

# CIRCUITOS DIGITALES

- Conceptos preliminares
- Familias lógicas
- Topologías
- Compuertas
- Flip Flops
- Osciladores
- Memorias

# Conceptos preliminares

- **Máximo nivel de tensión de entrada para un nivel lógico bajo  $V_{IL}$ :** es el máximo nivel de tensión en la entrada que es interpretado como un nivel lógico bajo.
- **Mínimo nivel de tensión de entrada para un nivel lógico alto  $V_{IH}$ :** es el mínimo nivel de tensión en la entrada que es interpretado como un nivel lógico alto.
- **Máximo nivel de tensión de salida para un nivel lógico bajo  $V_{OL}$ :** es el máximo nivel de tensión a la salida que la compuerta produce como nivel lógico bajo.
- **Mínimo nivel de tensión de salida para un nivel lógico alto  $V_{OH}$ :** es el mínimo nivel de tensión de salida que es interpretado como un nivel lógico alto.

# Conceptos preliminares

- **Margen de ruido:** indica la inmunidad de un sistema lógico de soportar la presencia de ruidos eléctricos sin cambiar de estado.

$$NM_L \triangleq V_{IL} - V_{OL}$$

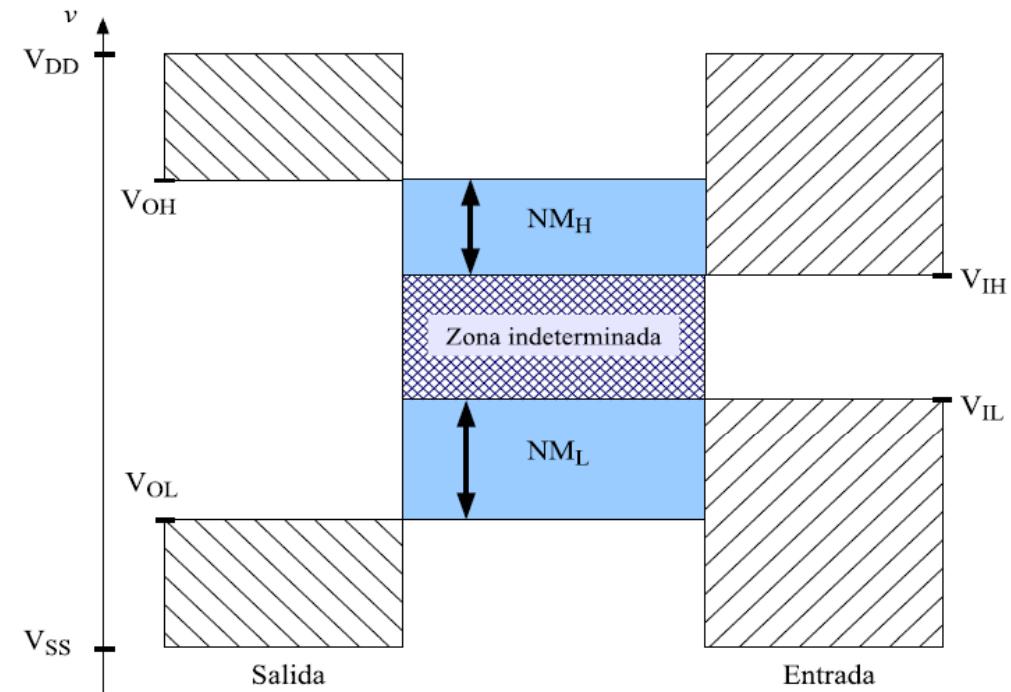
$$NM_H \triangleq V_{OH} - V_{IH}$$

compuerta ideal

$$V_{OH} = V_{DD}, V_{OL} = V_{SS}$$

$$V_{IH} = V_{IL} = V_{DD}/2$$

$$NM_L = NM_H = V_{DD}/2$$

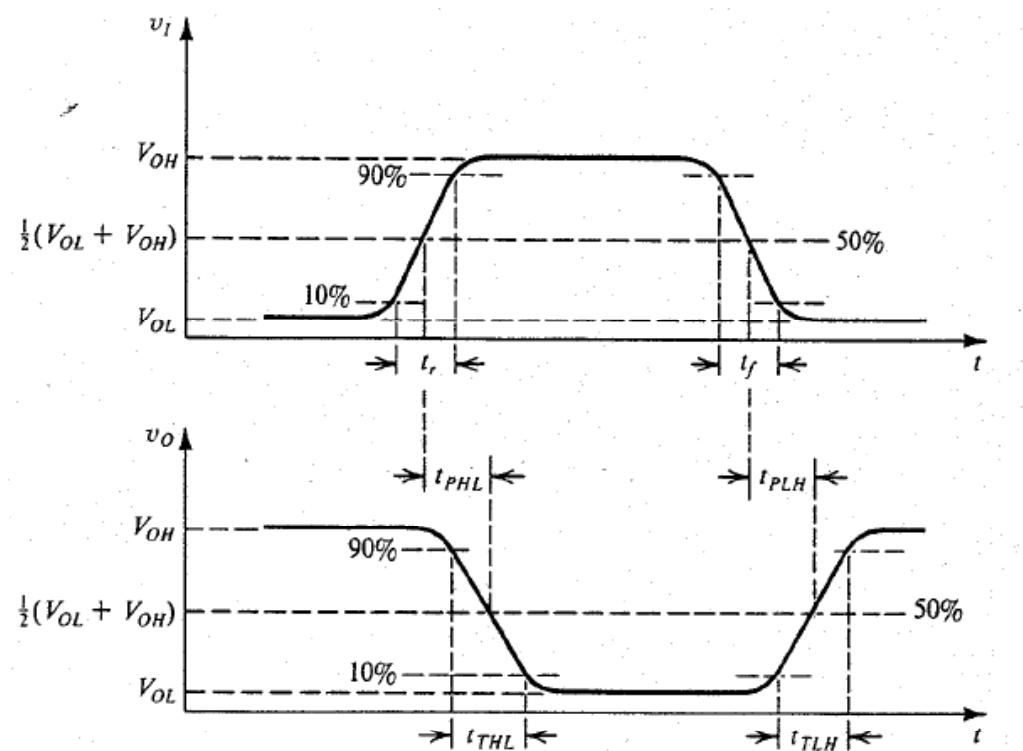


# Conceptos preliminares

- **Retardo de Propagación**
- La performance de una lógica se define por el tiempo de propagación de un inversor básico.

$$t_P \equiv \frac{1}{2}(t_{PLH} + t_{PHL})$$

Cuanto menor es  $t_P$ , mayor es la frecuencia a la cual puede operar el circuito digital



# Conceptos preliminares

- **Cargabilidad**
- **Fan-In:** consumo relativo de la entrada de un circuito lógico, referido a una celda unidad. Va en función de cómo se distribuye internamente la señal de entrada.
- **Fan-Out:** capacidad de manejo que tiene una salida de un circuito lógico, referido a una celda unidad.

# Conceptos preliminares

- **Disipación de Potencia**
- Disipación Estática
  - Ocurre cuando la lógica se encuentra en un estado estable, sin cambios en los niveles lógicos.
- Disipación Dinámica
  - Ocurre cuando la lógica conmuta sus niveles lógicos. Esto provoca demandas de corriente adicional para realizar el cambio de estado lógico.
  - En todo cambio de estado lógico se encuentra involucrada la carga y/o descarga de capacidades del circuito, ya sean propias de los componentes o parásitas.

$$P_D = fCV_{DD}^2$$

# Familias lógicas

- CMOS (Complementary Metal Oxide Silicon)
  - Mayormente utilizada hoy en día. Procesos actuales: 32nm (Core-i5, 3.73Ghz, 2.6Ghz FSB)
- TTL (Transistor – Transistor Logic)
  - TTL clásica
  - L (Low)
  - LS (Low Schottky)
  - S (Schottky)
  - F (Fast)
  - HC (High CMOS)
  - HCT (Hight CMOS TTL)
  - ACT (Advanced CMOS TTL)
- ECL (Emitter Coupled Logic) → Muy alta velocidad
- DTL (Diode Transistor Logic) RTL (Resistor Transistor Logic) → Obsoletas

# Inversor CMOS

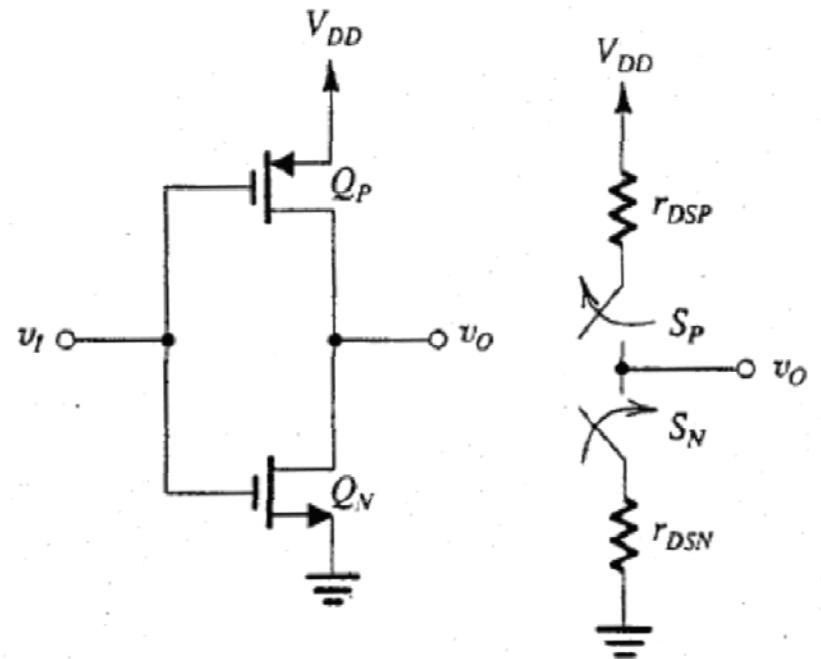
- Cada transistor se lo puede modelar como una llave con una resistencia de canal:

$$r_{DSN} = 1 \left/ \left[ k'_n \left( \frac{W}{L} \right)_n (V_{DD} - V_t) \right] \right.$$

$$r_{DSP} = 1 \left/ \left[ k'_p \left( \frac{W}{L} \right)_p (V_{DD} - V_t) \right] \right.$$

$$|v_{DS}| = 0$$

- Con  $v_i = 0 \rightarrow v_o = V_{DD}$  a través de la resistencia de  $Q_P$ .
- Con  $v_i = V_{DD} \rightarrow v_o = 0$  a través de la resistencia de  $Q_N$ .



