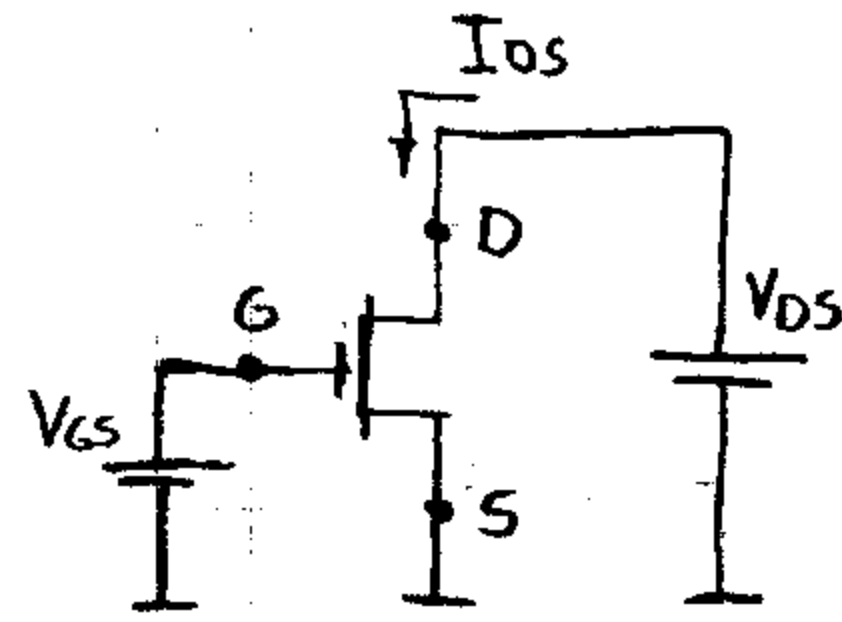


# \* DCISE

## - Dispositivos NMOS (Modelo Sah) $V_{TN} > 0$

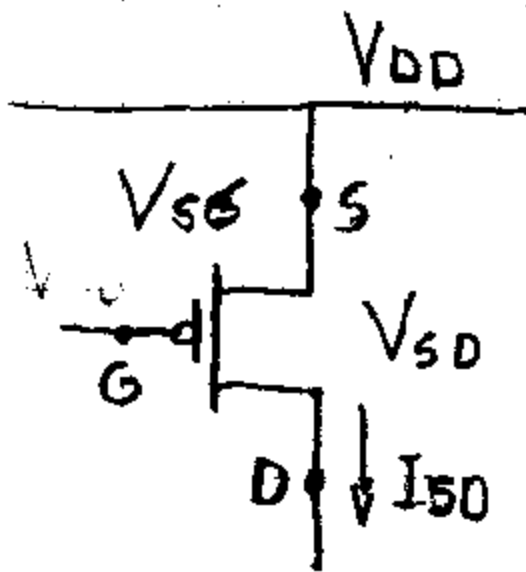
<u>CORTE</u>	$V_{GS} \leq V_{TN} \Rightarrow I_{DS} = 0$
<u>OHMNICA</u>	$\begin{cases} V_{GS} > V_{TN} \\ V_{DS} \leq V_{GS} - V_{TN} \end{cases} \Rightarrow I_{DS} = K_N \left[ V_{DS} (V_{GS} - V_{TN}) - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$
<u>SAT</u>	$\begin{cases} V_{GS} > V_{TN} \\ V_{DS} > V_{GS} - V_{TN} \end{cases} \Rightarrow I_{DS} = \frac{K_N}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2 (1 - \lambda V_{DS})$



Opcional

## - Dispositivos PMOS (Modelo Sah) $V_{TP} < 0$

<u>CORTE</u>	$V_{SG} \leq  V_{TP}  \Rightarrow I_{SD} = 0$
<u>OHMNICA</u>	$\begin{cases} V_{SG} >  V_{TP}  \\ V_{SD} \leq V_{SG} -  V_{TP}  \end{cases} \Rightarrow I_{SD} = K_P \left[ V_{SD} (V_{SG} -  V_{TP} ) - \frac{V_{SD}^2}{2} \right]$
<u>SAT</u>	$\begin{cases} V_{SG} >  V_{TP}  \\ V_{SD} > V_{SG} -  V_{TP}  \end{cases} \Rightarrow I_{SD} = \frac{K_P}{2} (V_{SG} -  V_{TP} )^2 (1 - \lambda V_{SD})$



Zone lineal (Ohmnica)  $\Rightarrow R_s = \frac{V_{DS}}{I_{DS}} = \frac{1}{K(V_{GS} - V_T)}$  ( $V_{DS} \downarrow$ )

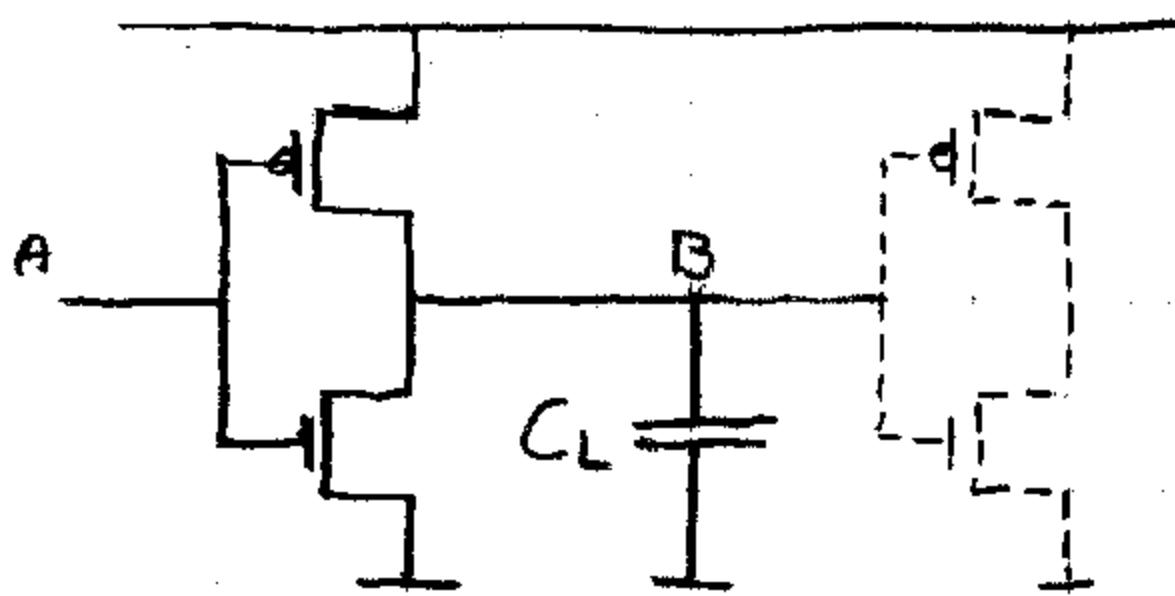
$$K_N = \mu_N C_{ox} W/L$$

$$C_{ox} = \epsilon_{SiO_2} \cdot 1/t_{ox}$$

## - Comportamiento Dinámico de Circuitos CMOS

$$C_{LN} = C_{ox} L_N W_N$$

$$C_L = C_{LN} + C_{LP} = C_{ox} (L_N W_N + L_P W_P)$$



$$t_d \propto \frac{L_N W_N + L_P W_P}{\mu_N W_N / L_N}$$

$$t_r \propto \frac{L_N W_N + L_P W_P}{\mu_P W_P / L_P}$$

## - ESCALADO DE IC'S (EFECTO SOBRE SUS PARÁMETROS)

- Hasta 1993: Constant Voltage Scaling  $\Rightarrow W, L, t_{ox}$
- Desde 1993: Constant Field Scaling  $\Rightarrow W, L, t_{ox}, V$

### \* Parámetros de interés

$$I_{tr} = K \left[ V_{DS} (V_{GS} - V_T) - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \propto \frac{1}{t_{ox}} \frac{W}{L} V^2$$

$$R_{eq} = \frac{V}{I} \propto t_{ox} \frac{L}{W} \cdot \frac{1}{V}$$

$$C_L = C_{ox} L W \propto \frac{1}{t_{ox}} L W$$

$$P = C_L V_{DD}^2 \cdot f_{CLK}$$

$$E = \frac{V_{DD}}{t_{ox}}$$

### \* Resolución de un problema de escalado

- Encontrar factores de escalado:  $1/\alpha_v, 1/\alpha_w, 1/\alpha_L, 1/\alpha_{ox}$
- Encontrar los factores por los que hay que multiplicar cada uno de los parámetros del chip en función de los factores de escalado.
- Calcular los parámetros del chip  $\Rightarrow$  p.e.  $P_2 = \frac{1}{\alpha^2} P_1$

