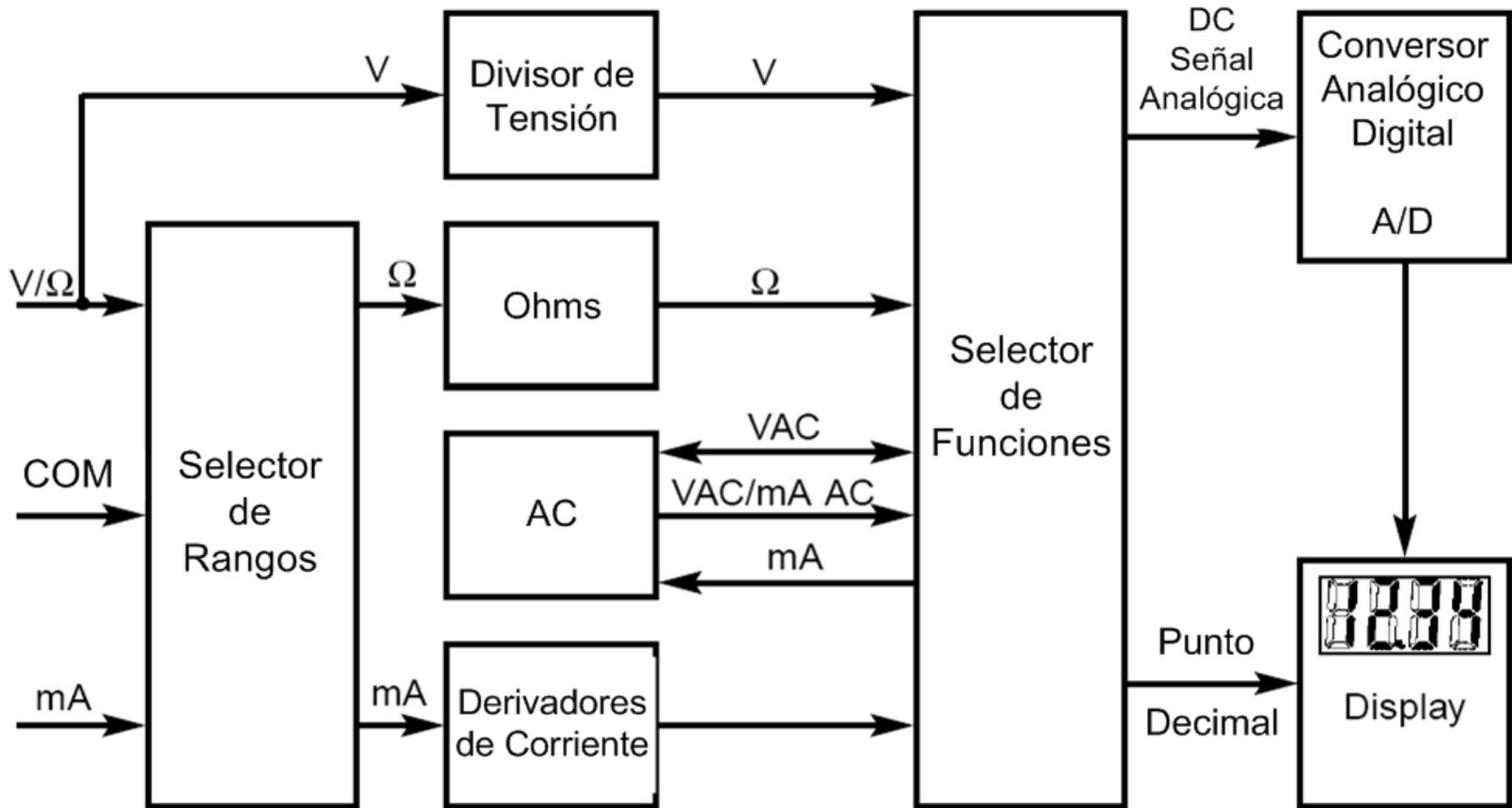
## *Diagrama en bloques elemental de un Instrumento Electrónico Analógico*



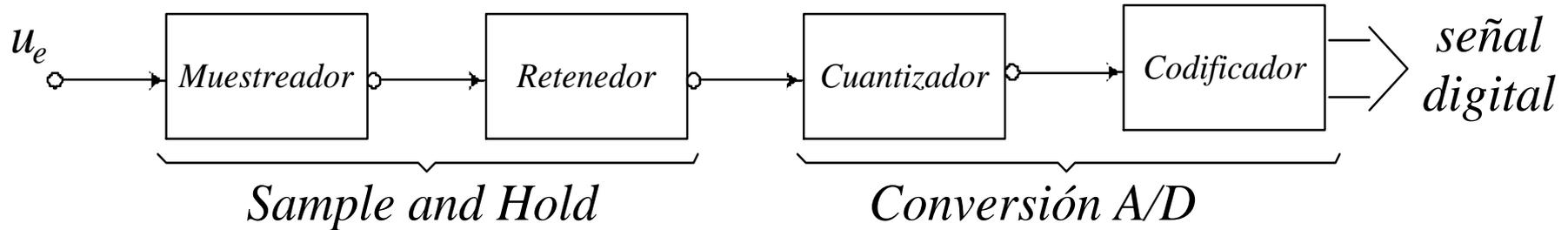
## *Diagrama en bloques elemental de un Instrumento Digital*



## Diagrama en bloques elemental de un Multímetro Digital



## Esquema en bloques del proceso de Conversión Analógico - Digital (CAD)



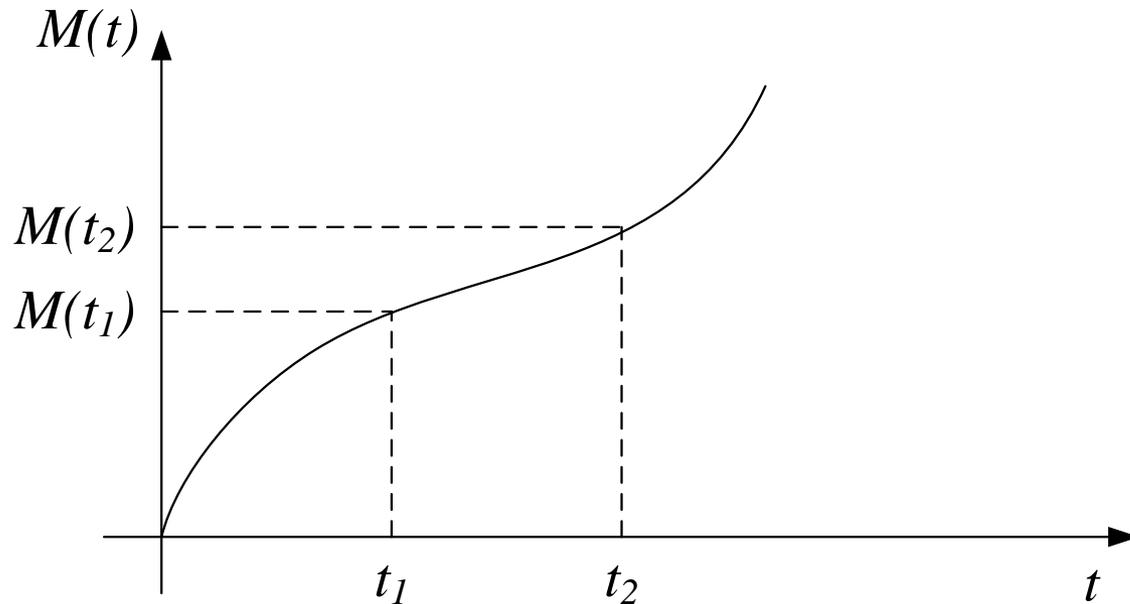
Los dos primeros bloques generalmente se encuentran en un único circuito conocido como circuito **"sample and hold"** (**S/H**). Son necesarios cuando se deben digitalizar señales que varían con el tiempo.

El cuantizador y el codificador generalmente están incluidos en un solo circuito denominado **Convertor Analógico - Digital**.

(Por ahora consideraremos el caso de **señales de continua o de variación muy lenta**)

# Muestreo

**Señales analógicas:** en general tienen variaciones continuas. No existen valores “prohibidos”. Entre un valor y otro, existe una cantidad infinita de valores posibles.

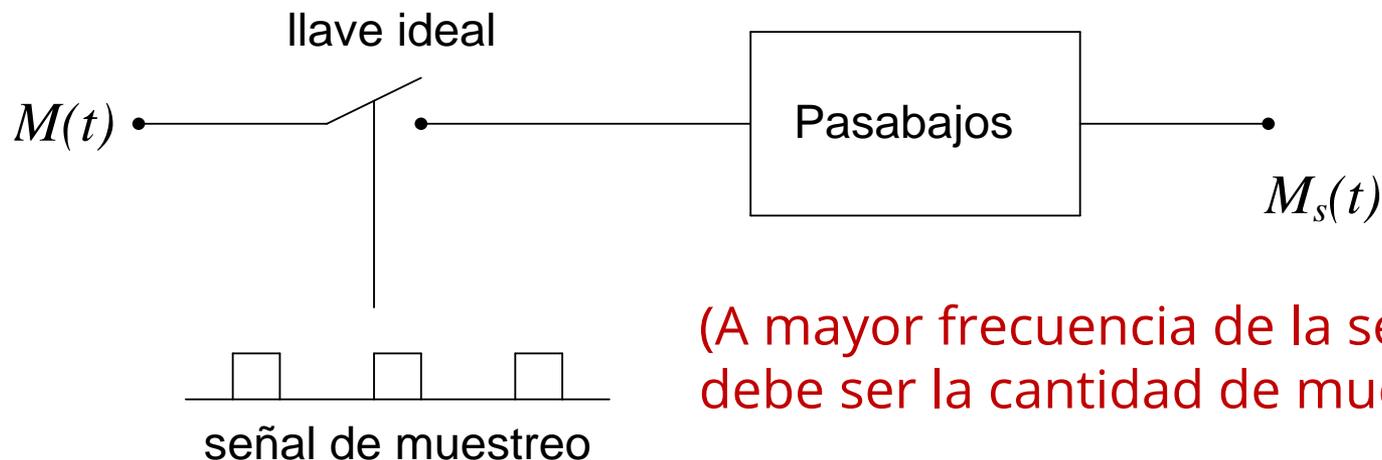


En el caso muy general dibujado, la señal puede tomar cualquiera de los valores comprendidos entre  $M(t_1)$  y  $M(t_2)$