# Curva de transferencia

- Los transistores  $Q_P$  y  $Q_N$  tienen las dimensiones tales que el umbral de comutación se ubica en  $V_{DD}/2$ .

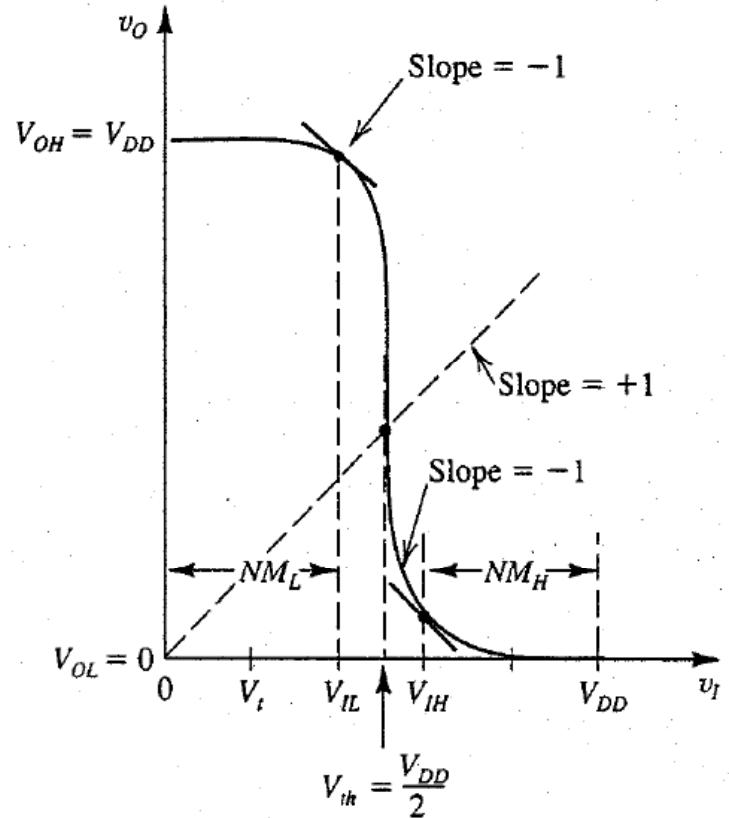
$$V_{th} = \frac{V_{DD} - |V_{tp}| + \sqrt{k_n/k_p} V_{tn}}{1 + \sqrt{k_n/k_p}}$$

$$k_n = k'_n(W/L)_n \text{ and } k_p = k'_p(W/L)_p$$

$$V_{tn} = |V_{tp}|, V_{th} = V_{DD}/2$$

$$k_n = k_p \quad k'_n(W/L)_n = k'_p(W/L)_p$$

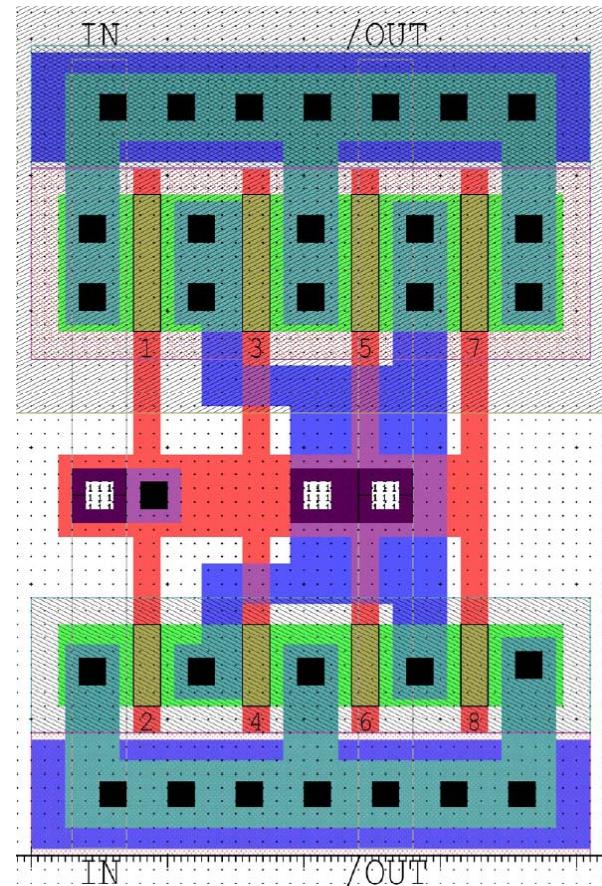
$$\left(\frac{W}{L}\right)_p = \frac{\mu_n}{\mu_p} \left(\frac{W}{L}\right)_n$$



Introducción a la Electrónica

# Curva de transferencia

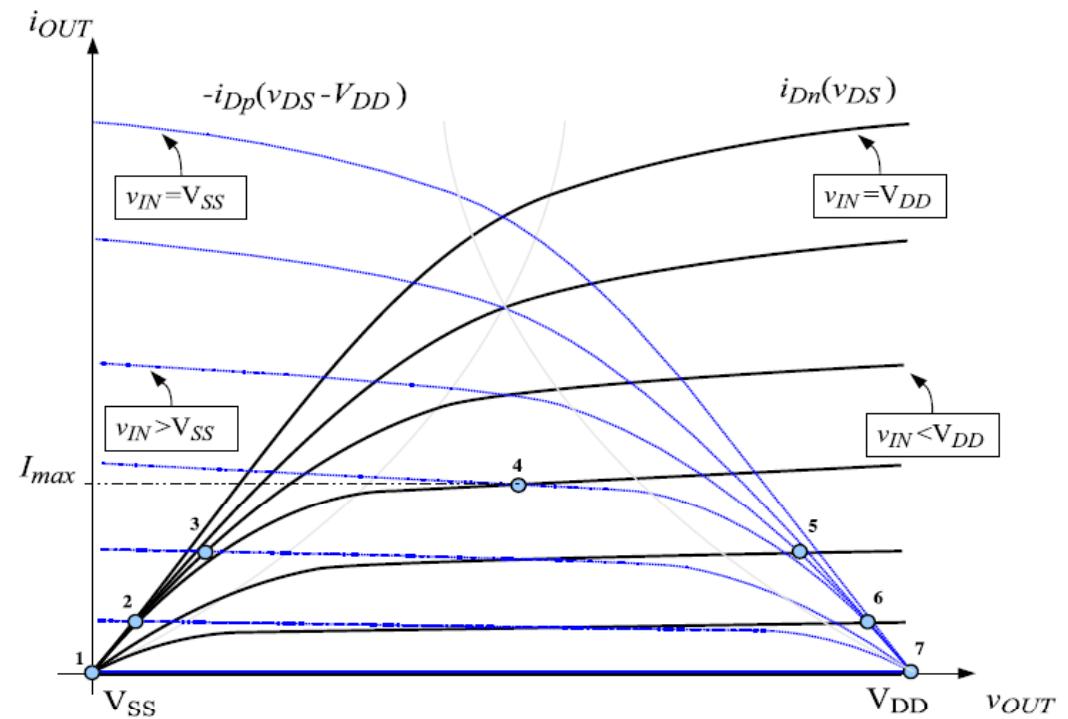
- Para lograr simetría en la curva de transferencia, debido a la diferencia en la movilidad de los portadores n y p, es necesario diseñar los transistores p con un ancho (W) mayor que los del tipo n.
- El largo del canal (L) habitualmente es fijo y está dado por el tamaño mínimo que soporta el proceso.



Introducción a la Electrónica

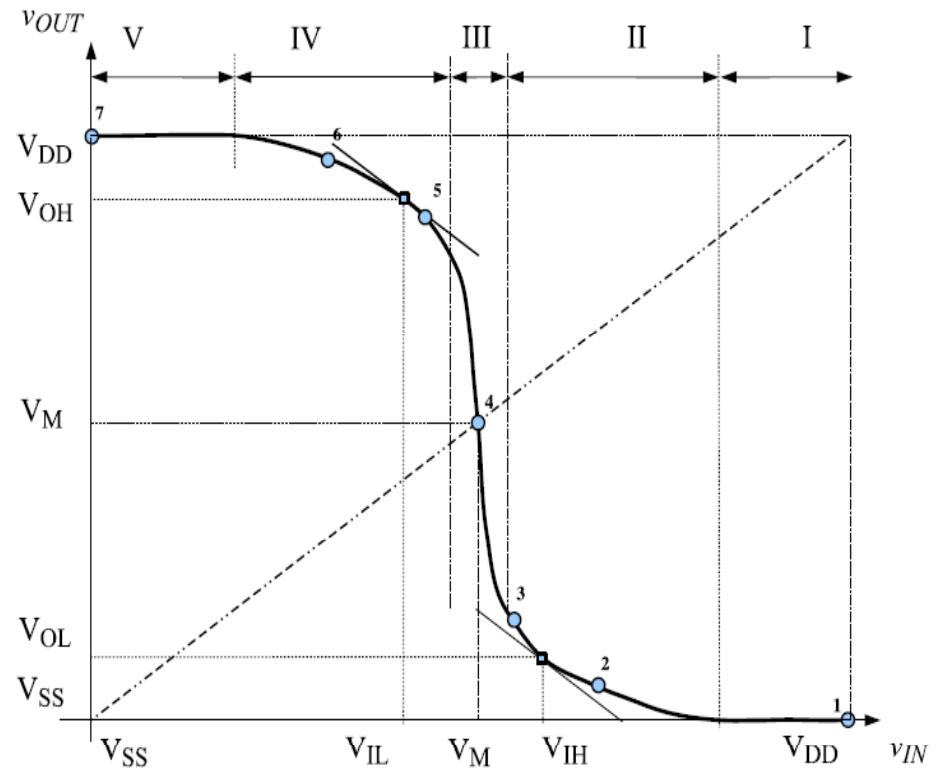
# Puntos de Trabajo

- En función de la tensión de salida del inversor, la ubicación del punto de trabajo de ambos transistores (P y N) vendrá dado por las gráficas del dibujo.