## - ASPECTOS ECONÓMICOS DE DISEÑO DE CIRCUITOS VLSI

$$P_{CHIP} = P_{FABRICACION} + P_{DISEÑO}$$

$$P_{FABRICACION} = \left[ \frac{P_{PROCESAR\ OBLEA}}{A_{OBLEA} \cdot Q} + P_{ENCAPSULADO} + P_{TEST} \right] \cdot \frac{1}{Y}$$

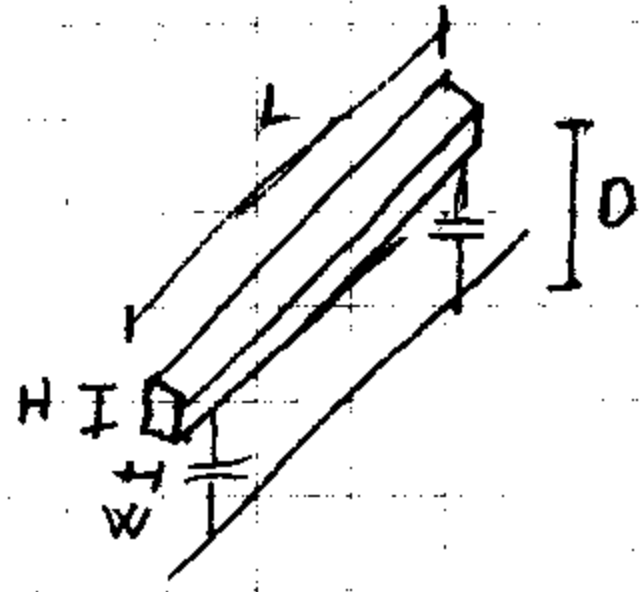
$$P_{DISEÑO} = \frac{P_{DISEÑO\ TOTAL}}{Y}$$

Q: factor aprovechamiento del área de la oblea

Y: rendimiento de fabricación

$$Y = \frac{\# \text{ chips buenos}}{\# \text{ chips totales}} = e^{-A_{CHIP} \cdot K}$$

- EVALUACIÓN DEL RETARDO DE INTERCONEXIÓN



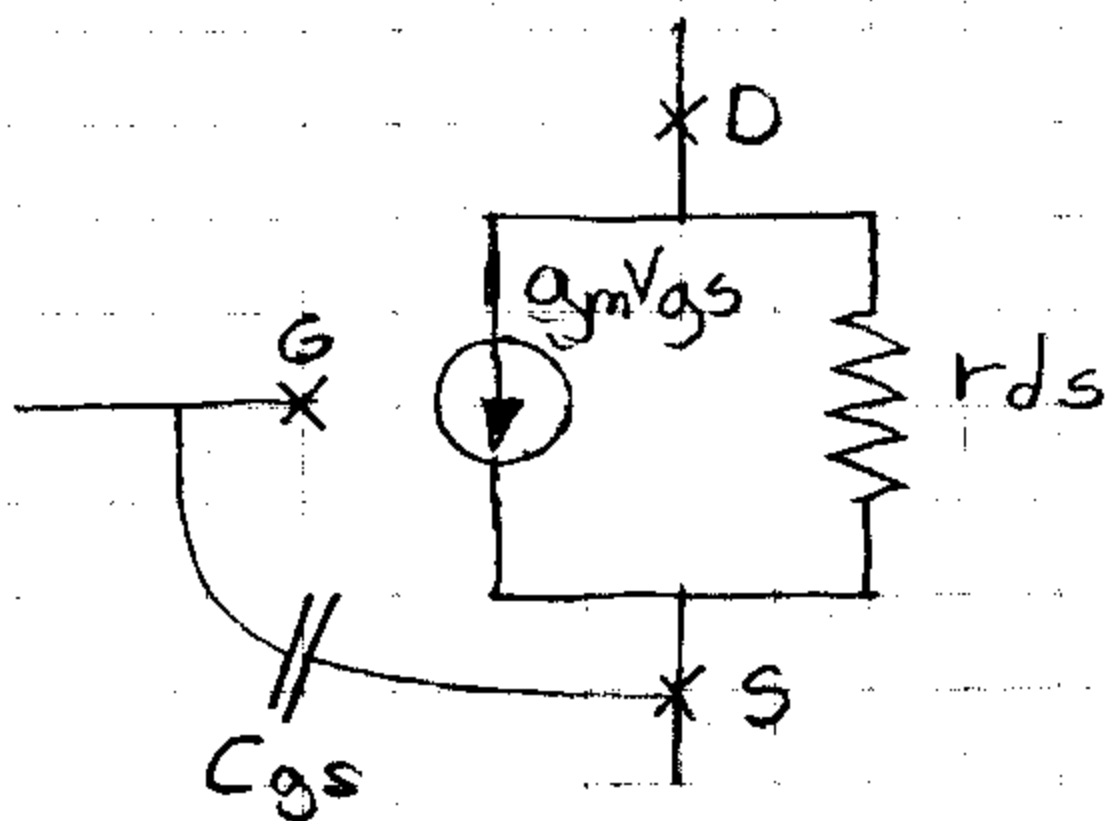
$$R_G = \rho \frac{L_{int}}{WH_{int}}$$

$$C_G = \epsilon \frac{LW}{D}$$

$$\tau_G = \frac{C_G}{V_{DD} K}$$

$$\tau = R_G C_G$$

- MODELO DEL MOS EN PEQUEÑA SEÑAL (En SAT.)