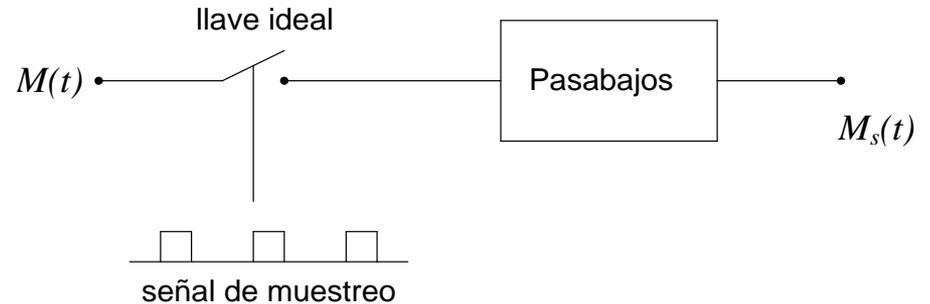
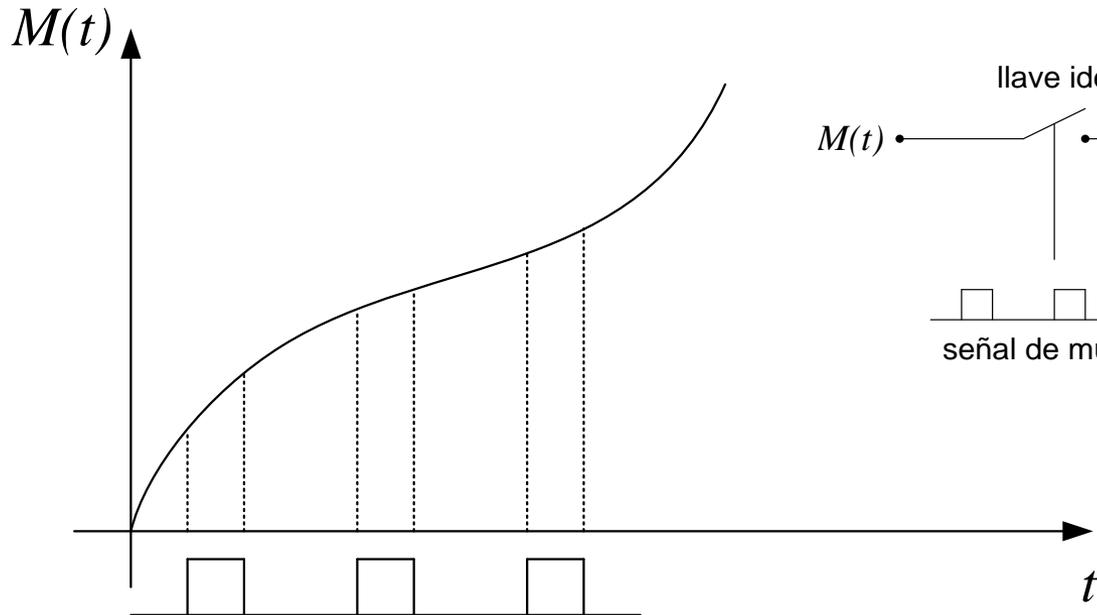
La mayoría de las señales que aparecen en los circuitos comunes de medición son de naturaleza analógica (como también lo son las que interpretan nuestros sentidos, como el oído por ejemplo).

Transformarlas en digitales, **facilita su manejo** (procesamiento mucho más sencillo) y **su almacenamiento**, y **reduce**, entre otras cosas, **su sensibilidad a los ruidos**.

La base de la digitalización de señales radica en el teorema del muestreo ( $f_m > 2f_{máx}$ ):



(A mayor frecuencia de la señal, mayor debe ser la cantidad de muestras a tomar).

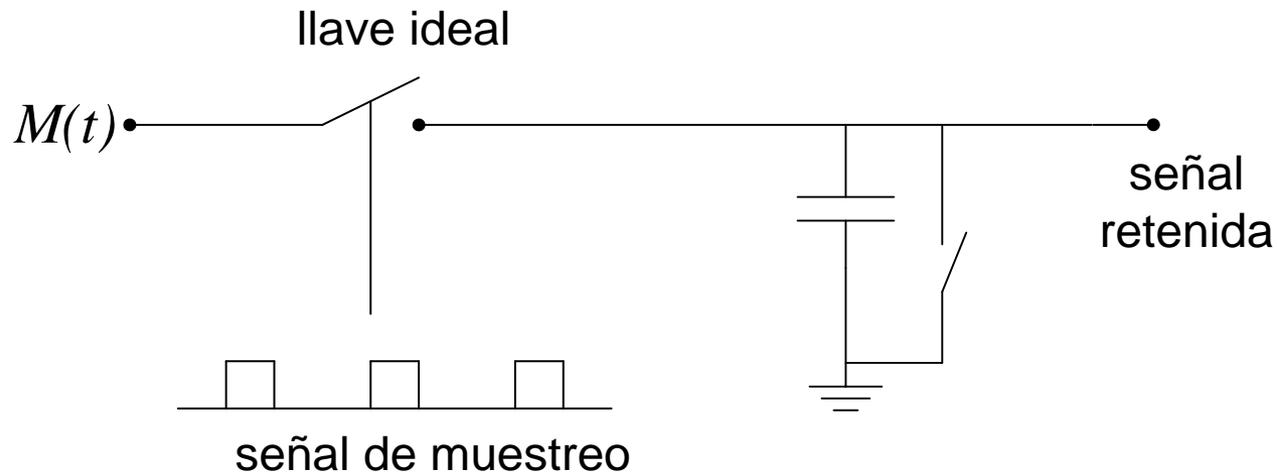


**Proceso idealizado:** luego del filtro pasabajos de banda estrecha, se vuelve a tener la señal analógica original.

La señal muestreada, si bien es **discontinua**, es todavía **analógica** pues no existen restricciones a los valores que puede tomar.

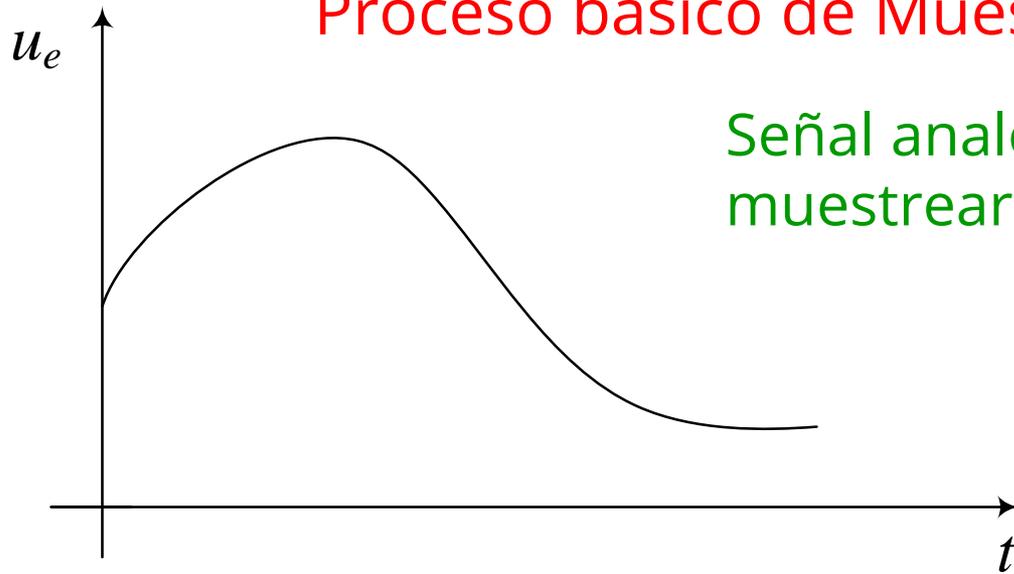
# Muestreo y Retención

## *"Sample and Hold" (S/H)*

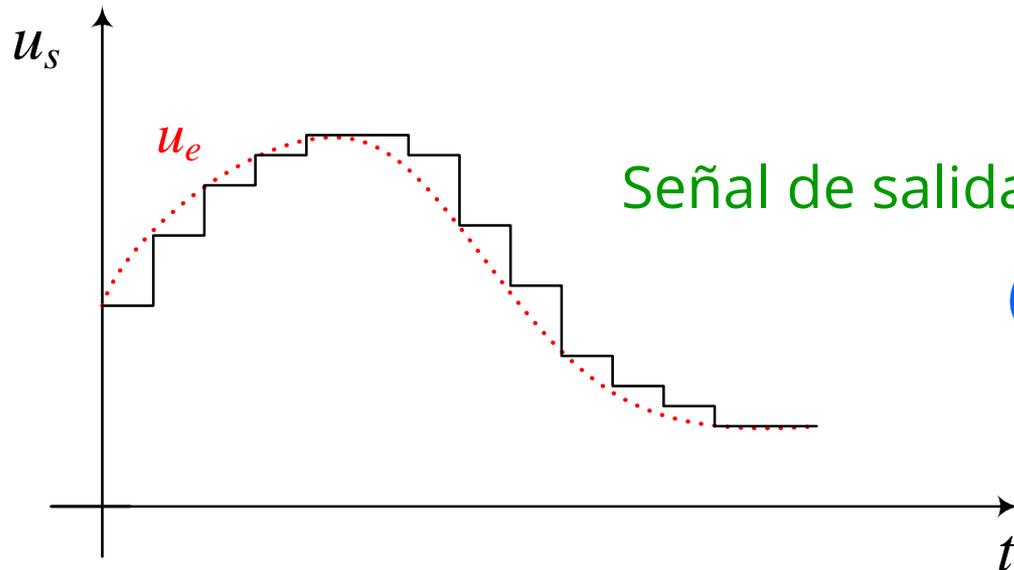


Esquema elemental de un circuito de muestreo y retención

# Proceso básico de Muestreo y Retención



Señal analógica a muestrear

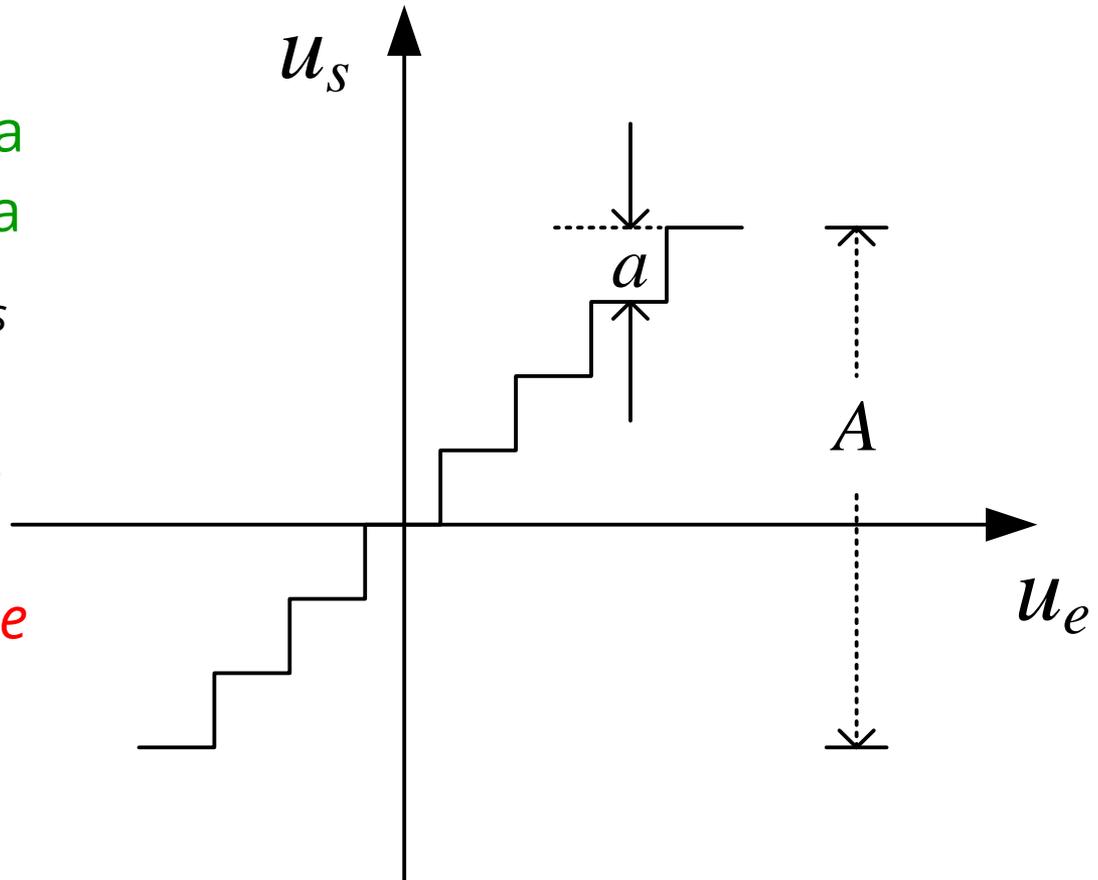


Señal de salida de un circuito S/H  
*(también analógica)*

**Cuantificación:** Proceso por el cual las infinitas amplitudes posibles de la señal analógica de entrada se subdividen en un número predeterminado de valores. Se realiza en un bloque cuya transferencia es la siguiente:

A la entrada continua  $u_e$ , le corresponde la salida discontinua  $u_s$

*Curva característica de transferencia de un bloque cuantificador de 8 niveles igualmente espaciados*



# Cuantificación

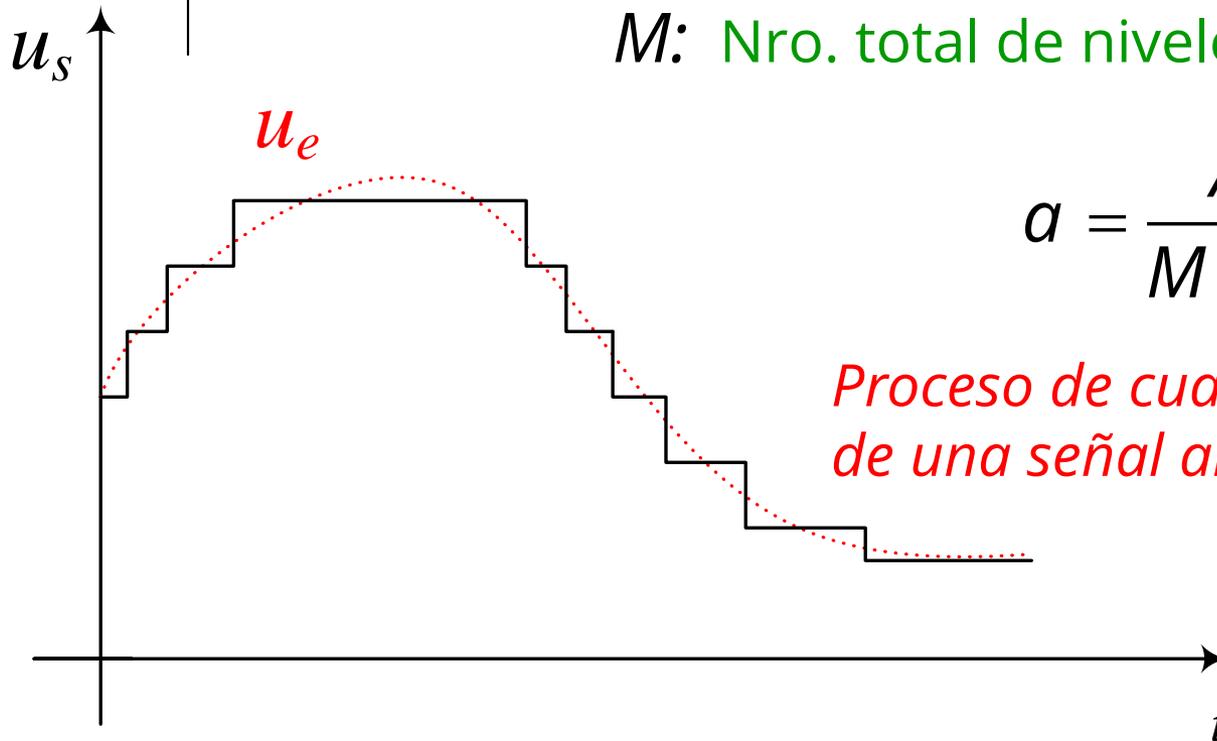
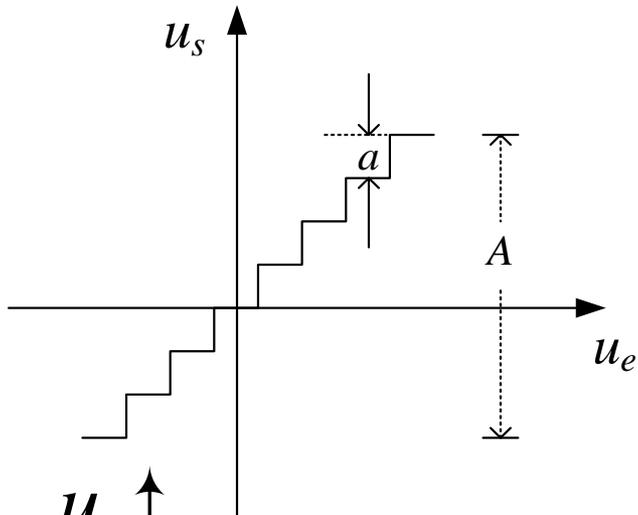
**A:** Rango dinámico (Rango de valores de la señal de entrada dentro del cual el error máximo entre la señal de entrada y la salida cuantificada es menor o igual que  $a/2$ )

**$a$ :** Paso de cuantificación

**M:** Nro. total de niveles de cuantificación

$$a = \frac{A}{M - 1}$$

*Proceso de cuantificación de una señal analógica*

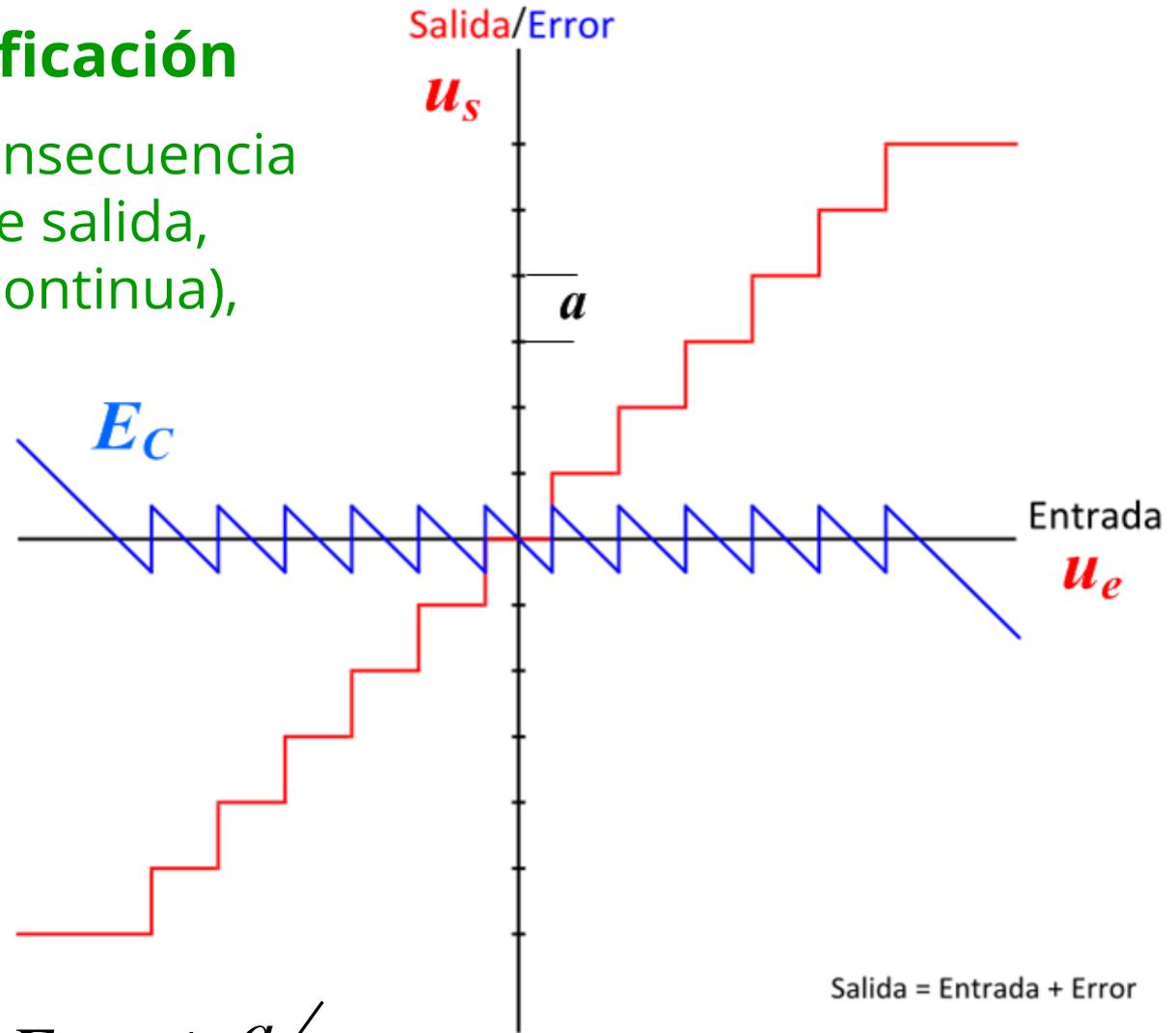


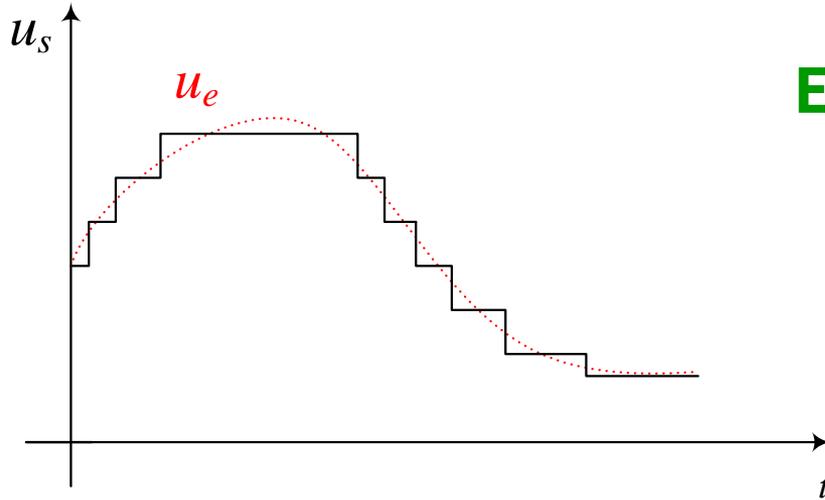
# Error de Cuantificación

Aparece como consecuencia de que la señal de salida, cuantificada (discontinua), es una aproximación de la entrada, continua.

El error de cuantificación será entonces sistemático e indeterminado, con valor límite:

$$E_c = \pm \frac{a}{2}$$





## Error de Cuantificación

$$E_c = \pm \frac{a}{2}$$

La señal cuantificada en el nivel  $U_i$  podría deberse a cualquier valor de amplitud comprendido entre  $U_i - a/2$  y  $U_i + a/2$ .

- ↪ El error de cuantificación será tanto menor cuanto mayor sea el número de niveles posibles (para un mismo rango dinámico).
- ↪ Conviene utilizar el conversor a fondo de escala, a fin de minimizar el error relativo.

# Codificación

Codificar la señal cuantificada es darle una representación que sea de fácil manejo e interpretación, desde el punto de vista de los circuitos empleados (digitales).