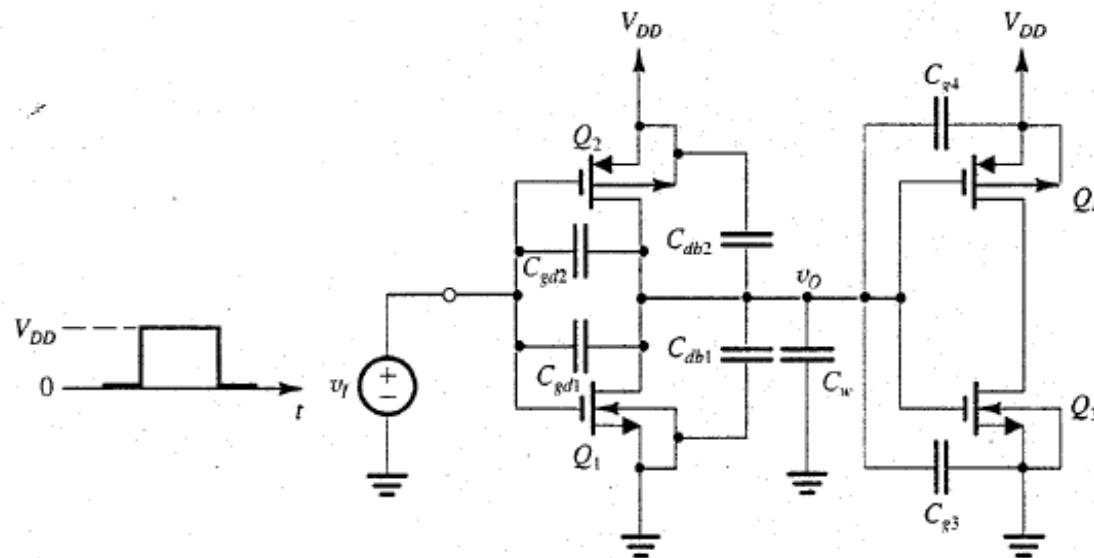
# Puntos de Trabajo

- V. NMOS en corte y PMOS en triodo
- IV. NMOS en saturación y PMOS en triodo
- III. NMOS en saturación y PMOS en saturación
- II. NMOS en triodo y PMOS en saturación
- I. NMOS en triodo y PMOS en corte



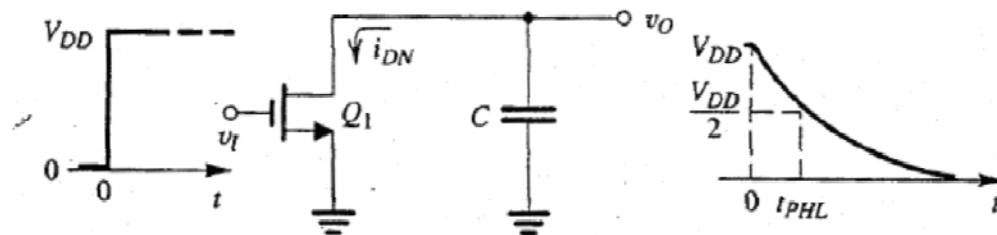
# Operación Dinámica

- Todas las capacidades internas de los transistores forman parte en el proceso de conmutación de niveles en el inversor.



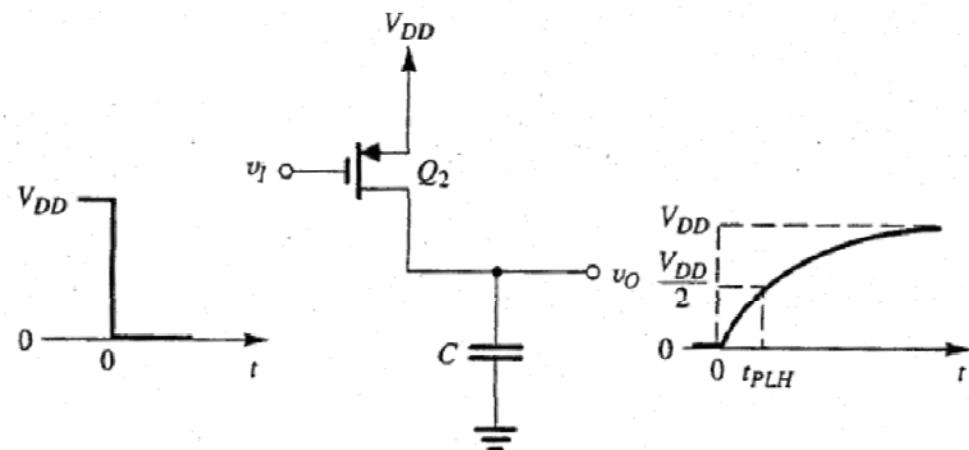
# Operación Dinámica

$$C = 2C_{gd1} + 2C_{gd2} + C_{db1} + C_{db2} + C_{g3} + C_{g4} + C_w$$



(a)

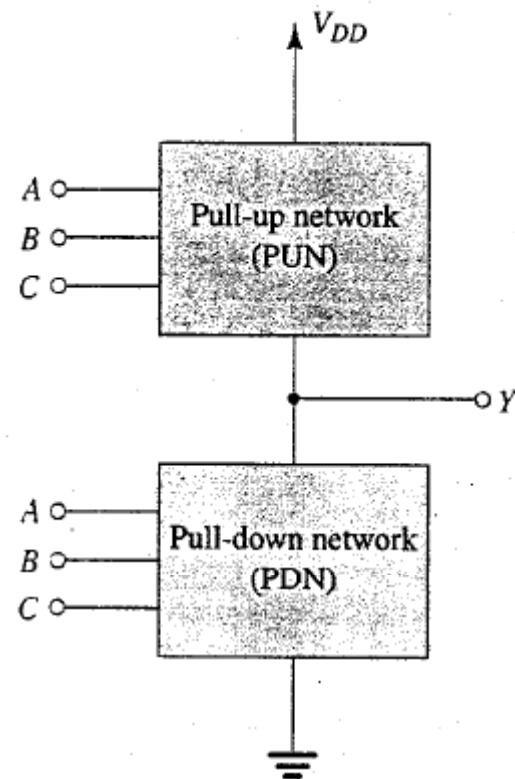
$$t_{PHL} \cong \frac{1.7 C}{k'_n \left(\frac{W}{L}\right)_n V_{DD}}$$



$$t_{PLH} \cong \frac{1.7 C}{k'_p \left(\frac{W}{L}\right)_p V_{DD}}$$

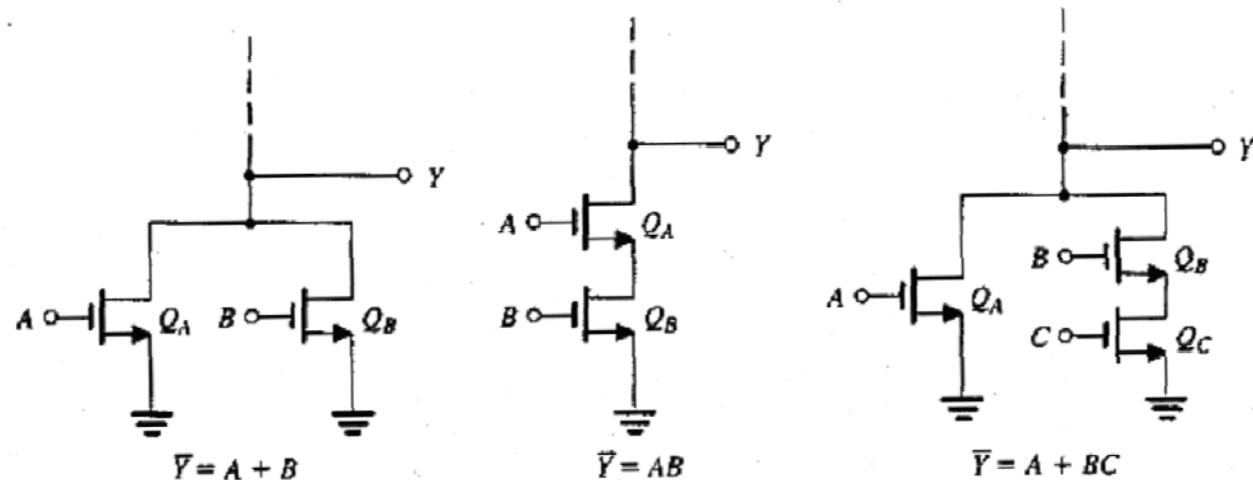
# Compuertas CMOS

- Estructura básica de una compuerta
  - Red de Pull-up que fija el nivel alto.  
Transistores PMOS
  - Red de Pull-down que fija el nivel bajo.  
Transistores NMOS
- En base a la función lógica a implementar, cada red tendrá una topología determinada.