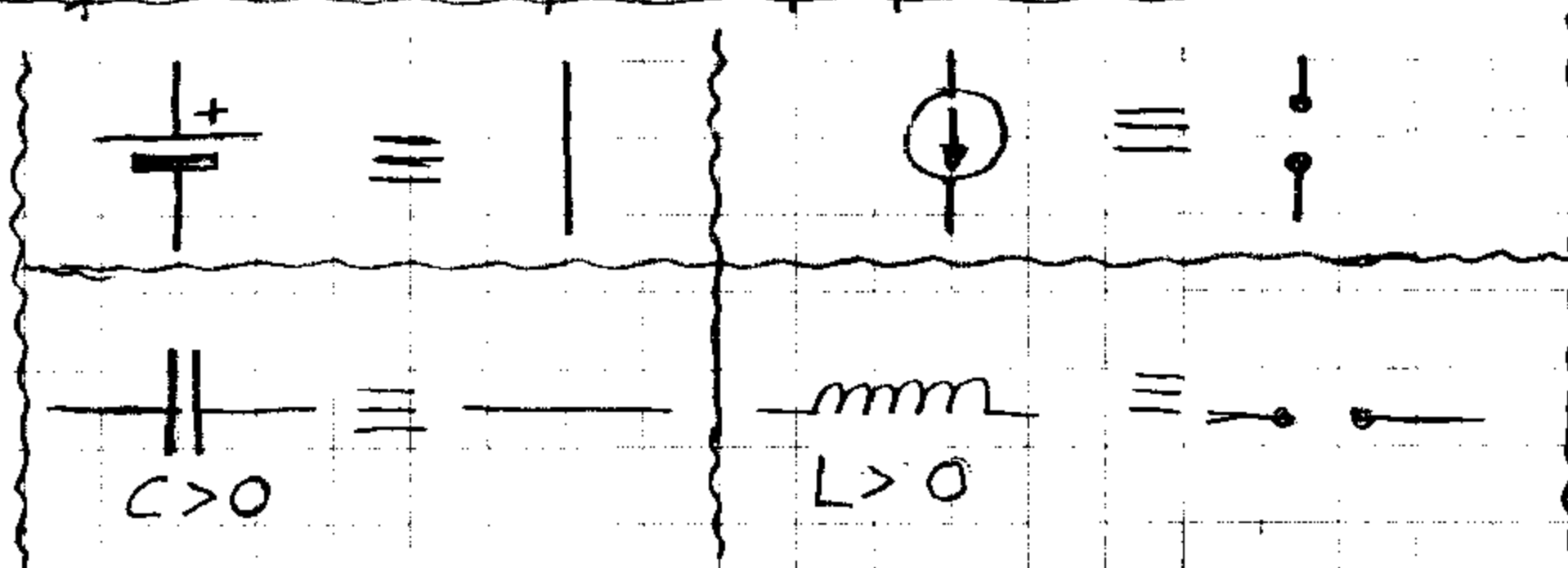


$$g_m = K (V_{gs} - V_T)$$

$$r_{ds} = \frac{1}{\lambda I_{ds}}$$

$C_{gs} \Rightarrow$  Para  $50\text{MHz} < f < 10\text{GHz}$

- Equivalentes para pequeña señal

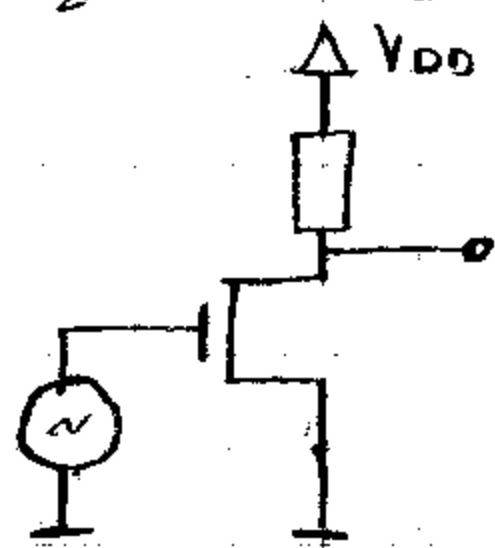


- Cálculo  $Z_{in}$ ,  $Z_{out}$  (En pequeña señal)

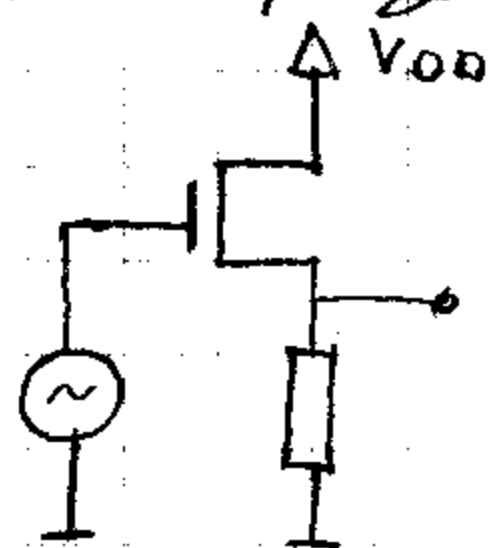
$$Z_{in} = \frac{V_i}{I_i} \Big|_{V_{out}=0}$$

$$Z_{out} = \frac{V_{out}}{I_{out}} \Big|_{V_{in}=0}$$

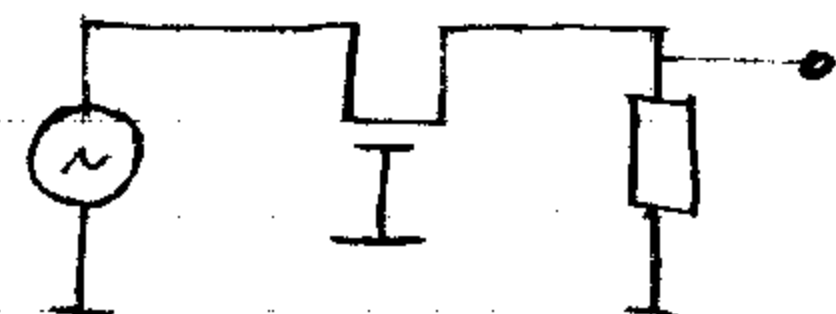
- Clasificación de los Amplific. según topología



SURTIDOR  
COMÚN  
 $K \uparrow \uparrow < 0$   
 $Z_{in}, Z_{out} \uparrow \uparrow$

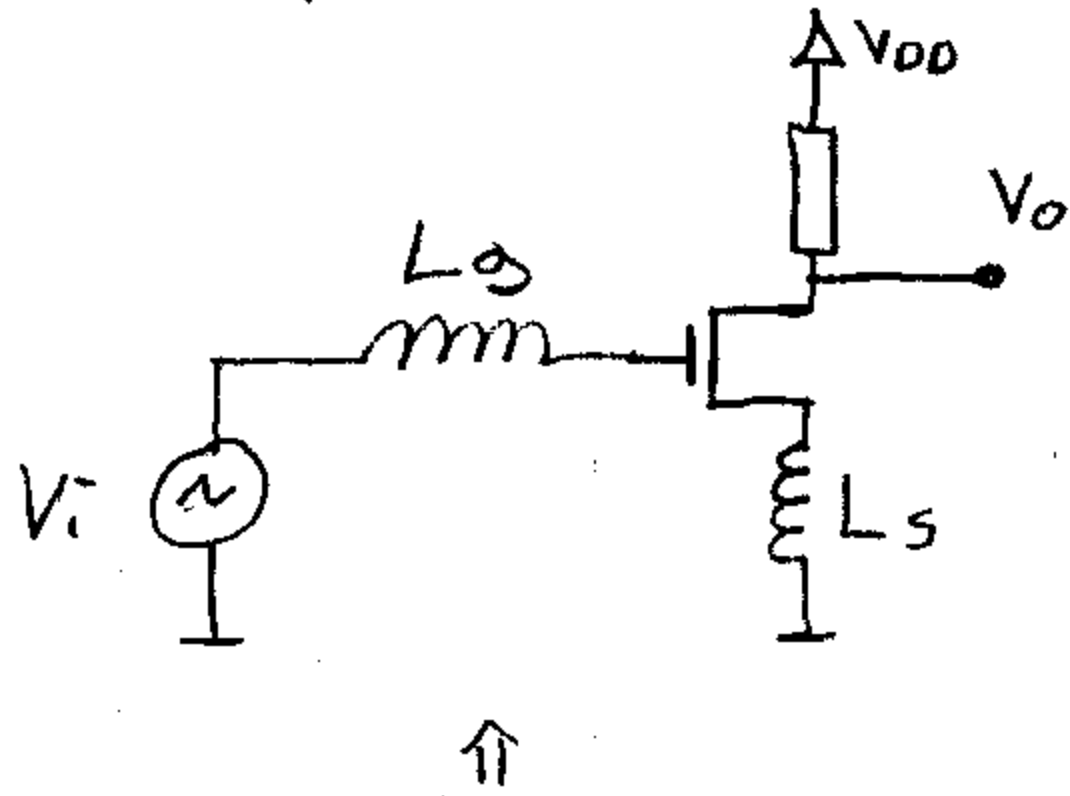


DRENADOR  
COMÚN  
 $K \approx 1$   
 $Z_{in} \uparrow, Z_{out} \downarrow$



PUERTA  
COMÚN  
 $Z_{in}, Z_{out} \downarrow \downarrow$

- LNA (low noise Amplifier)



$$Z_{in} = (L_g + L_s)S + \frac{1}{C_{gs}S} + g_m \frac{L_s}{C_{gs}}$$

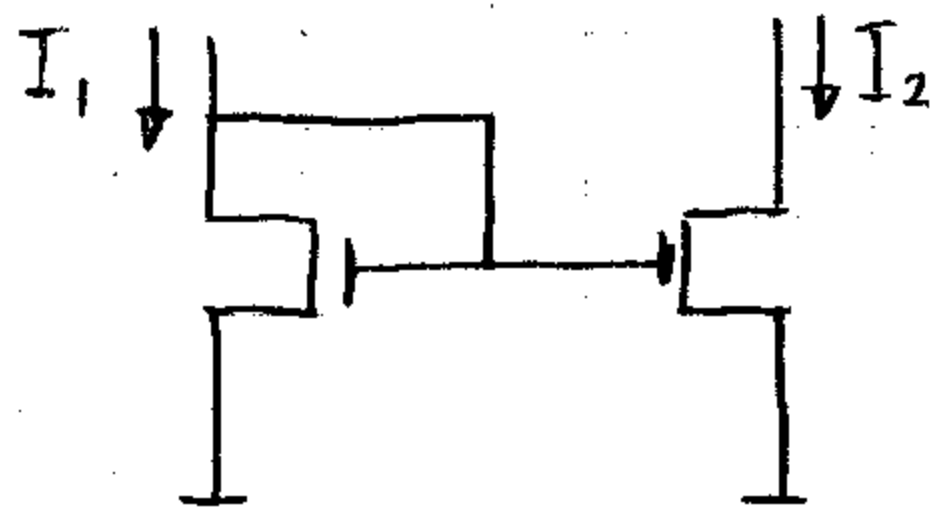
La  $Z_{in}$  es resistiva para

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{(L_g + L_s)C_{gs}}}$$

Amplificador con inductancia degenerada en el surtidor (Amplificación con  $L_g$ )