## Codificación Decimal

$$N_{10} = d_n * 10^n + d_{n-1} * 10^{n-1} + \dots + d_0 * 10^0$$

$$\Rightarrow N_{10} = d_n \ d_{n-1} \ \dots \ d_0$$

Es la codificación más empleada en la vida cotidiana, pero cada uno de los  **$n$**  coeficientes debe poder tomar **10** valores diferentes para lograr la representación.



## Codificación Binaria Natural

$$N_2 = b_n * 2^n + b_{n-1} * 2^{n-1} + \dots + b_0 * 2^0$$

$$\Rightarrow N_2 = b_n b_{n-1} \dots b_0$$

Es un sistema de codificación ideal: cada coeficiente sólo puede valer 0 o 1.

A cada uno de los dígitos binarios  $b_i$  se le da el nombre de **bit** (*binary digit*)

### Ejemplo:

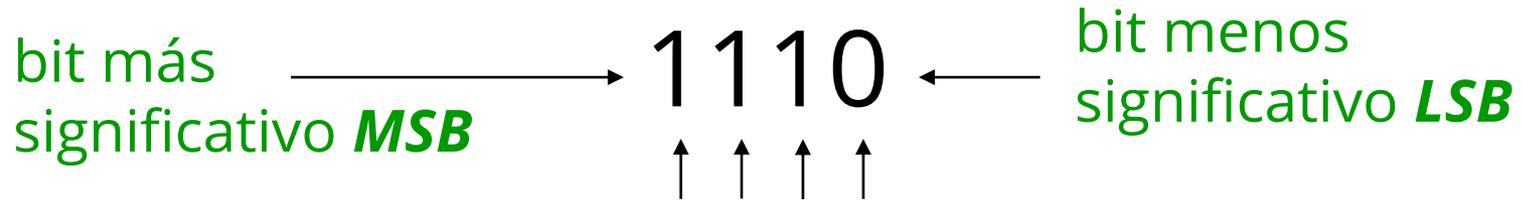
Decimal: 14

Binario: 1110

$$(1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 1 * 2^1 + 0 * 2^0)$$

La Codificación Binaria puede caracterizarse fácilmente:

presencia o ausencia de tensión, nivel alto o bajo, señal positiva o negativa, etc. (dos estados netamente distinguibles)



**binary digit**

Notar que la cantidad de niveles ( $M$ )  
depende del número de bits ( $n$ ):

$$M = 2^n$$

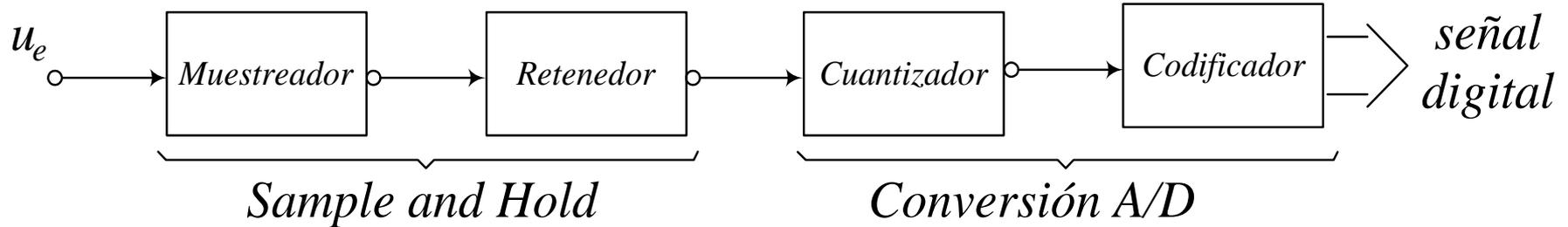
## Ejemplos:

- ❖ 3 cifras decimales →  $10^3=1000$  valores posibles (niveles)  
→ Resolución =  $1/1000$  (0,1 %)
- ❖ 3 bits →  $2^3 = 8$  valores posibles (niveles)  
→ Resolución =  $1/8$  (12,5 %)

Así, para tener una resolución adecuada en aparatos de medida, aún no demasiado exactos, se necesitan 8 bits o más.

Nº de Bits	Cantidad de niveles	Resolución [%]
8	256	0,39
9	512	0,20
10	1024	0,10
12	4096	0,02
16	65536	0,002

## Resumiendo: Conversión Analógico - Digital (CAD)



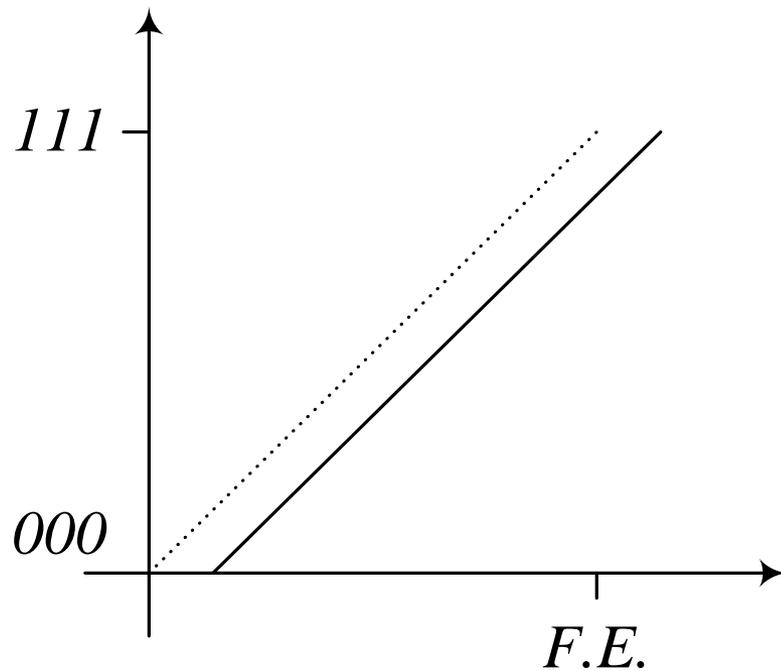
Los dos primeros bloques generalmente se encuentran en un único circuito conocido como circuito "**sample and hold**" (**S/H**). Son necesarios cuando se deben digitalizar señales que varían con el tiempo.

El cuantificador y el codificador generalmente están incluidos en un solo circuito denominado **Conversor Analógico - Digital**.

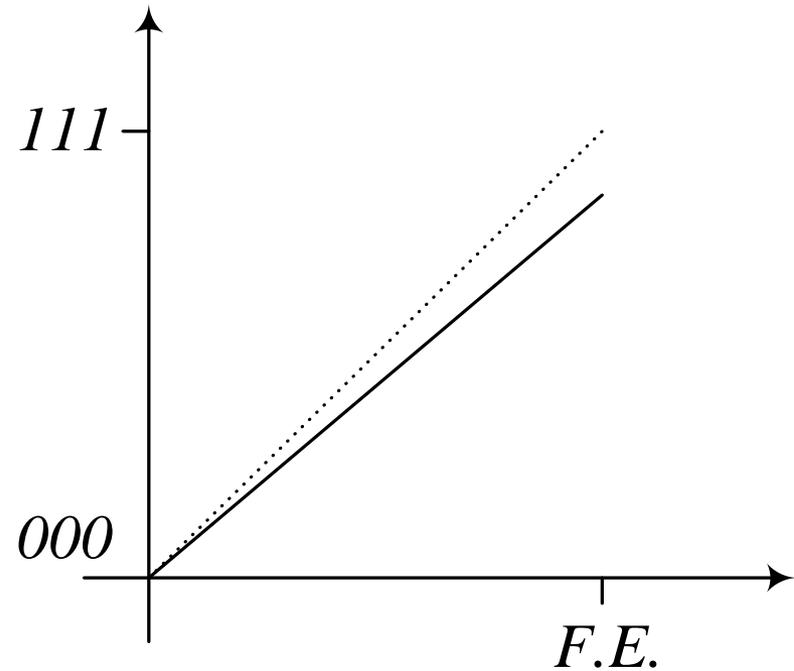
Luego, la señal es transcodificada a una forma más simple de entender por un operador humano, como por ejemplo un formato numérico decimal ( **$3\frac{1}{2}$ ,  $3\frac{3}{4}$ ,  $4\frac{1}{2}$  ...dígitos**) o un formato de "**barras**".

## Errores de Digitalización

Además del error de cuantificación ya mencionado, los sistemas de digitalización reales exhiben apartamientos de la característica ideal de transferencia que se traducen en nuevas fuentes de errores (citaremos sólo algunos de los más importantes)