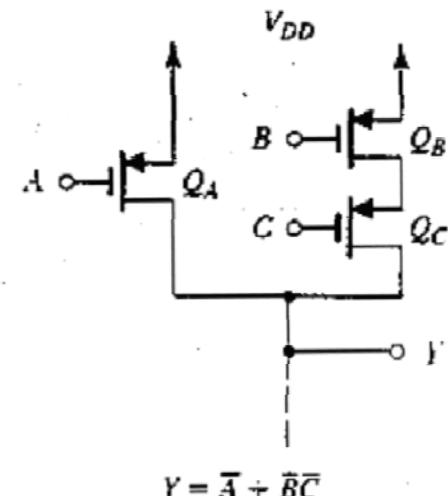
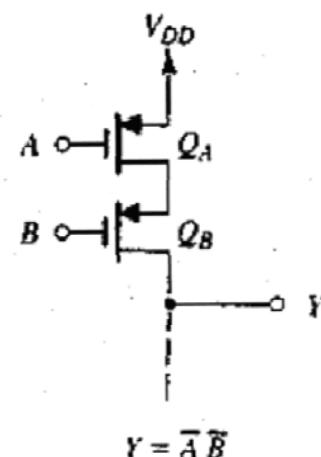
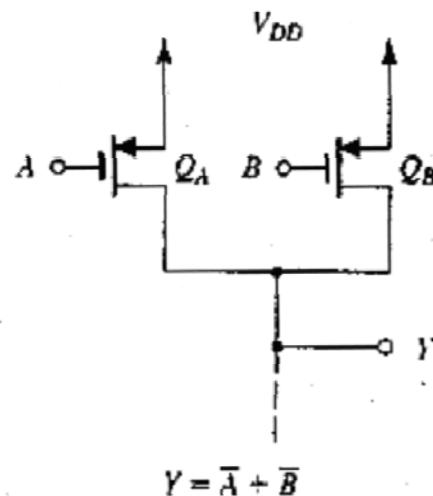
# Compuertas CMOS

- Ejemplos de redes Pull-down



# Compuertas CMOS

- Ejemplos de redes Pull-up



# Ejemplos compuertas CMOS

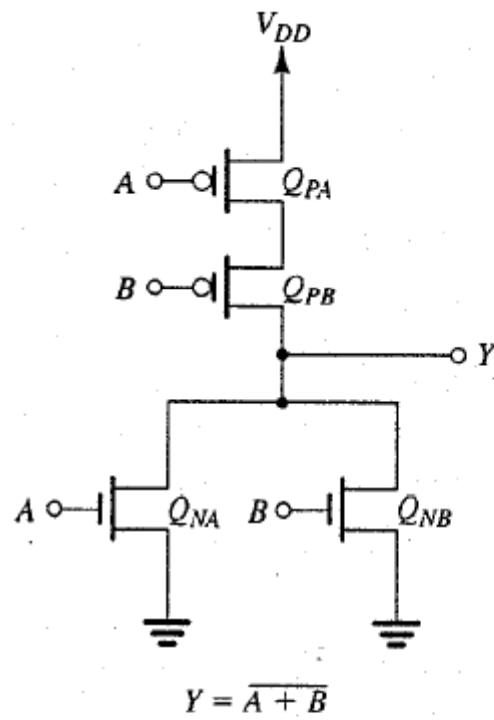


Fig. 13.12 A two-input CMOS NOR gate.

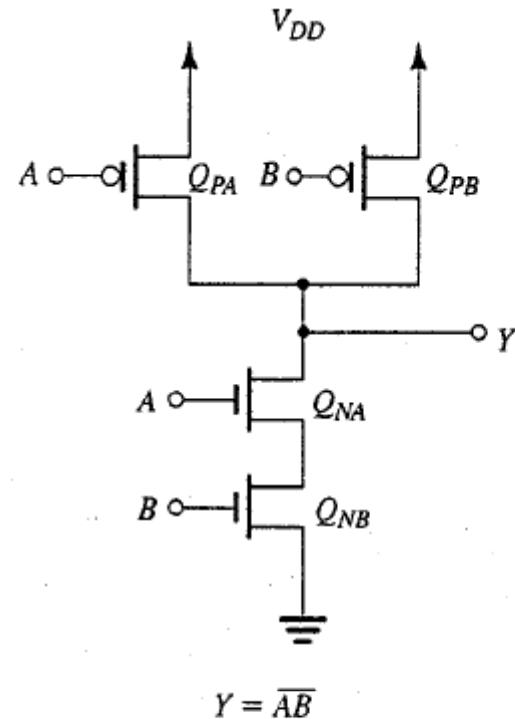


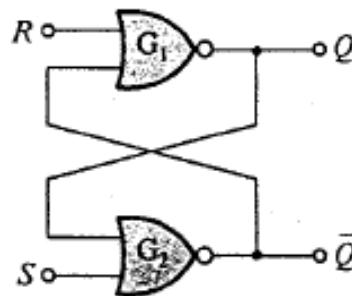
Fig. 13.13 A two-input CMOS NAND gate.

# Circuitos secuenciales

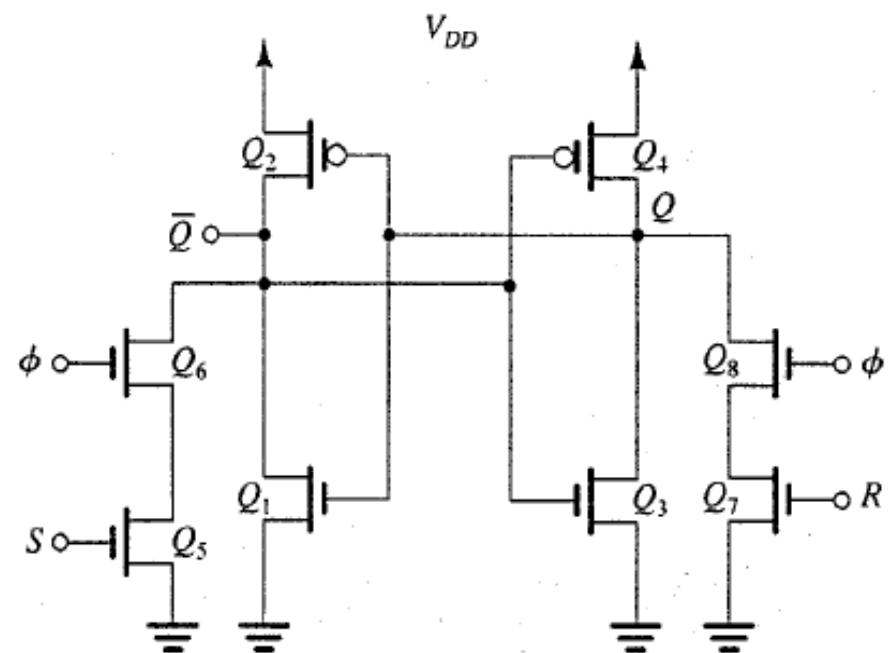
- Son aquellos, en los cuales el estado lógico de las salidas depende no solamente del valor de las entradas, sino también del historial.
- Evolucionan de manera asincrónica o sincrónica con una señal de reloj.
- La manera de dotar a estos circuitos con memoria es a través de una realimentación positiva, de manera de lograr un circuito biestable capaz de almacenar 2 estados lógicos posibles.
- Ejemplos
  - Flip flops
  - Contadores
  - Memorias SRAM

# Flip Flop CMOS

- Flip Flop RS

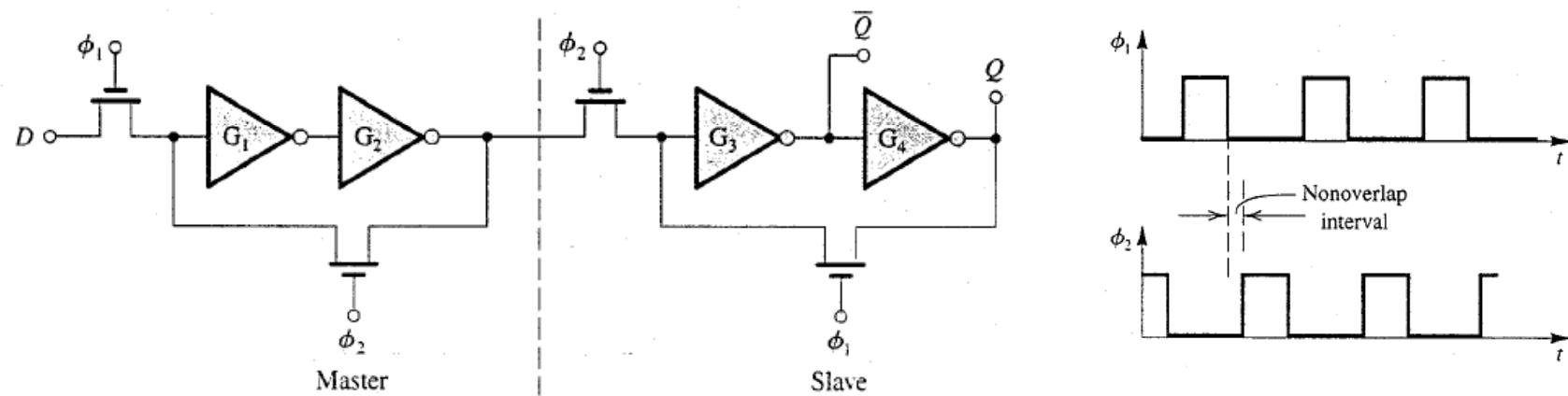
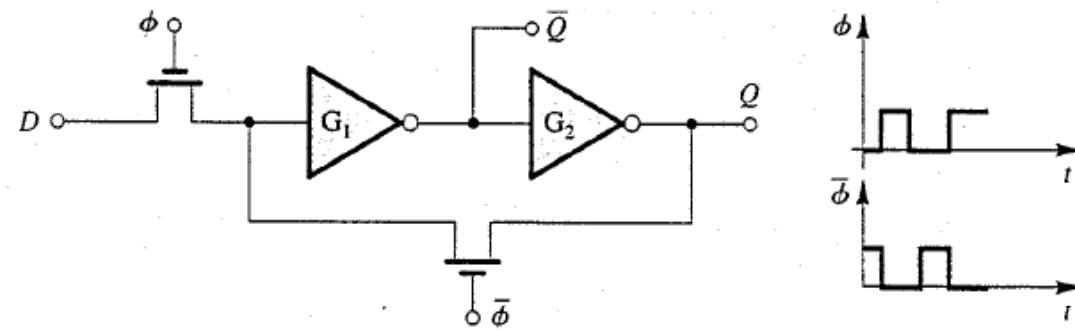