- Generador de corriente controlado por corriente

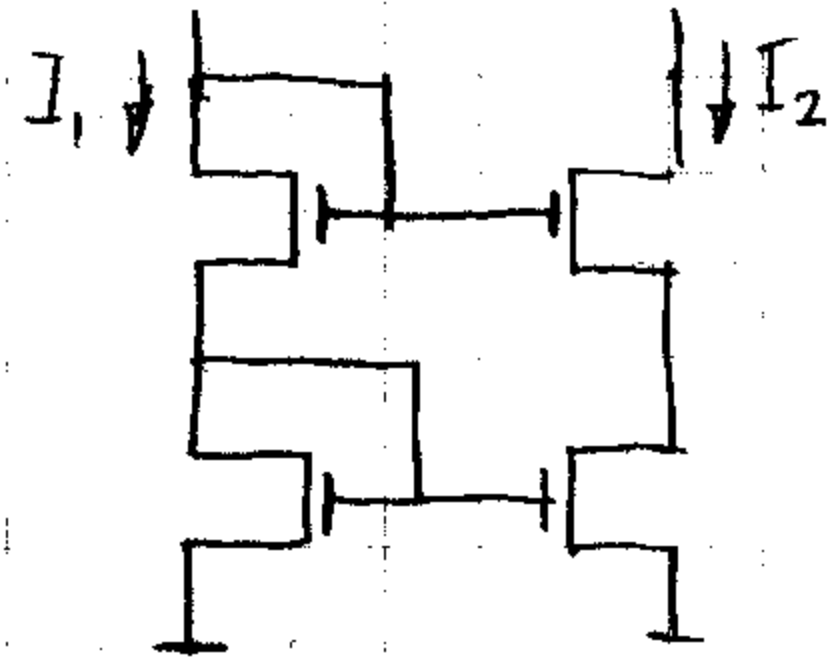
Espejo de corriente



$$I_2 = \frac{K_2}{K_1} I_1$$

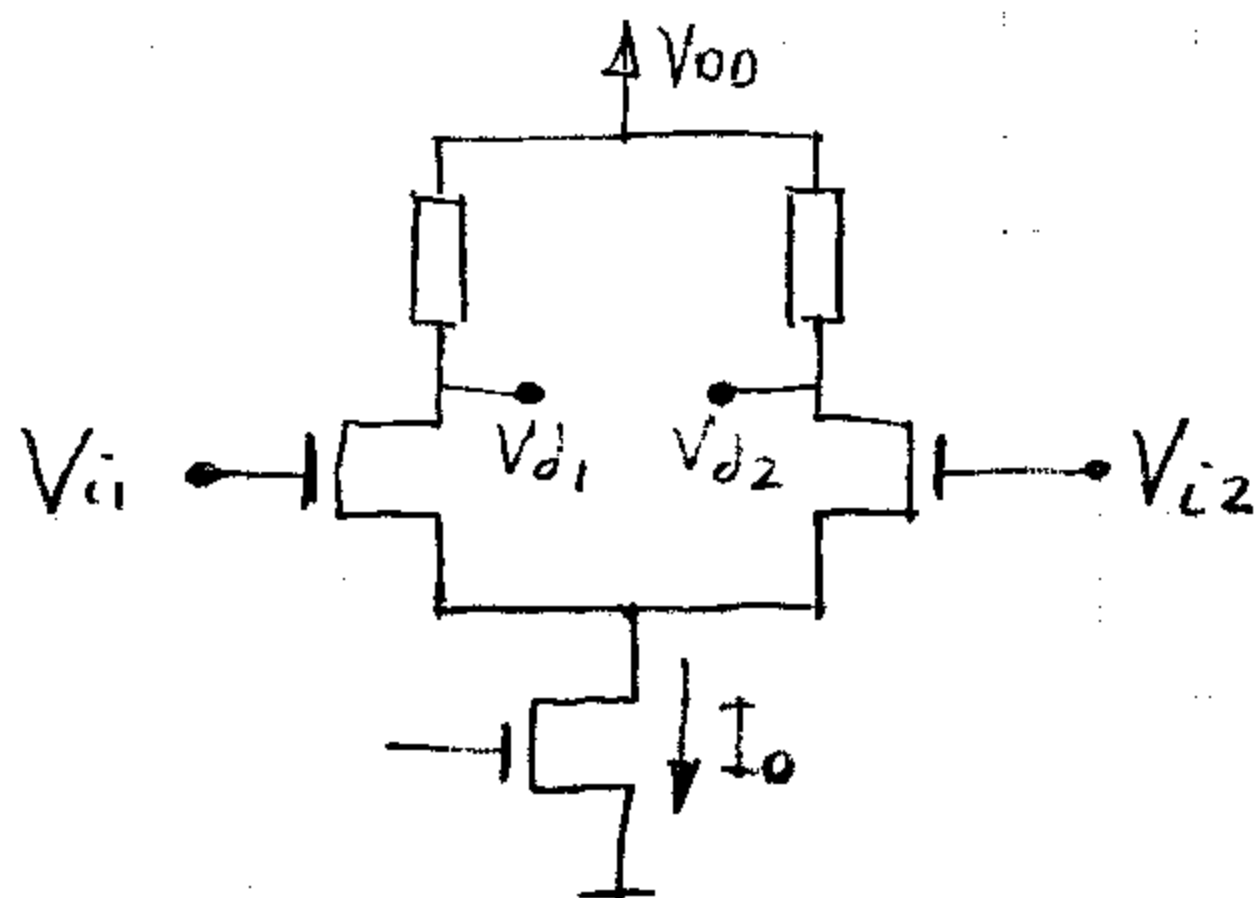
$$Z_{out} = r_{ds} \approx 1M\Omega$$

Estructura CASCODO



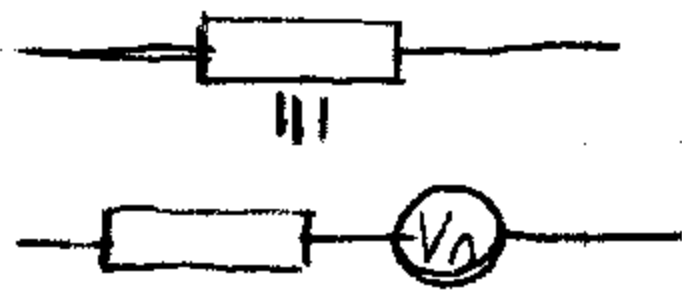
Se consiguen  $Z_{out}$  superiores 10-20M $\Omega$

- Amplificadores Diferenciales



# - RUIDO EN AMPLIFICADORES MOS

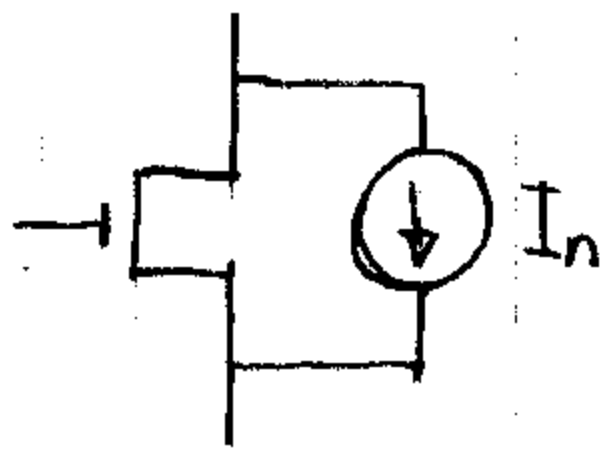
## • Elementos resistivos (Ruido térmico)