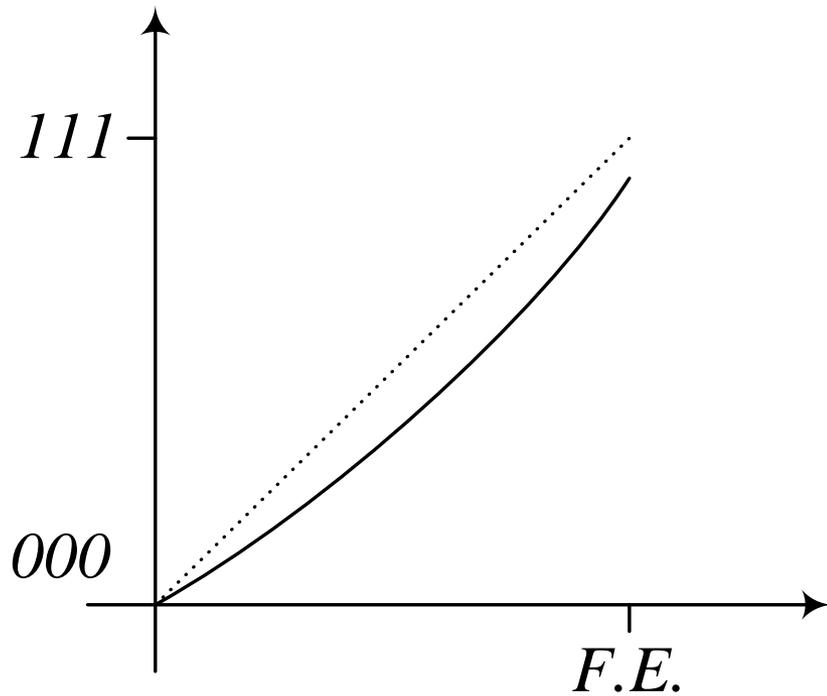


Falso Cero

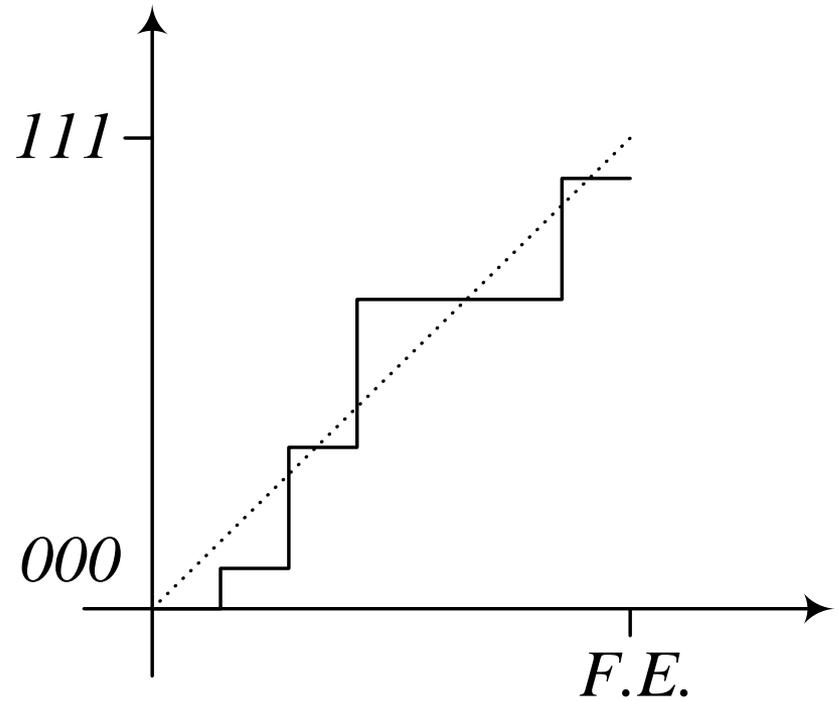


Error de Ganancia

# Errores de Digitalización

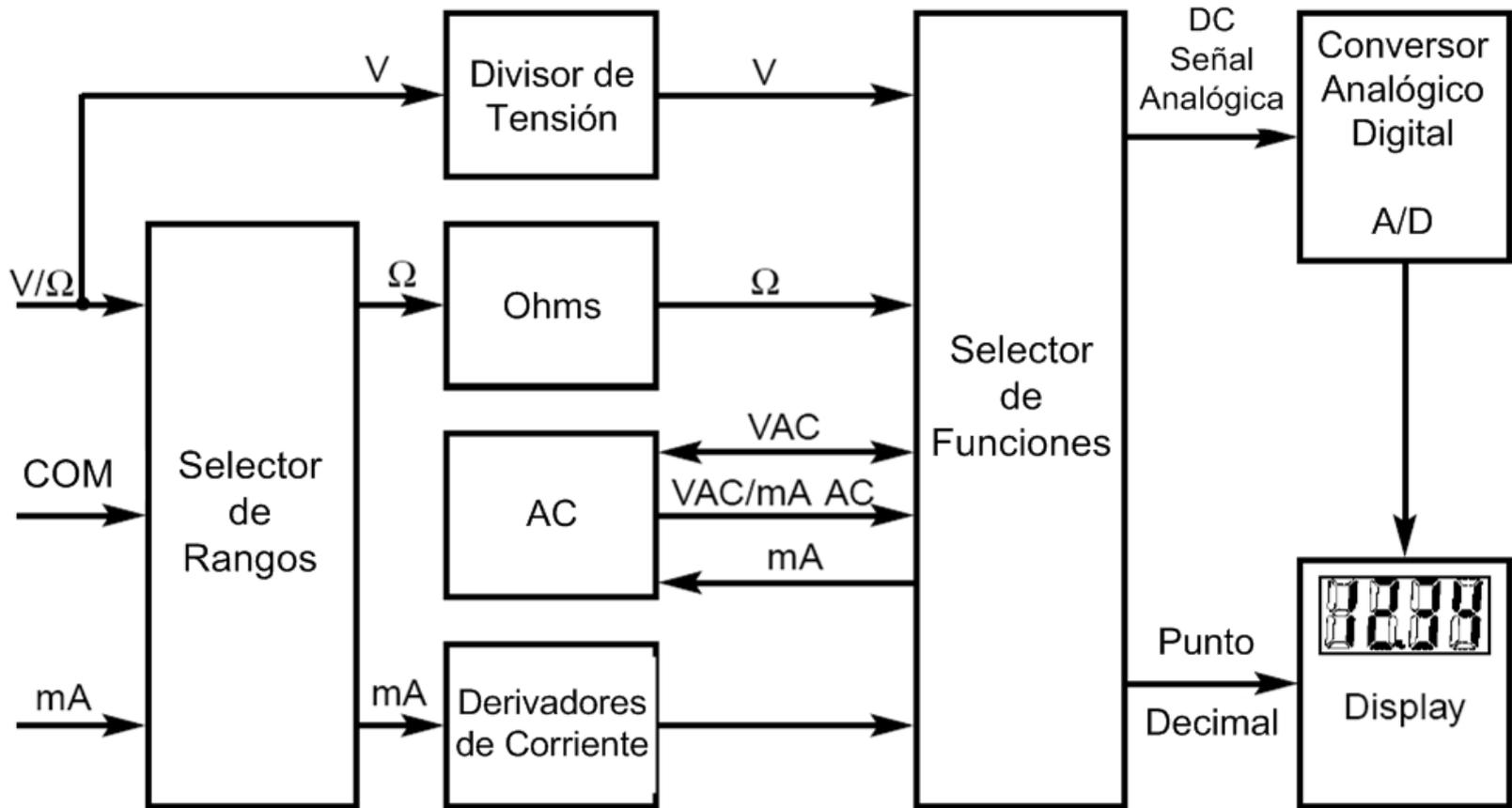


Error de Linealidad



Error de Conmutación

# Diagrama en bloques elemental de un Multímetro Digital



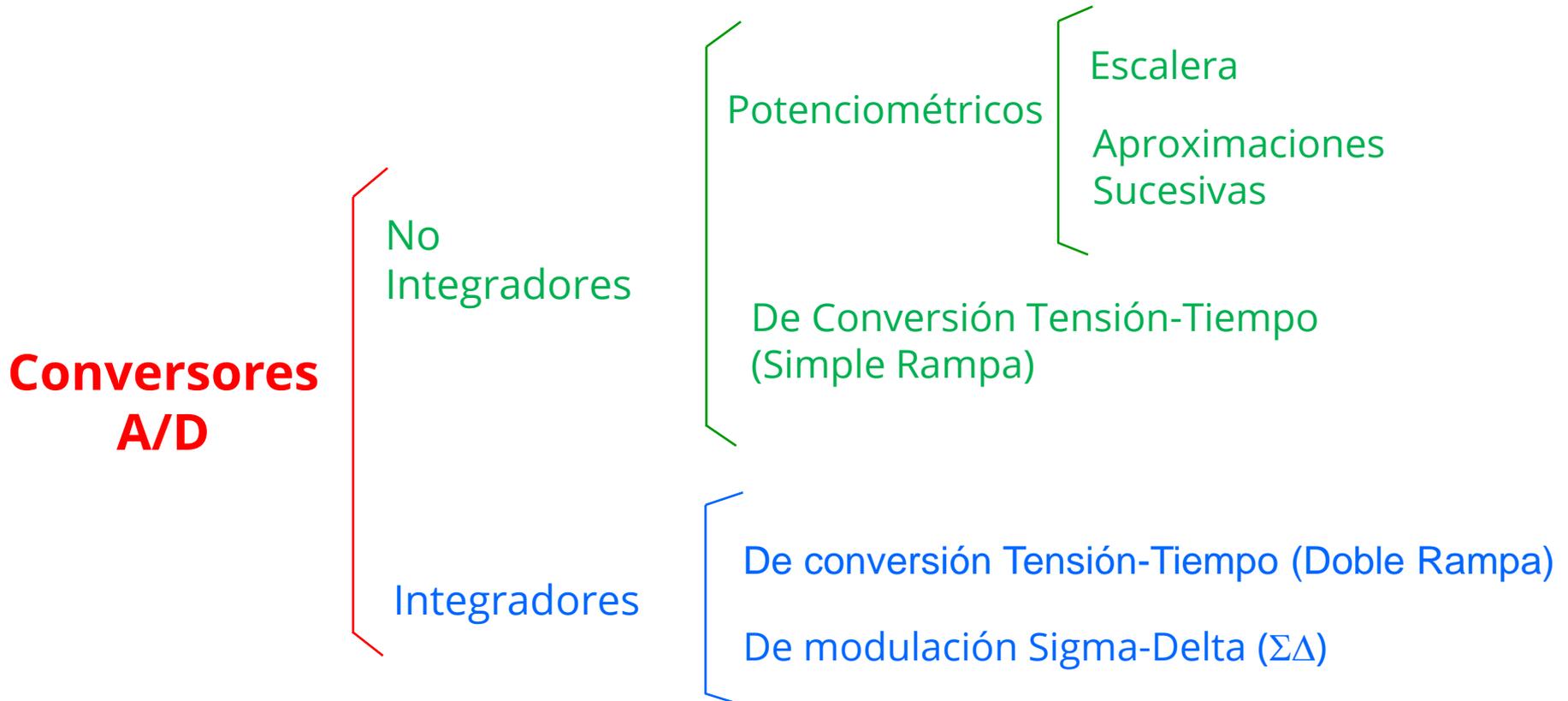
# Conversores Analógico - Digitales (CAD)

(Para la medición de fenómenos lentos, como los empleados en multímetros digitales, por ejemplo)

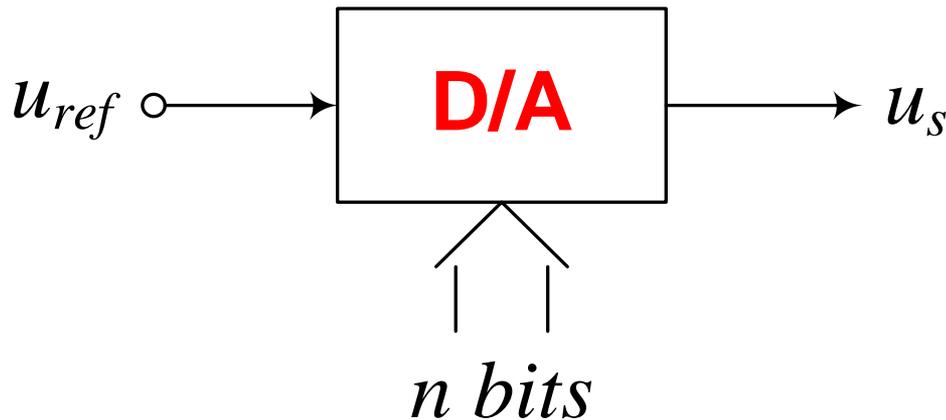
## Características deseables:

- ↪ Exactitud (resolución)
- ↪ Inmunidad a señales espurias
- ↪ Tiempo o velocidad de conversión
- ↪ Poca interacción con la fuente
- ↪ Impedancia de entrada controlable
- ↪ Estabilidad en el tiempo
- ↪ Costo (en estrecha relación con los anteriores)