R	S	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
0	1	1
1	0	0
1	1	Not used



# Flip Flop CMOS

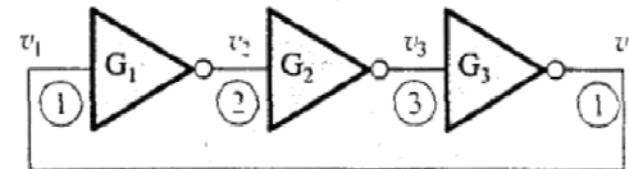
- Flip Flop D (latch)



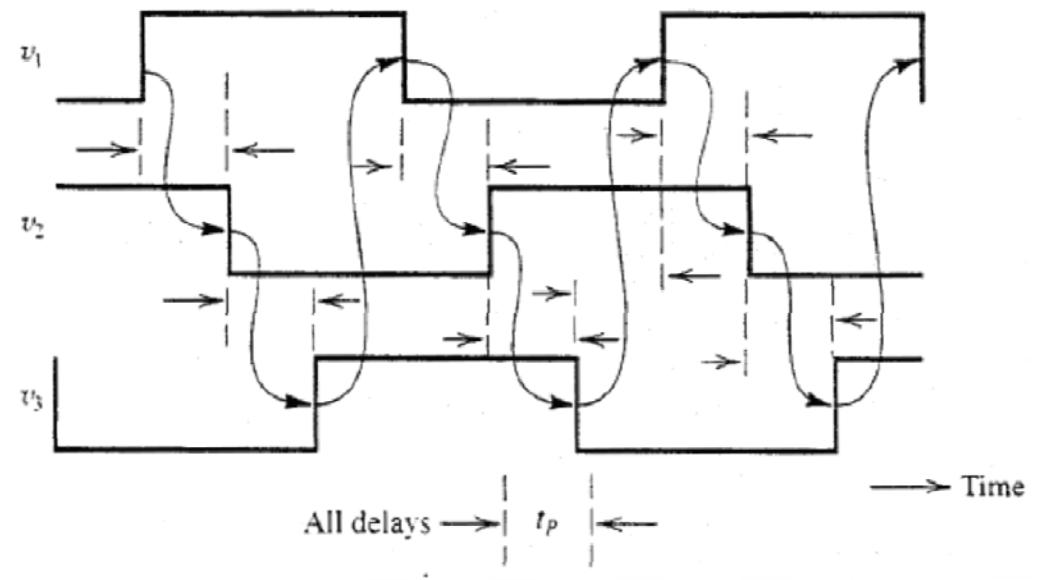
# Ring Oscillator

- Número impar de inversiones
- Se lo suele emplear como parámetro de medición de la velocidad de una familia lógica.
- Tiempo de propagación total:

$$6t_P$$



(a)

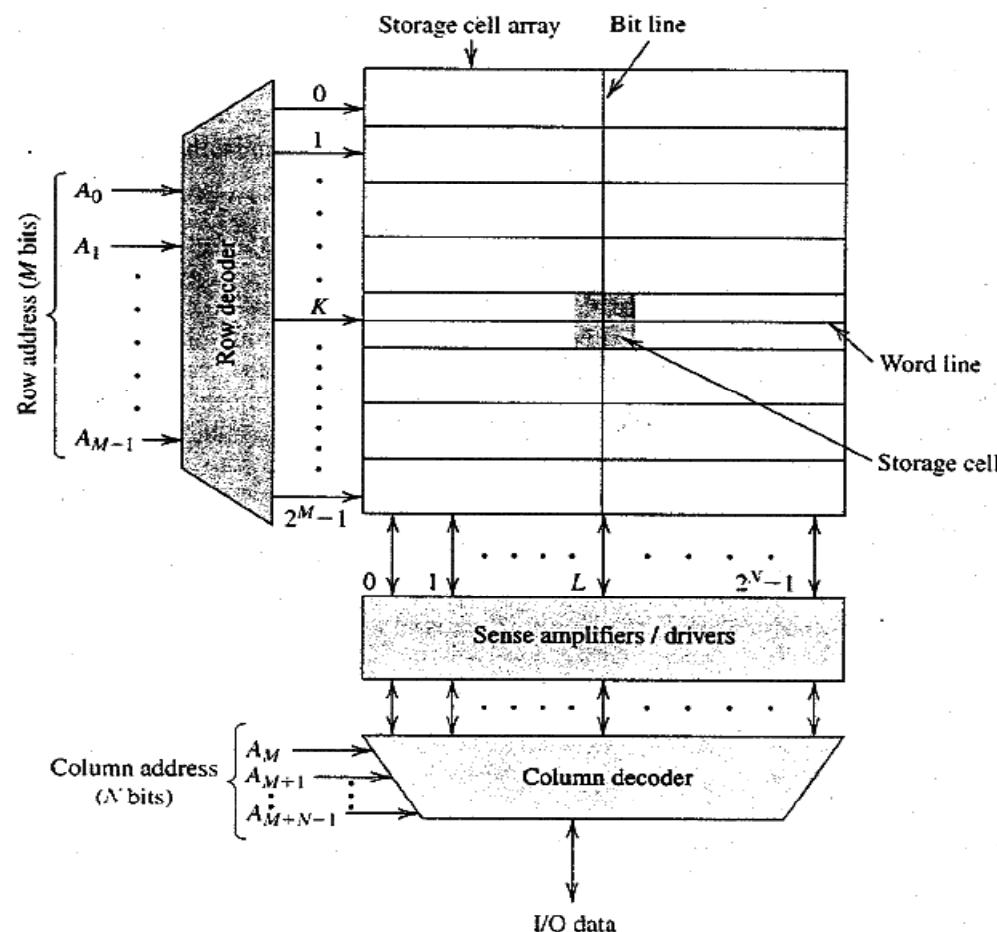


Introducción a la Electrónica

# Memorias

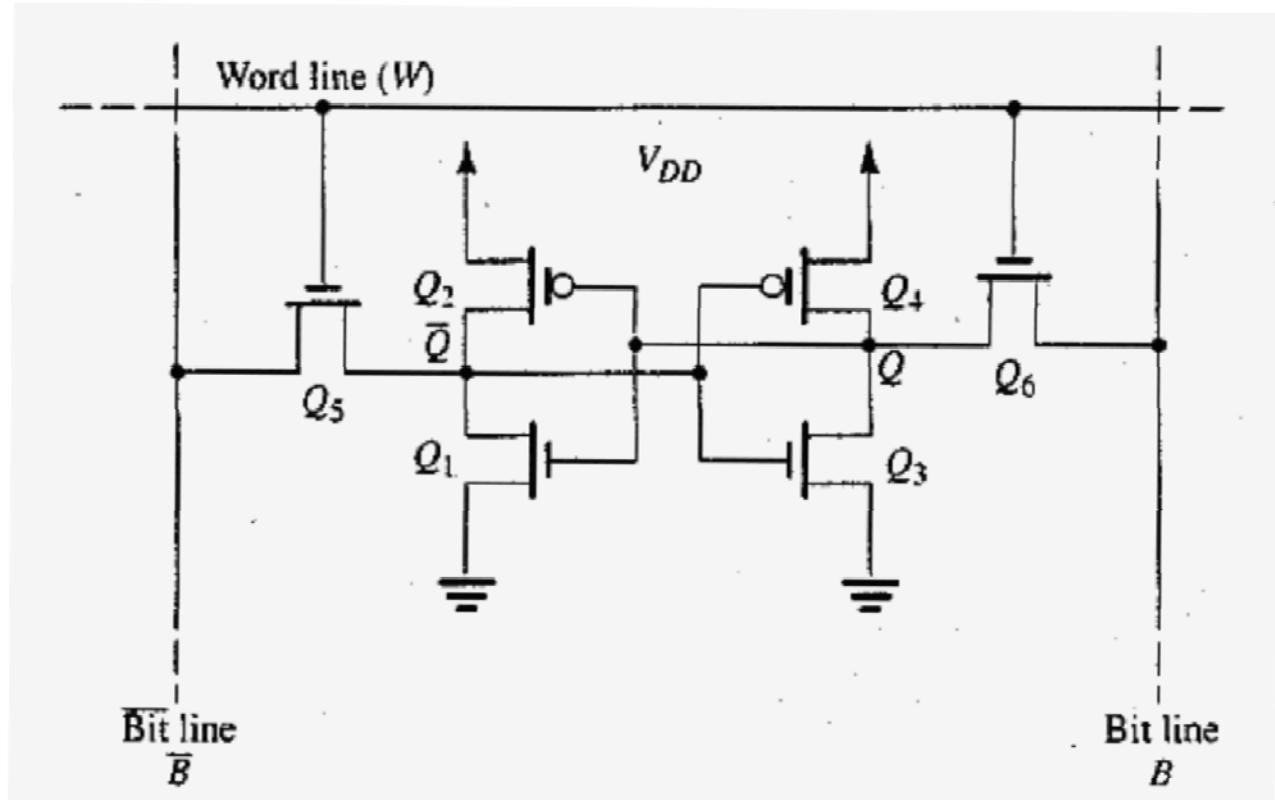
- RAM (Random Access Memory)
  - Lectura/escritura
  - Estática
  - Dinámica
  - Alta integración
- ROM (Read Only Memory)
  - Solamente lectura
  - Eproms
  - Eeproms
  - Flash