$$\overline{V_n^2} = 4kTR\Delta f$$

$k$ : cte Boltzman  
 $T$ : Temp absoluta  
 $\Delta f$ : Frec trabajo

## • Dispositivos MOS



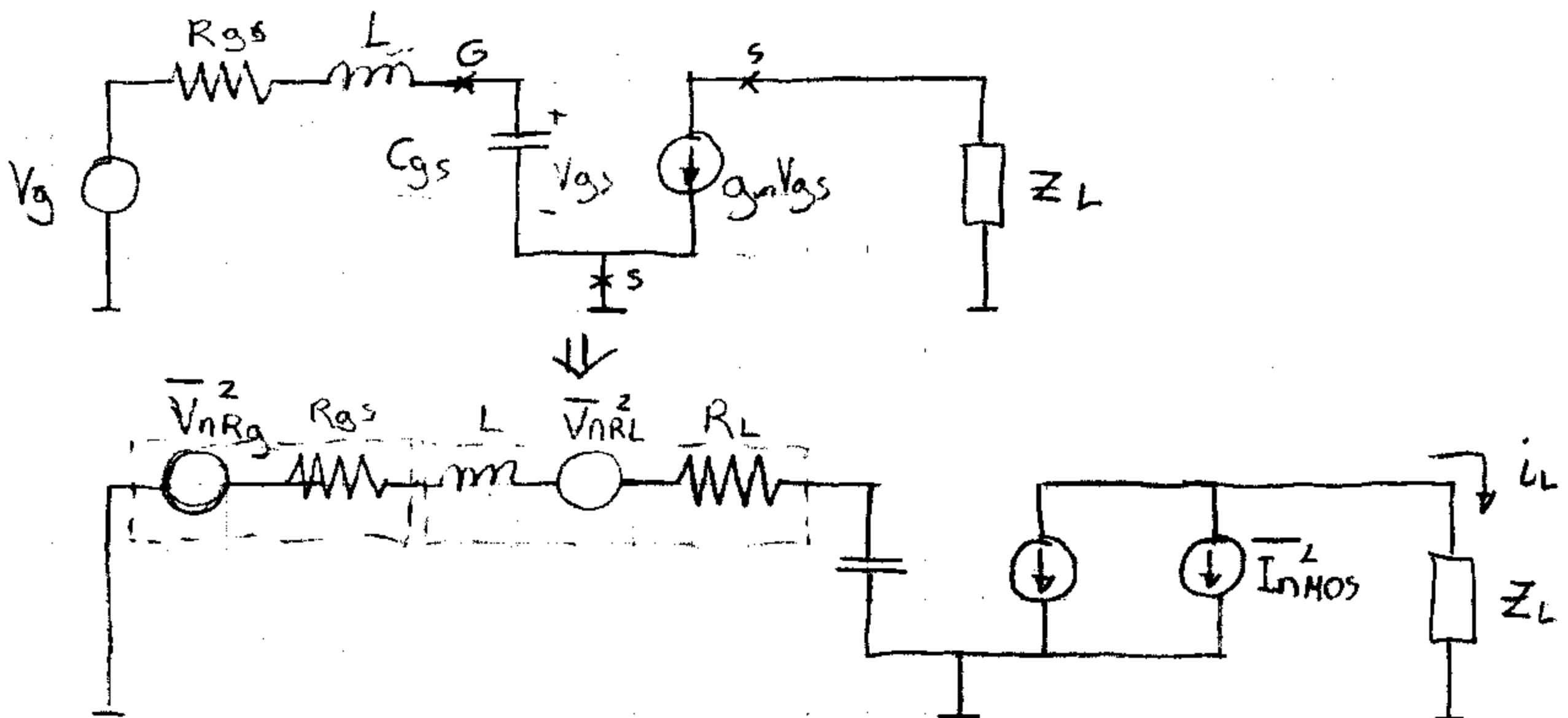
Por la Resistencia del canal

$$\overline{I_n^2} = 4kT \frac{2}{3} g_m \Delta f$$

## - Figure de Ruido NF

$$NF = \frac{P_{NOISE OUT}}{P_{NOISE IN}}$$

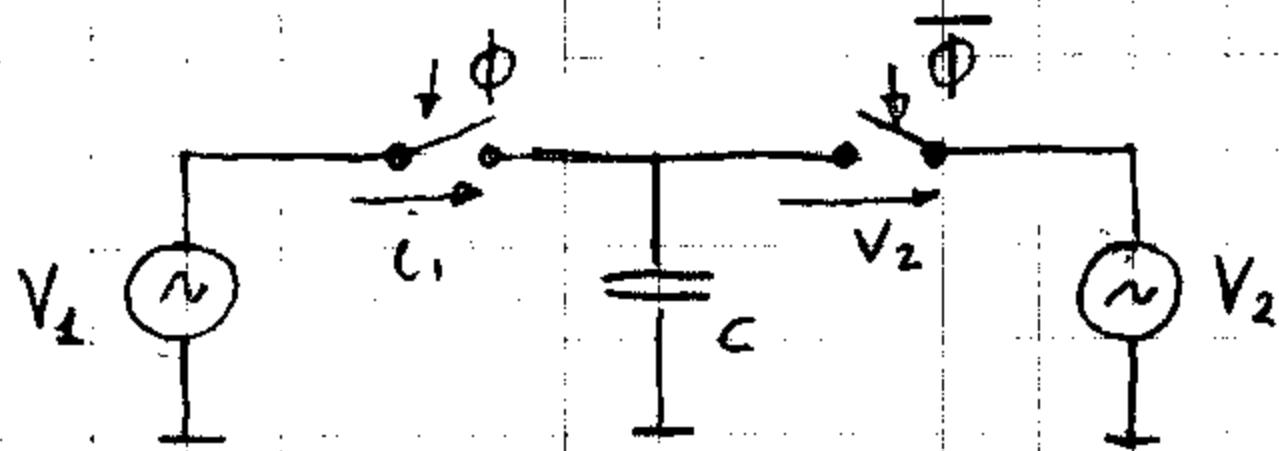
Ejemplo:



- Obtendremos por superposición la potencia de ruido debida a cada uno de los elementos.

$$NF = \frac{P_{nRg} + P_{nRL} + P_{nMOS}}{P_{nRg}}$$

## - CAPACIDADES CONMUTADAS

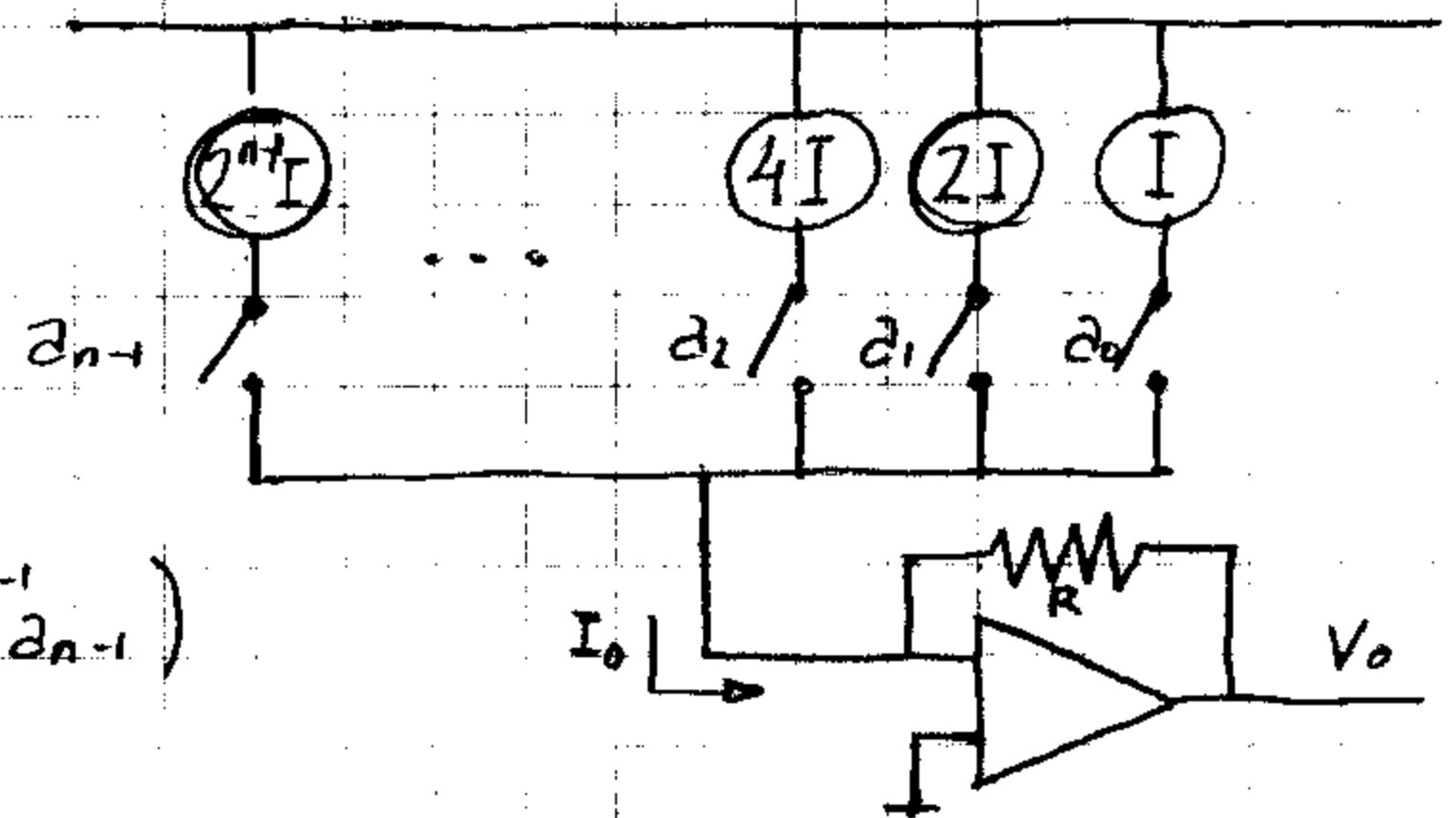
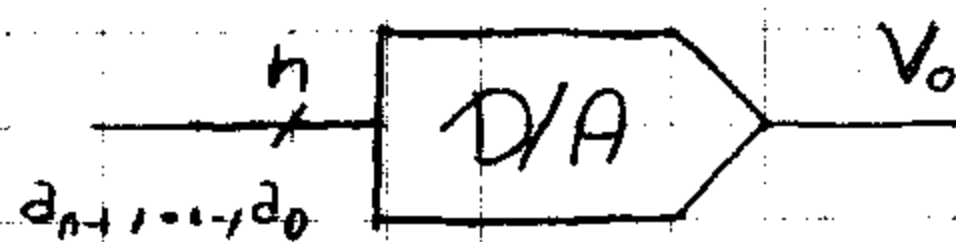