# Clasificación de los CAD teniendo en cuenta el tipo de procesamiento de la señal a medir (ejemplos)



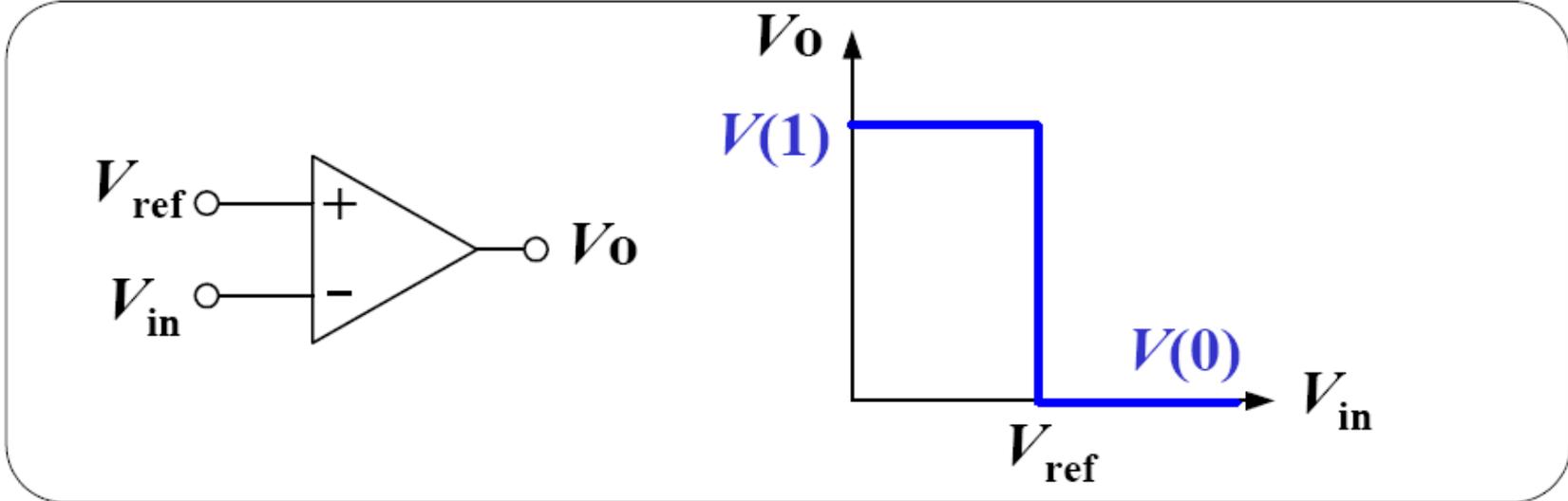
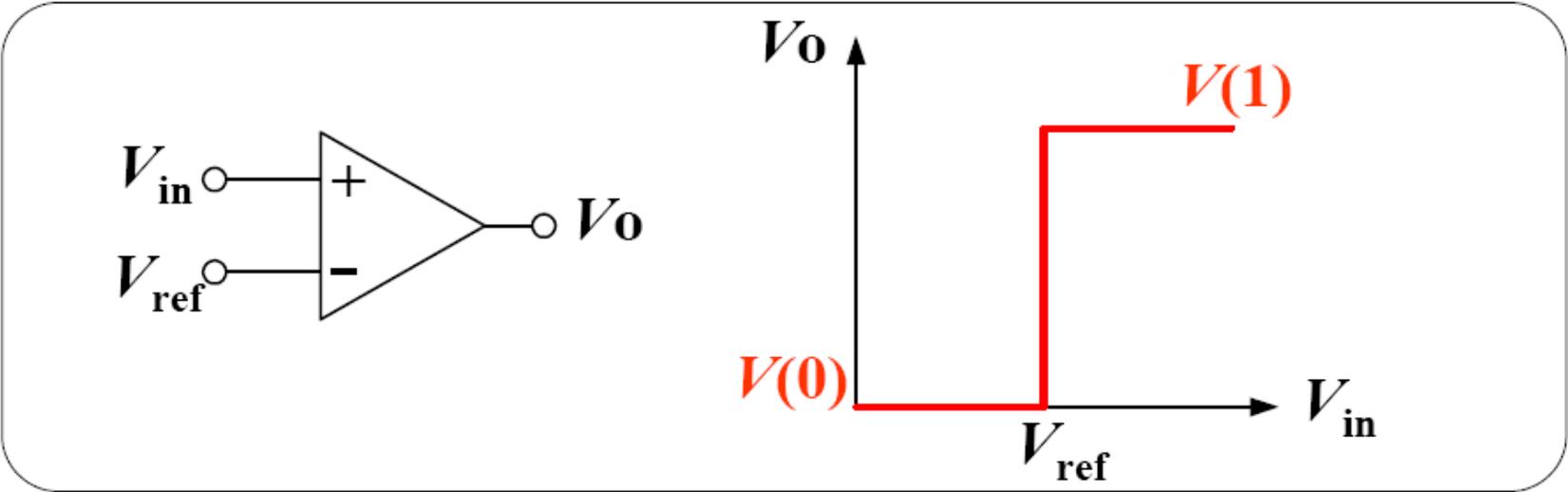
## Conversores D/A



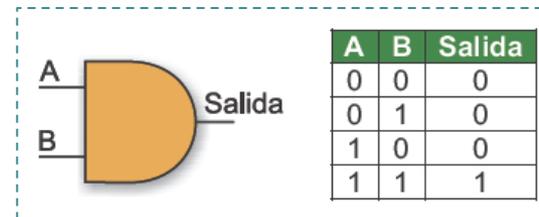
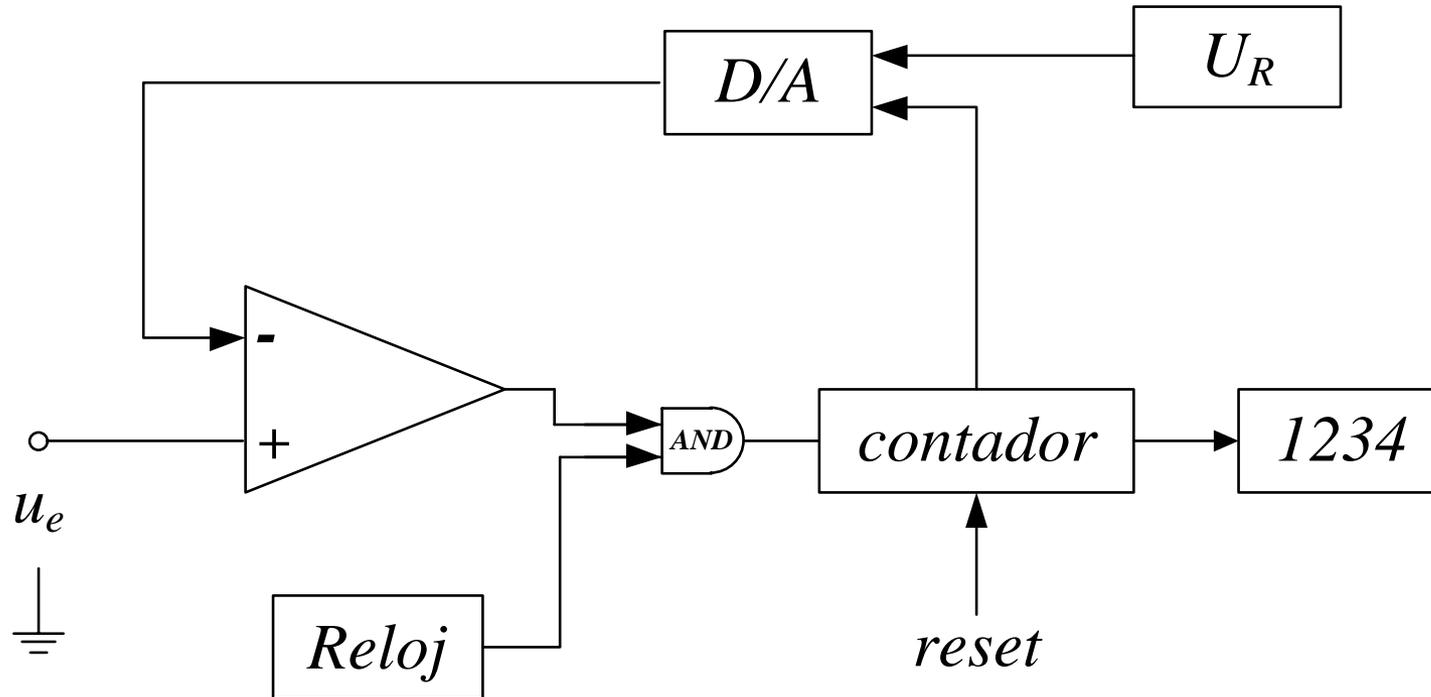
Convierte una señal **Digital** de  $n\ bits$ , en una **Analógica** a partir de una dada **Tensión de Referencia**.

La señal  $u_s$  será una tensión cuyo valor dependerá de una cierta relación entre  $u_{ref}$  y la información contenida en la señal digital de  $n\ bits$ .

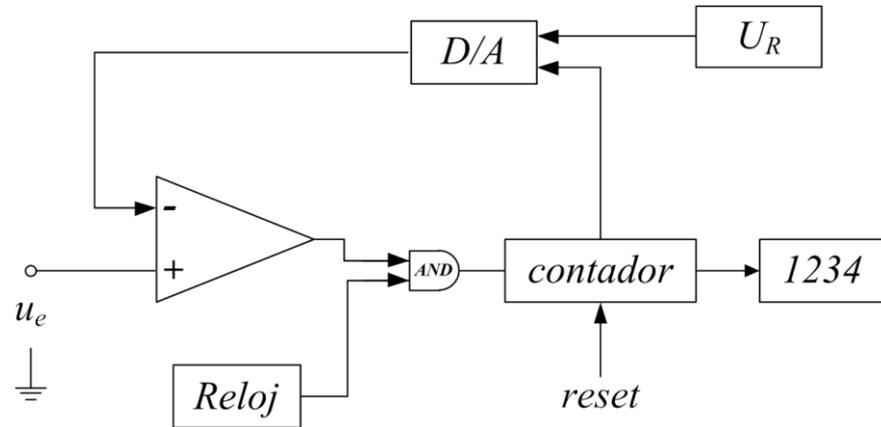
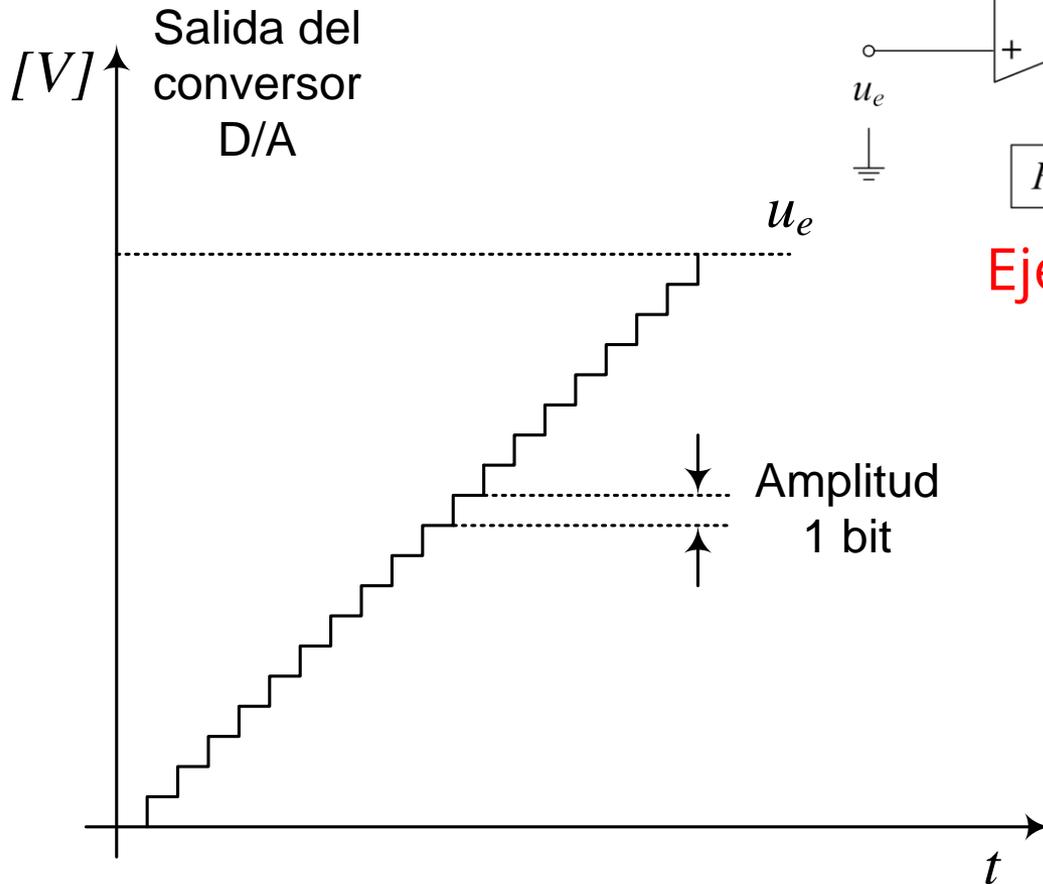
# Comparador (se obtiene una salida digital a partir de una entrada analógica)