# Memorias



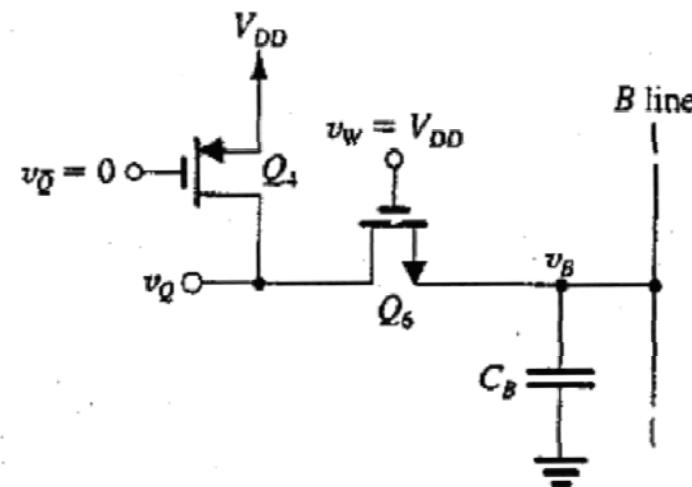
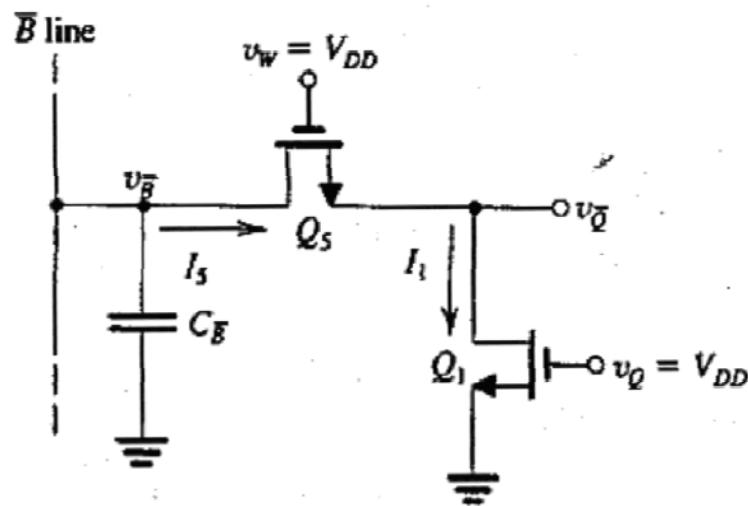
# SRAM

- Las capacidades de las líneas  $B$  y  $/B$  se precargan a  $V_{DD}/2$ .
- En función del valor almacenado, los transistores  $Q_5$  y  $Q_6$  fijarán los niveles lógicos de  $B$  y  $/B$ .
- La tensión diferencial entre  $B$  y  $/B$  determina el valor del Bit ( $> 0,2V$ )



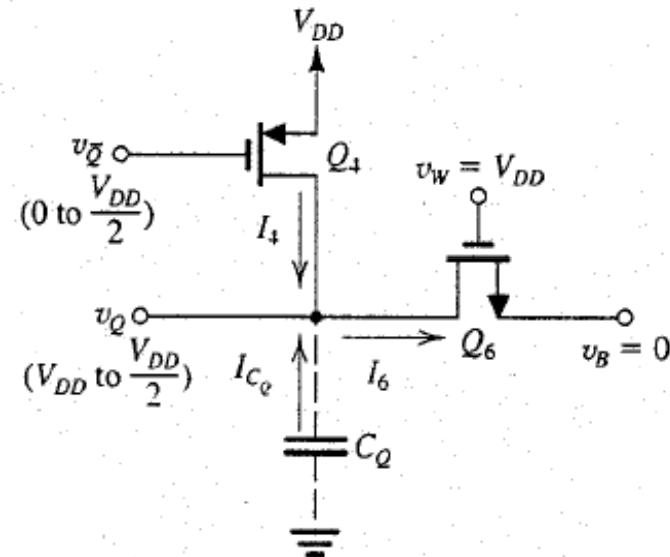
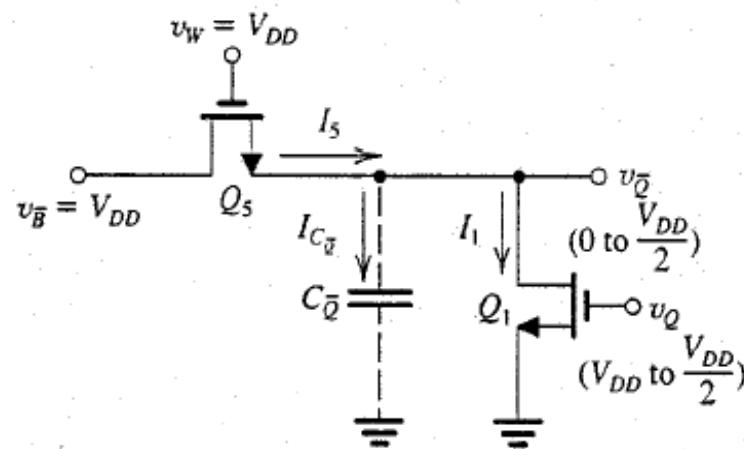
# Memorias

- Lectura de un ‘1’ en una SRAM



# Memorias

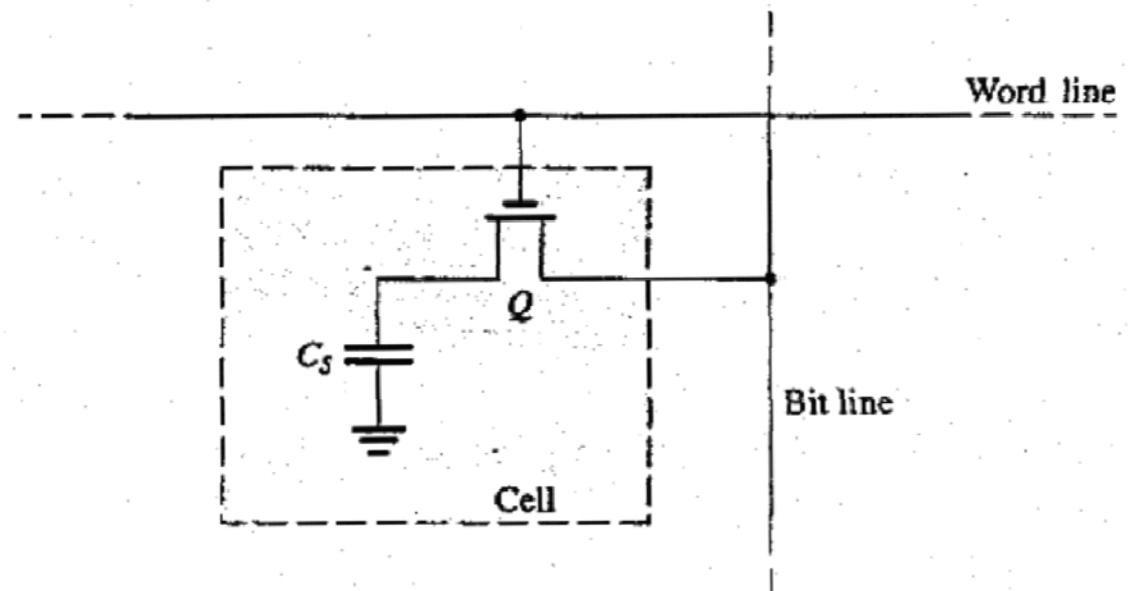
- Escritura de un '0' en una SRAM



- B se coloca en '0' y /B en '1'

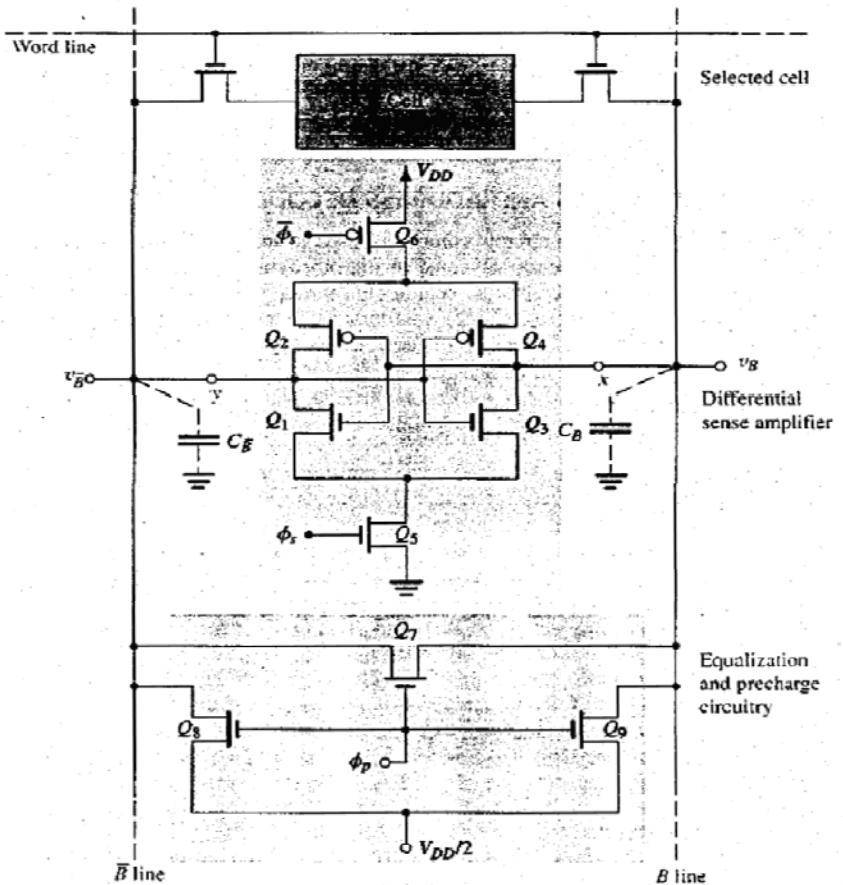
# Memorias

- **Memoria Dinámica**
- Se refresca cada 5-10mSeg
- La lectura es un proceso destructivo. Se precarga a  $V_{DD}/2$  el bus.
- $C_S \approx C_B/50$
- $\Delta V \approx 30\text{mV}$