$$R = \frac{1}{f_0 \cdot C}$$

- Se comporta bien trabajando a frecuencias hasta una década menos que  $f_0$ .

## \* CONVERTIDORES D/A

- Basados en divisor de tensión → Poco usados, mucha area
- Distribuciones de carga → Poca precisión, se usa en  $\mu C$
- Generadores de corriente (Ponderados binariamente)

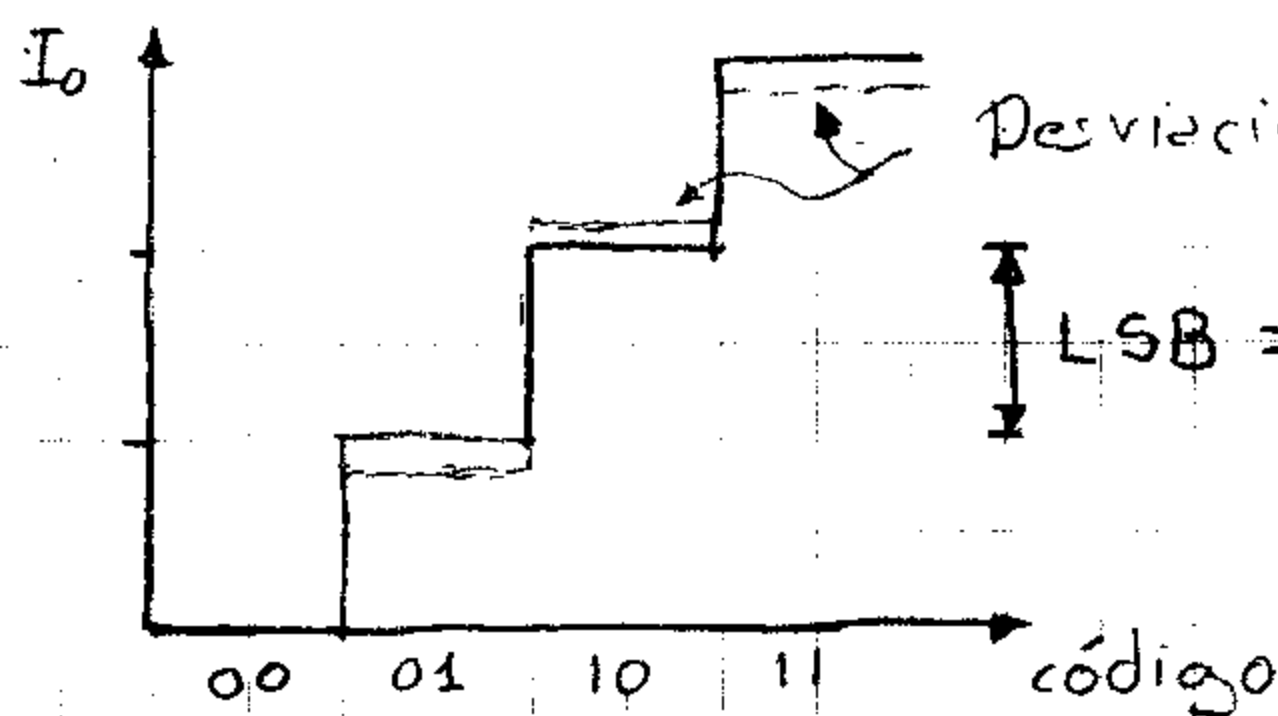


$$V_o = I (2^n d_0 + 2^{n-1} d_1 + 2^{n-2} d_2 + \dots + 2^0 d_{n-1})$$

## - DESVIACIÓN DE PARÁMETROS

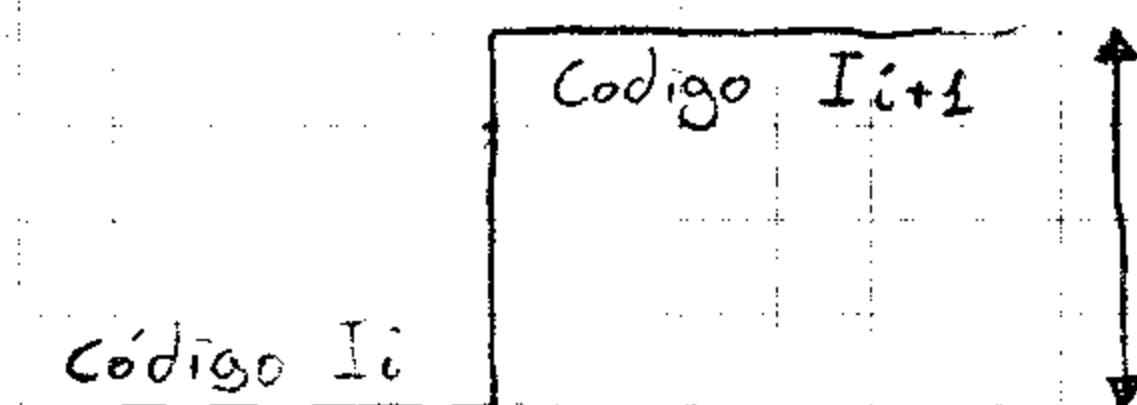
$$I \in [I(1-\alpha); I(1+\alpha)]$$

$\alpha$  depende del proceso



Desviación respecto las especificaciones

$$LSB = \frac{I_{0max}}{2^n}$$



$$I_{i+1} - I_i \leq 1.5 I_{LSB}$$

- Se a de cumplir  $\forall i$
- Para ello siempre comprobaremos el caso peor (Worse Case):