# Convertor Escalera (No Integrador)



# Proceso de medición



Ejemplo:

⇒ Alcance del conversor: 5 V

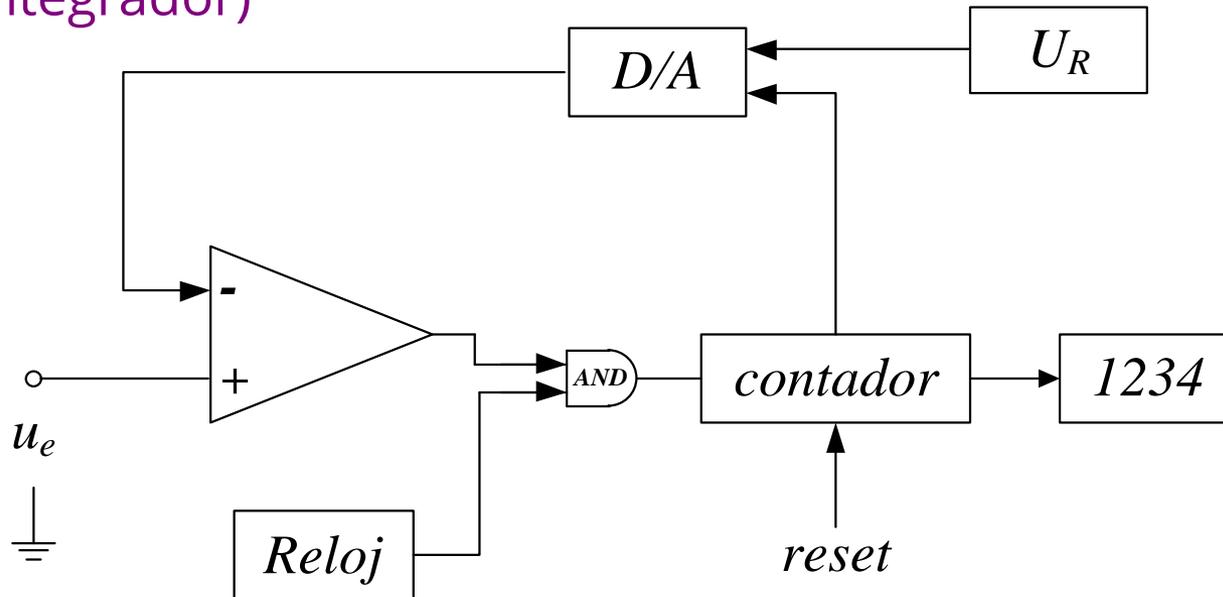
⇒ N° de bits: 8

⇒ El rango se divide en  $2^8$  intervalos de amplitud:

$$\frac{5}{2^8} V = 0,0195 V$$

# Convertor Escalera

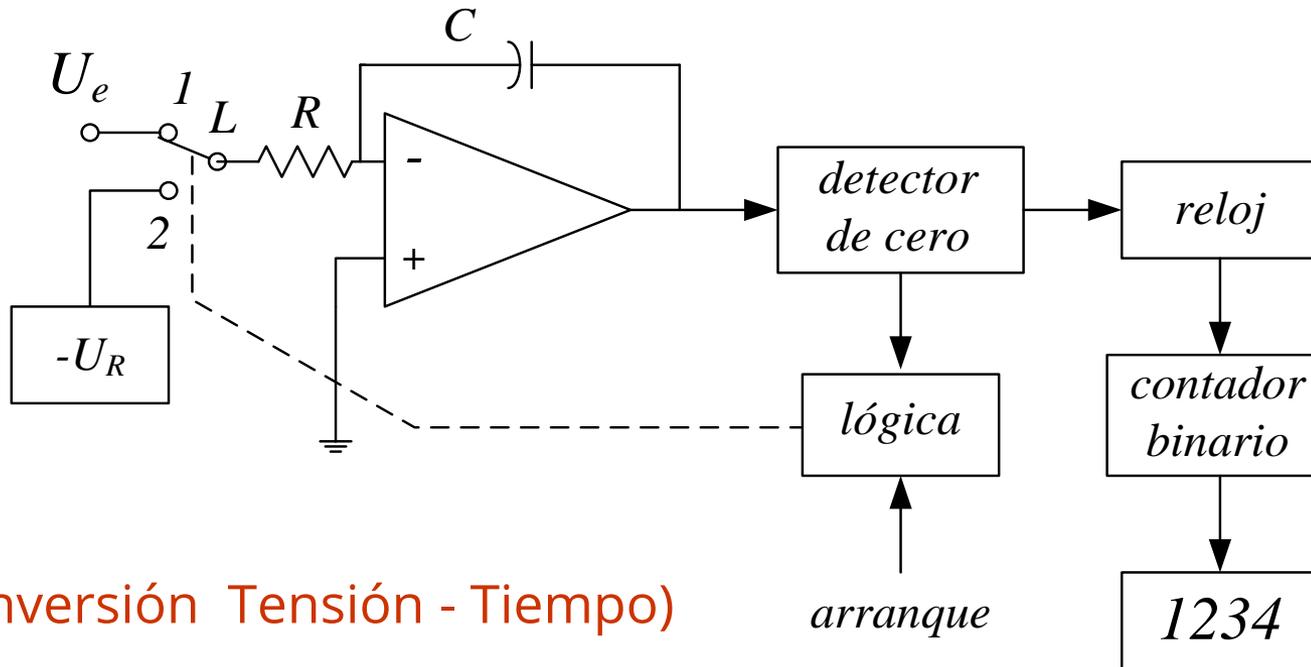
(No Integrador)



Elementos típicos que contribuyen a los errores finales:

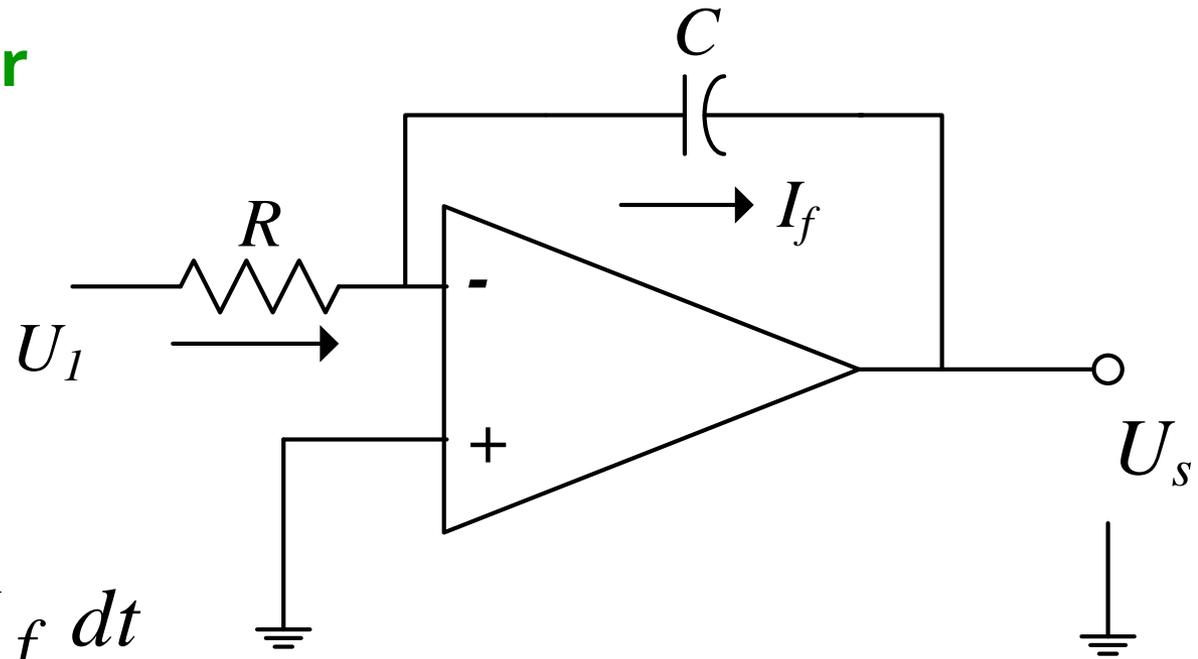
- Tensión de Referencia ( $U_R$ )
- Reloj (Contador)
- Ruido externo

# Convertor de Doble Rampa (Integrador)



(Conversión Tensión - Tiempo)