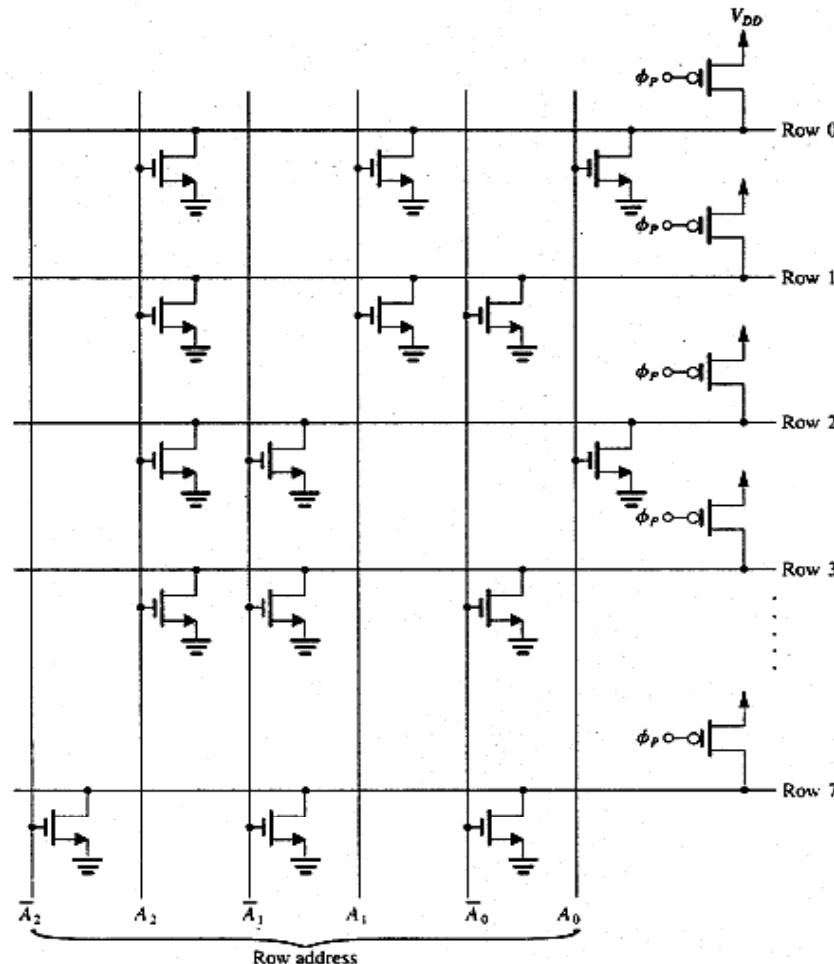


# Memorias

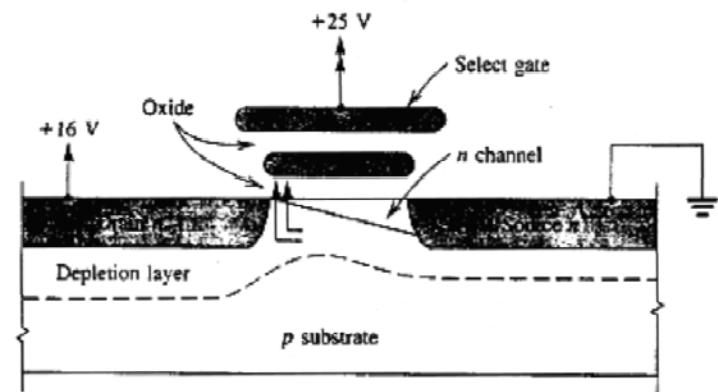
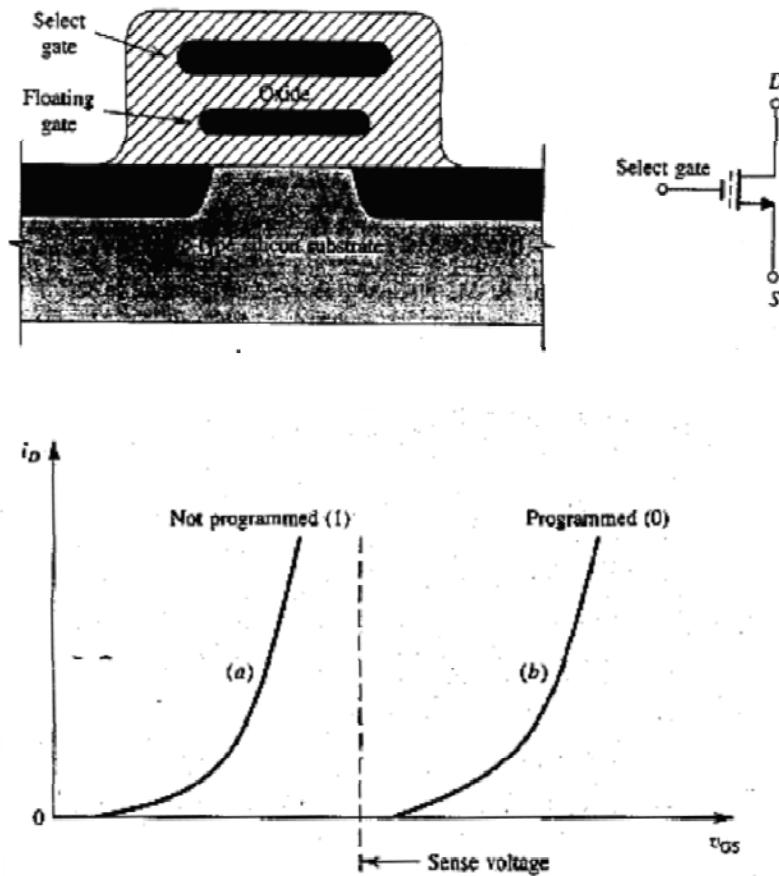
- **Estructura Interna**
- El Sense Amplifier es un circuito realimentado que al activarse amplifica la pequeña tensión presente en el bus y la lleva a los valores lógicos adecuados.
- En una DRAM se aprovecha la lectura para hacer un ciclo de refresco.
- El bloque de precarga lleva el bus a  $V_{DD}/2$  antes de una lectura.



# Decodificadores



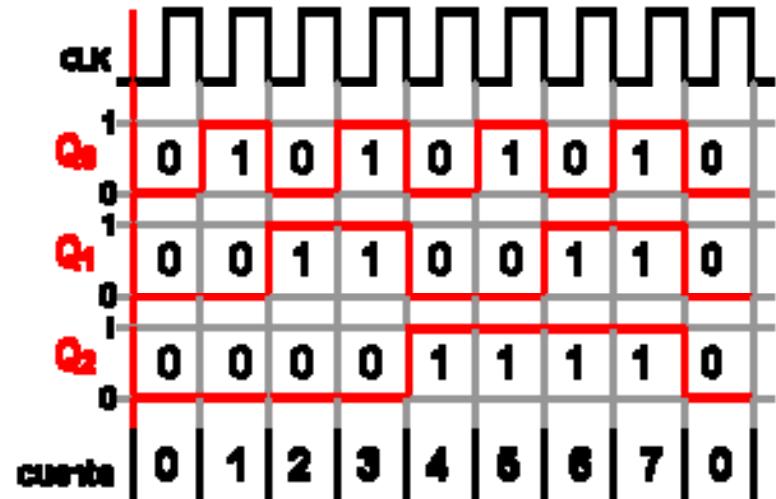
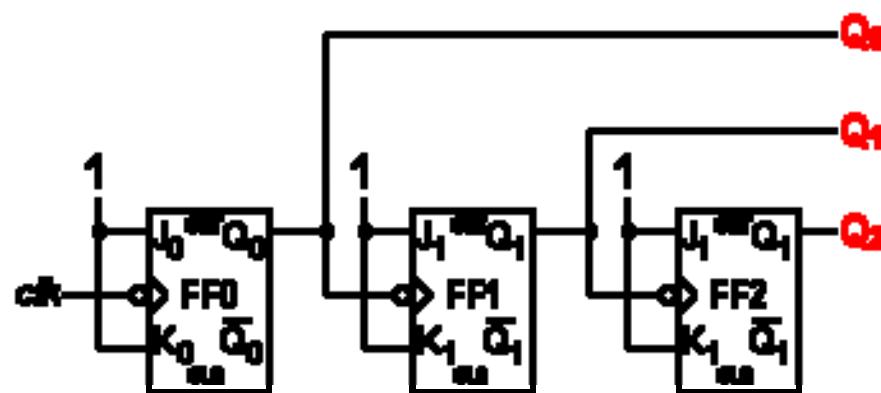
# Memorias Eprom