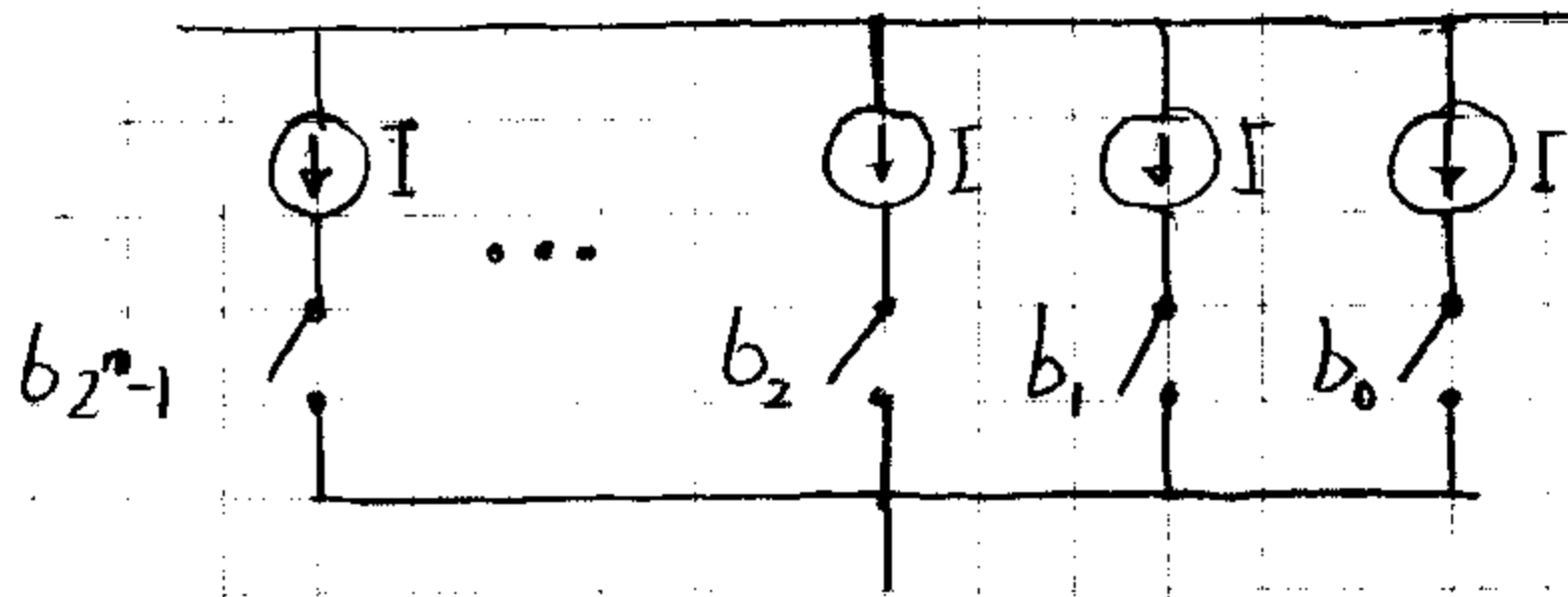
- Worse Case: Suele darse en el cambio del bit más significativo

$$i = 01111$$

$$i+1 = 10000$$

$$\alpha \leq \frac{0.5}{2^n - 1} \approx \frac{1}{2^{n+1}}$$

• GENERADORES DE CORRIENTE (PONDERADOS UNITARIAMENTE)



n=4	b <sub>15</sub>	b <sub>2</sub> , b <sub>1</sub> , b <sub>0</sub>
0000	000	000
0001	000	001
0010	000	011
...		
1111	111	111

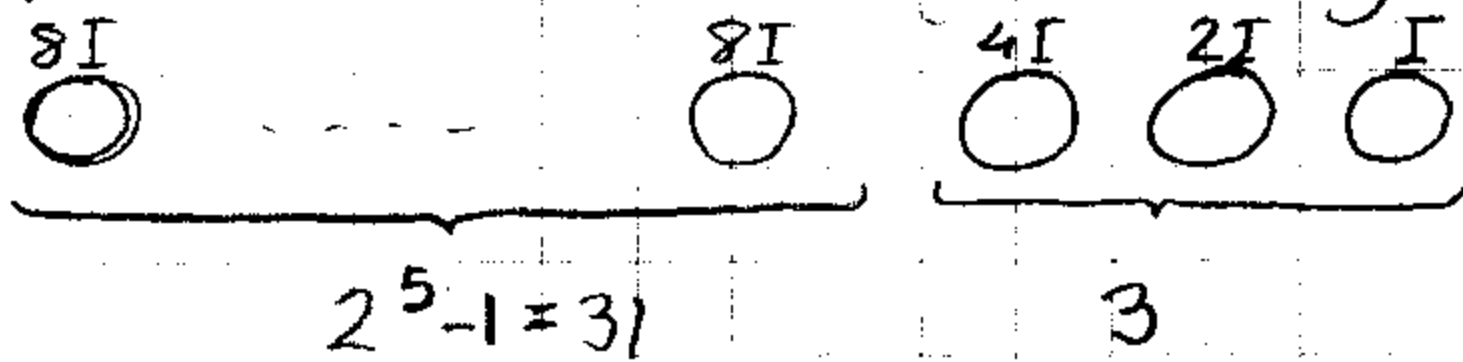
Código termométrico

- Soluciona el problema de la desviación de parámetros ya que se pueden usar  $\alpha$  más grandes:

$$\alpha \leq 1/2$$

• GENERADORES DE CORRIENTE (SEGMENTADOS)

Ejemplo: C/DIA 8bits segmentado en 5+3

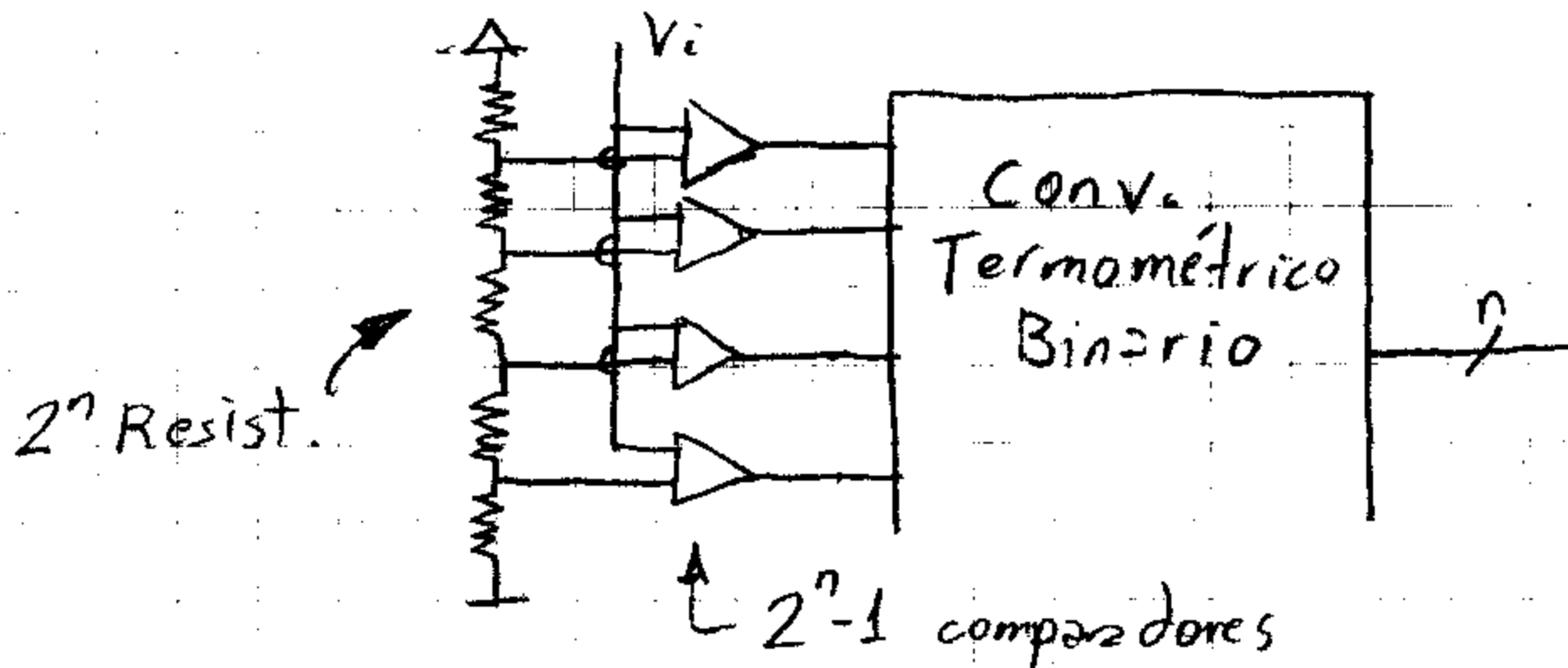


$$\alpha \leq \frac{1}{2^{S+1}}$$

S = bits usados para la parte de ponderación binaria (3 en el ejemplo)