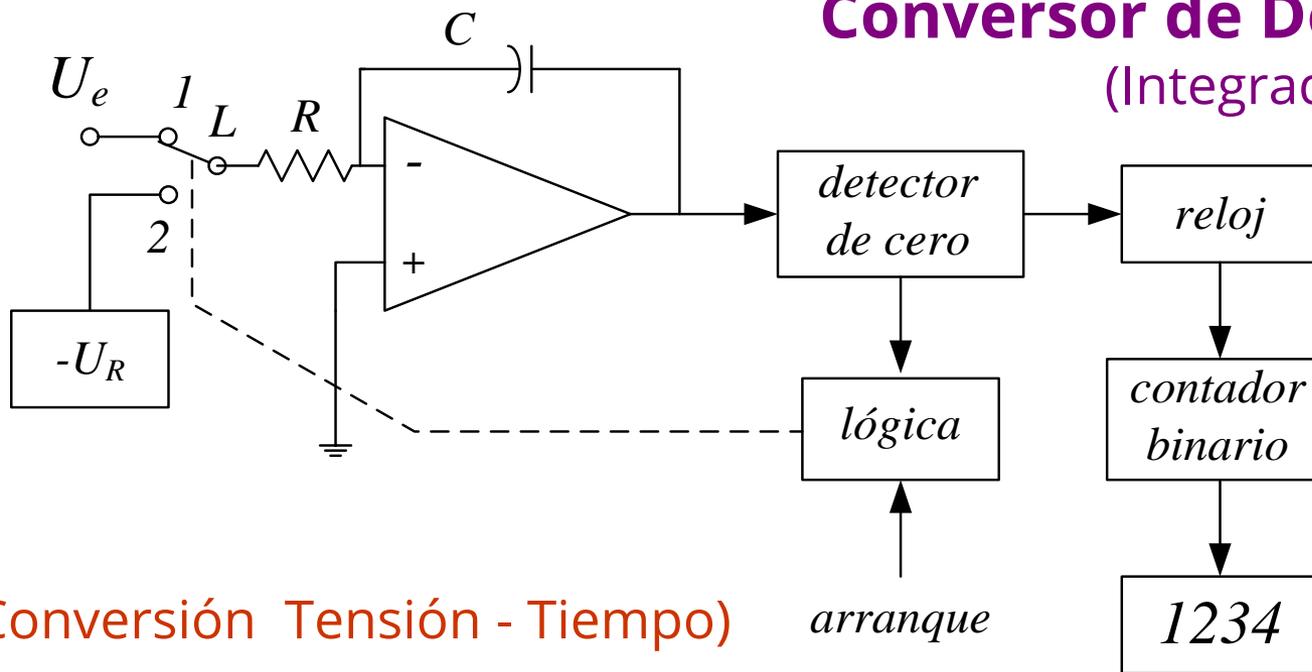
## Integrador



$$U_s = -\frac{1}{C} \int I_f dt$$

$$I_f = \frac{U_1}{R} \quad \Rightarrow \quad U_s = -\frac{1}{RC} \int U_1 dt$$

# Convertor de Doble Rampa (Integrador)

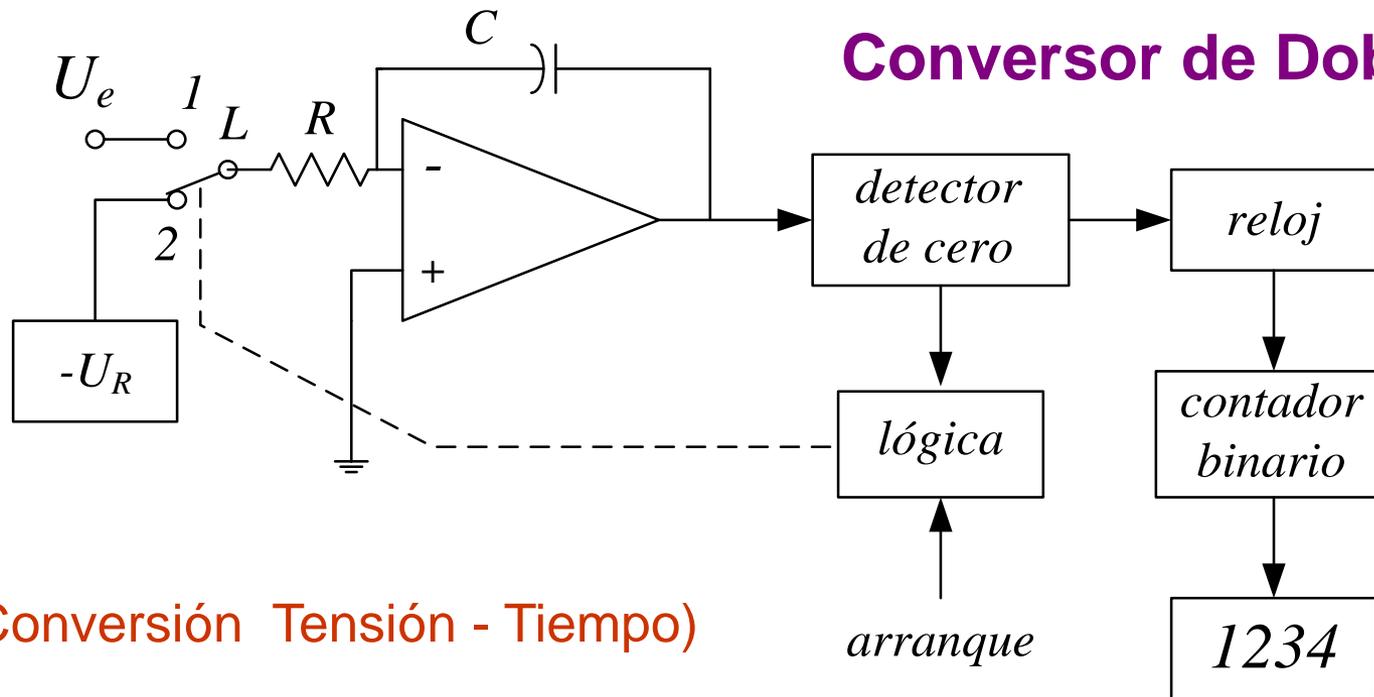


(Conversión Tensión - Tiempo)

☞ Inicio (arranque, lógica): descarga del capacitor  $C$  y llave  $L$  a la posición  $1$ . Comienza la cuenta de una cantidad fijada de pulsos del reloj (Tiempo  $T$  fijo).

☞  $L$  en  $1$  durante  $T$  fijo: 
$$U_c = -\frac{1}{RC} \int_0^T U_e dt = -\frac{1}{RC} * \overline{U_e} * T$$

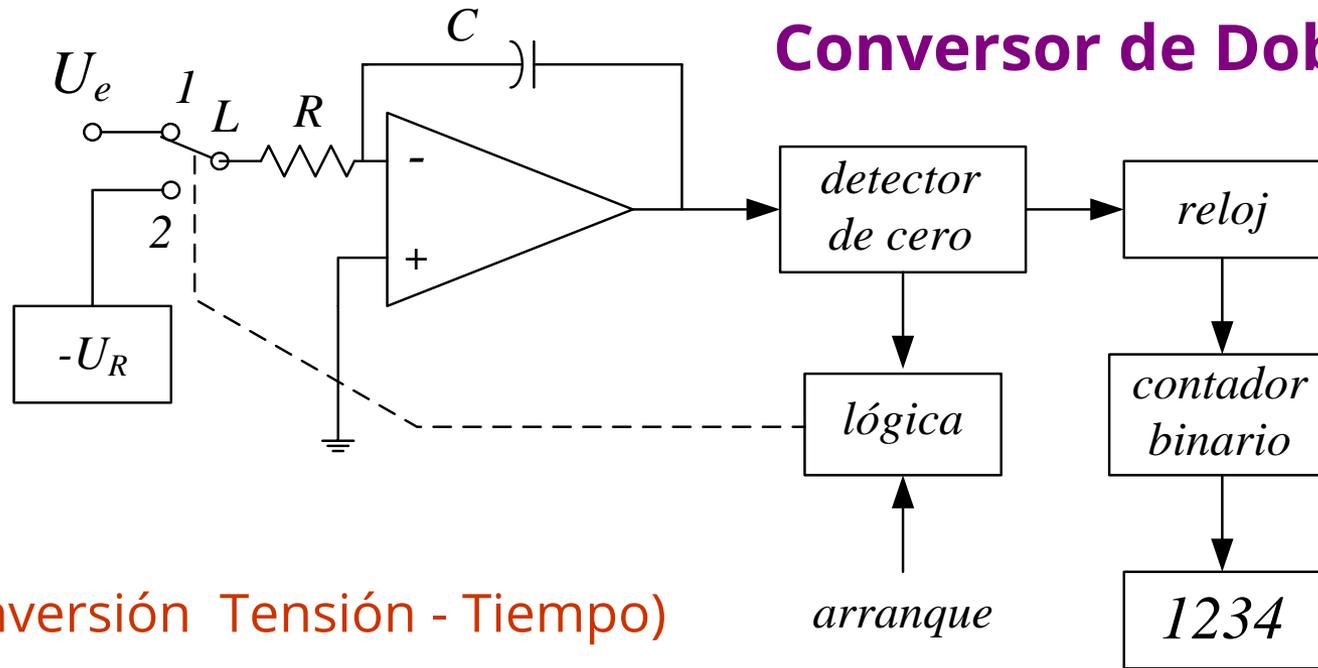
## Convertor de Doble Rampa



- ⇒ Llave  $L$  a la posición 2 ( $U_R$  de polaridad opuesta a  $U_e$ ). El contador inicia una nueva cuenta de pulsos, hasta que la salida del integrador sea 0 (Tiempo  $t$  variable).

$$\Rightarrow U_c = -\frac{1}{RC} \int_T^{T+t} U_R dt = -\frac{1}{RC} * U_R * t$$

## Convertor de Doble Rampa



(Conversión Tensión - Tiempo)

*L* en 1 durante *T* fijo:

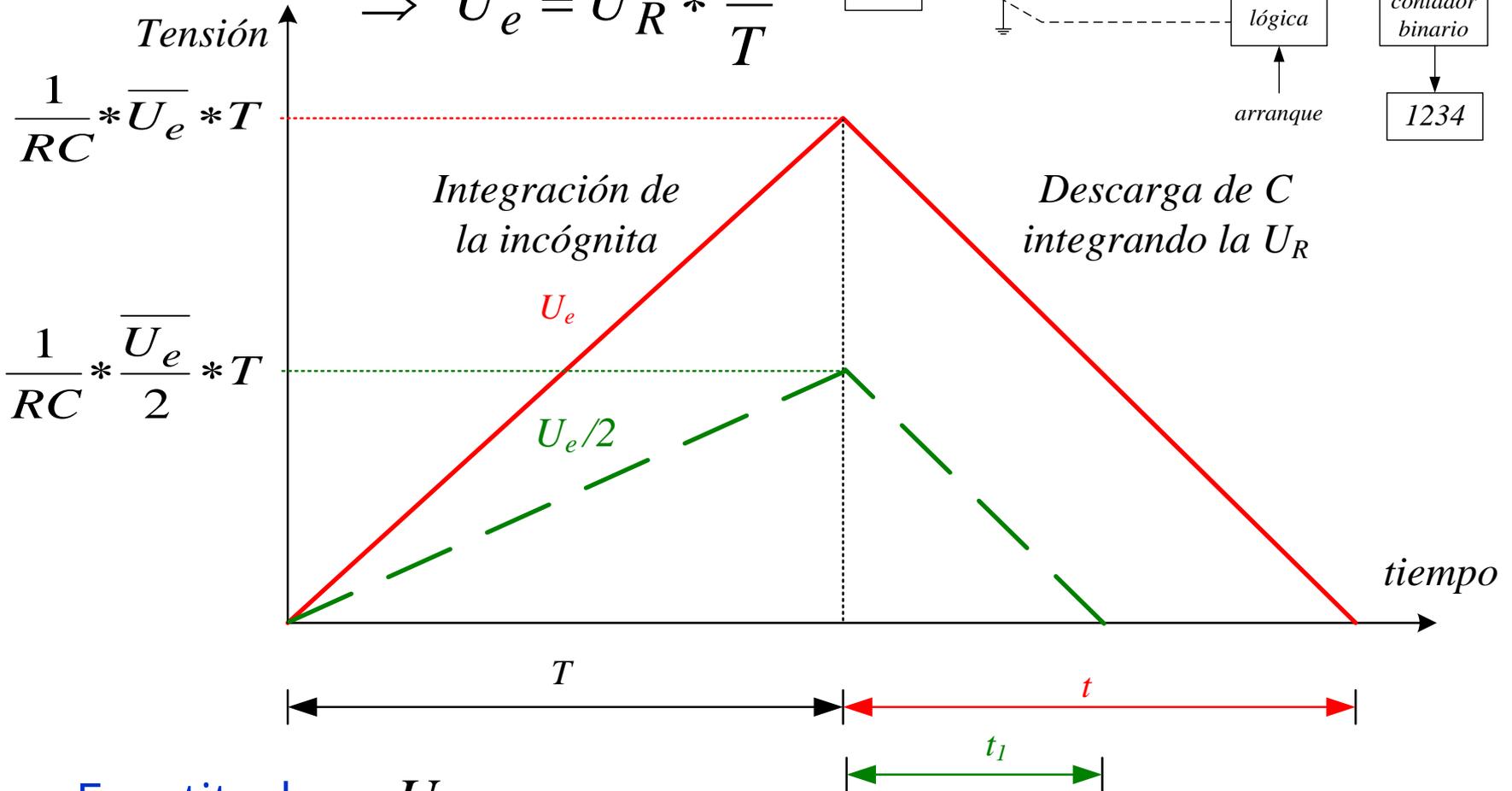
$$U_c = -\frac{1}{RC} \int_0^T U_e dt = -\frac{1}{RC} * \overline{U_e} * T$$

*L* en 2 hasta que la salida del integrador sea cero:

$$U_c = -\frac{1}{RC} \int_T^{T+t} U_R dt = -\frac{1}{RC} * U_R * t$$

$$\frac{1}{RC} * \overline{U_e} * T = \frac{1}{RC} * U_R * t$$

$$\Rightarrow \overline{U_e} = U_R * \frac{t}{T}$$



$$\frac{1}{RC} * \frac{\overline{U_e}}{2} * T$$

Exactitud  $\Rightarrow U_R$