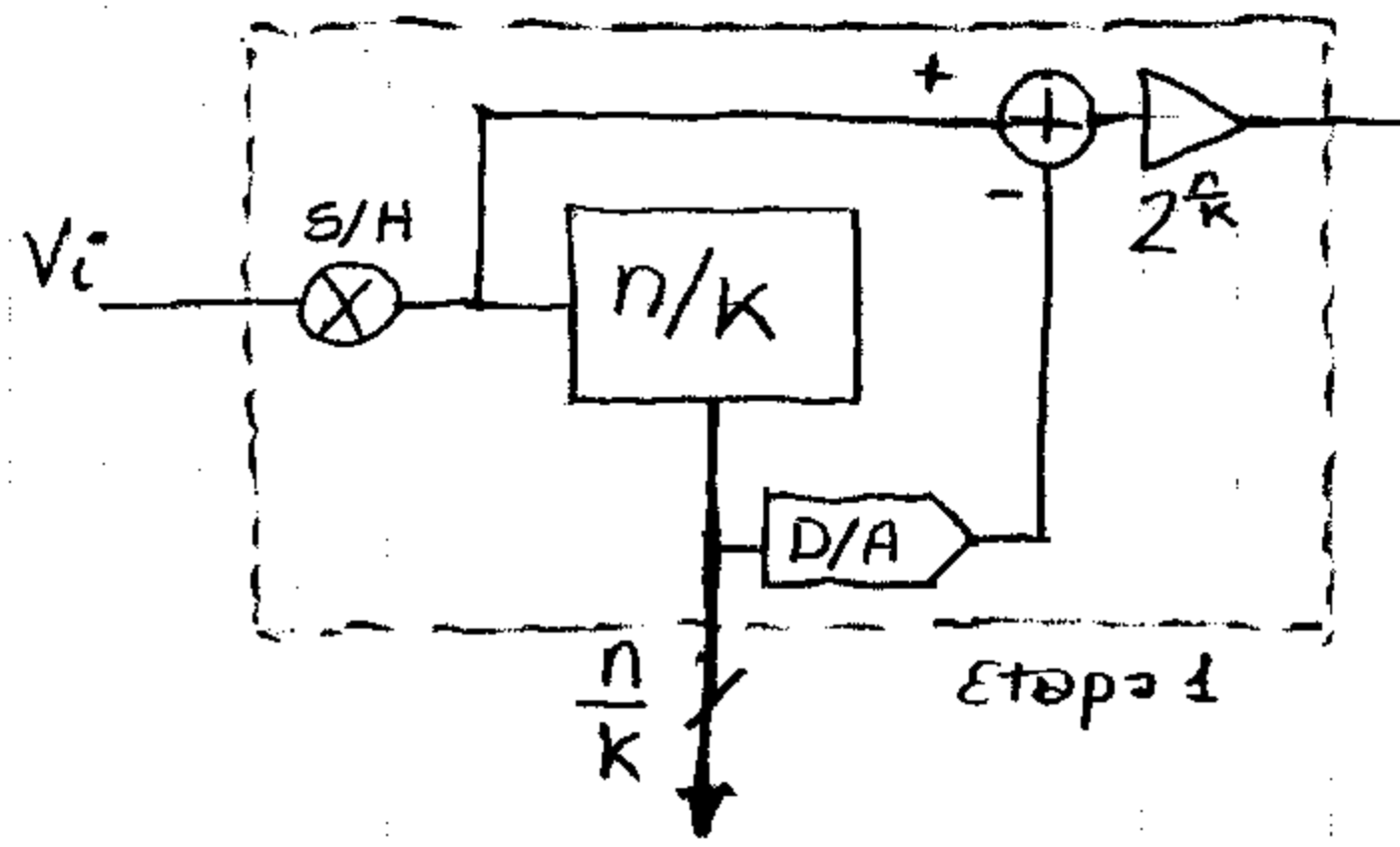
\* CONVERTIDORES A/D

• Tipo Flash

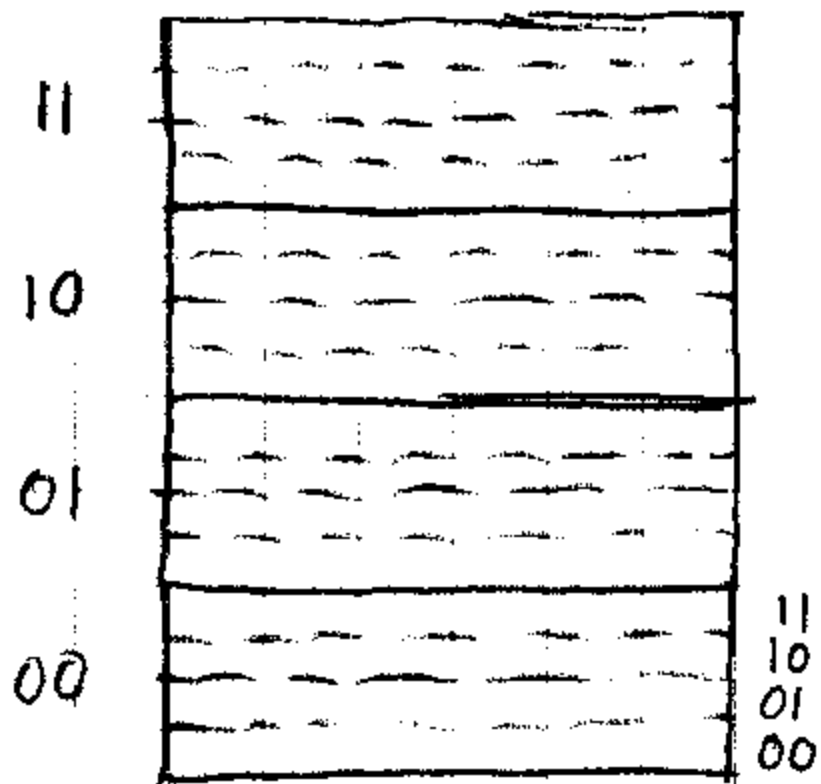
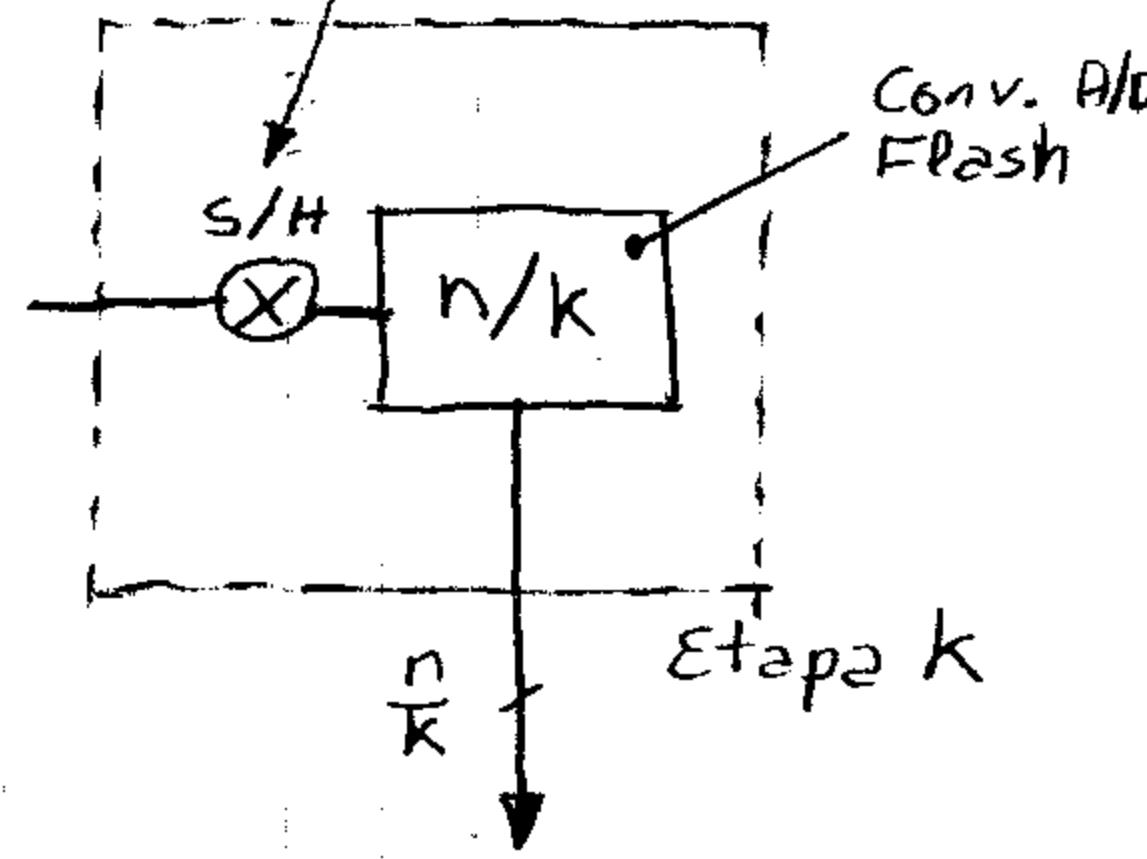


- Muy rápido
- Muy costoso

• Tipo Pipeline (n en k etapas)



Sample & hold (mantiene la muestra)



Se basa en ir subdividiendo los espacios de comparación en  $2^{n/k}$  partes en cada etapa

- Pipelines comerciales  $\Rightarrow n=k$ , no son real-time

Etapa Conversión

Etapa Sincronización