# Contadores

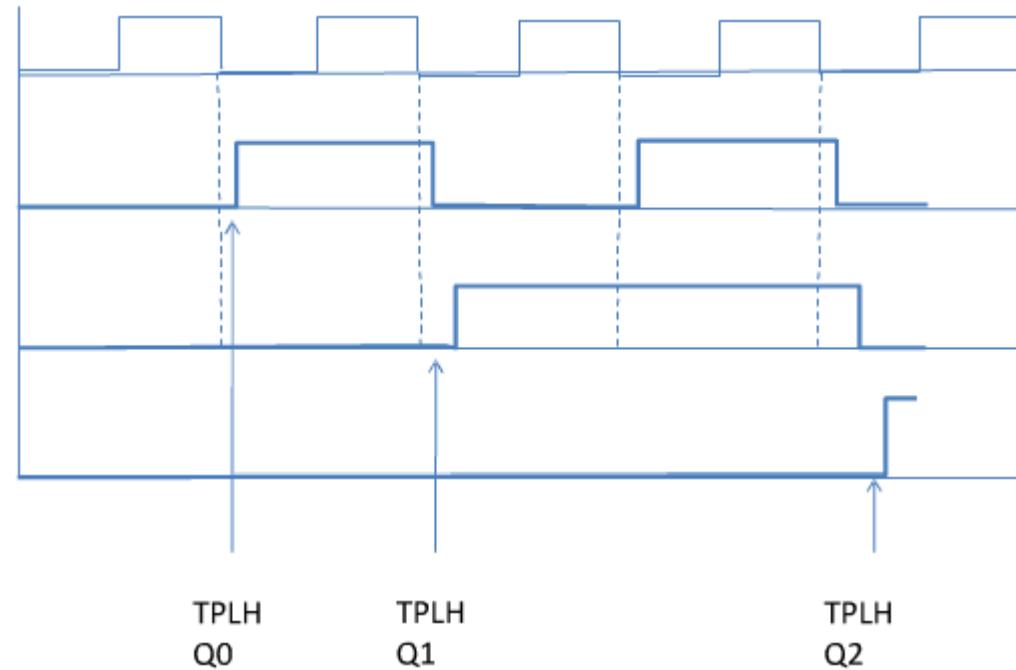
- Circuito secuencial
- Avanzan con una señal de reloj
- Cuentan en Binario o Decimal
- Implementados con Flip-Flops
- Suelen tener posibilidad de Reset o Carga
- Asincrónicos
- Sincrónicos

# Contadores Asincrónicos



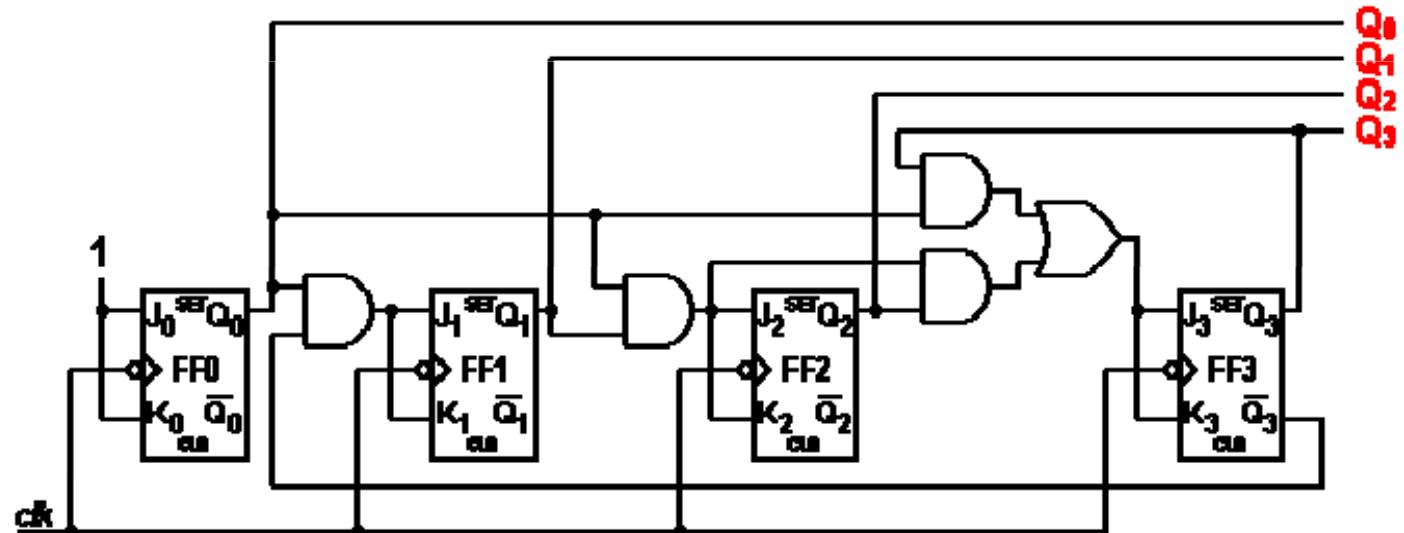
# Contadores Asincrónicos

El principal problema que tienen los contadores asincrónicos es el retardo de propagación que se suma en cada etapa. Esto limita la máxima frecuencia de operación.



# Contadores Sincrónicos

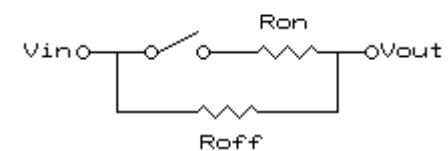
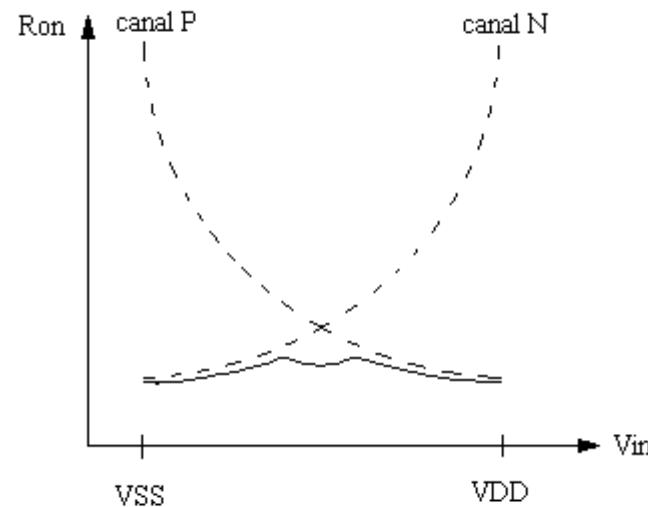
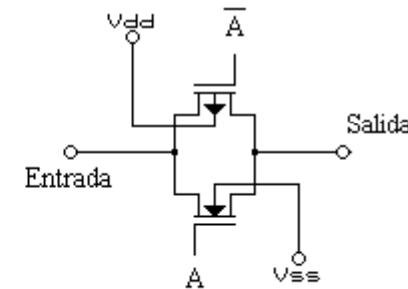
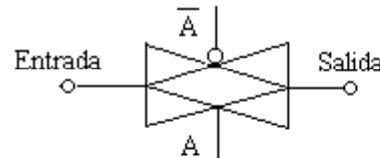
Todos los Flip-Flops evolucionan con la misma señal de reloj. Una lógica combinacional decide si la próxima etapa debe cambiar de estado o no.



Contador decimal 0 a 9

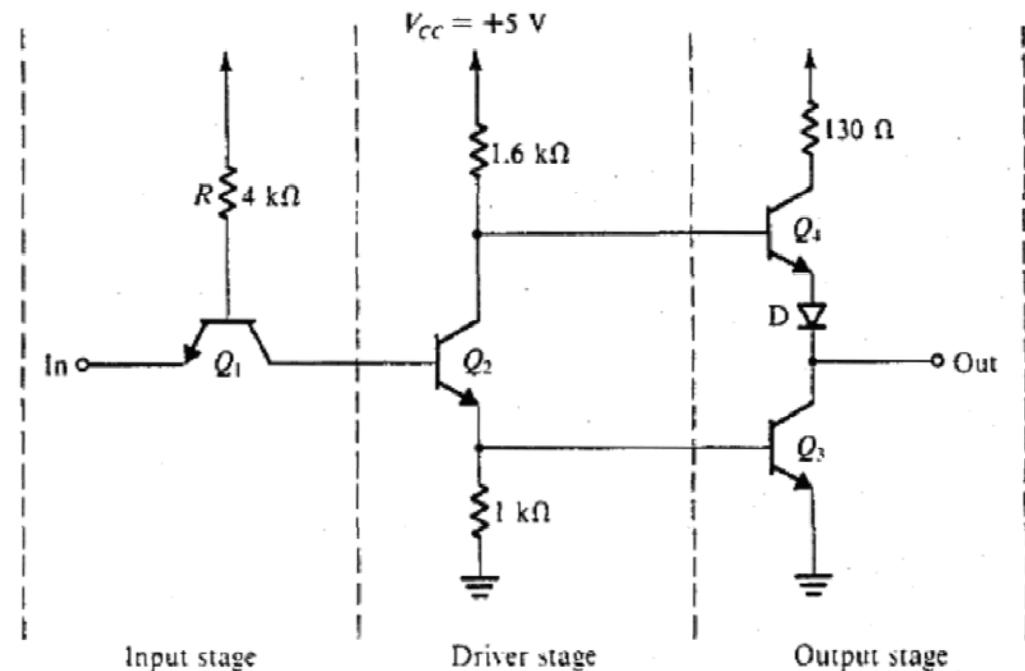
# Llaves Analógicas

- Formadas por 2 MOS en paralelo; un P y un N.
- La resistencia equivalente entre Entrada y Salida es el paralelo de ambas resistencias de canal.
- Permiten transmitir señales analógicas.
- Se las usa como llaves selectoras o multiplexores



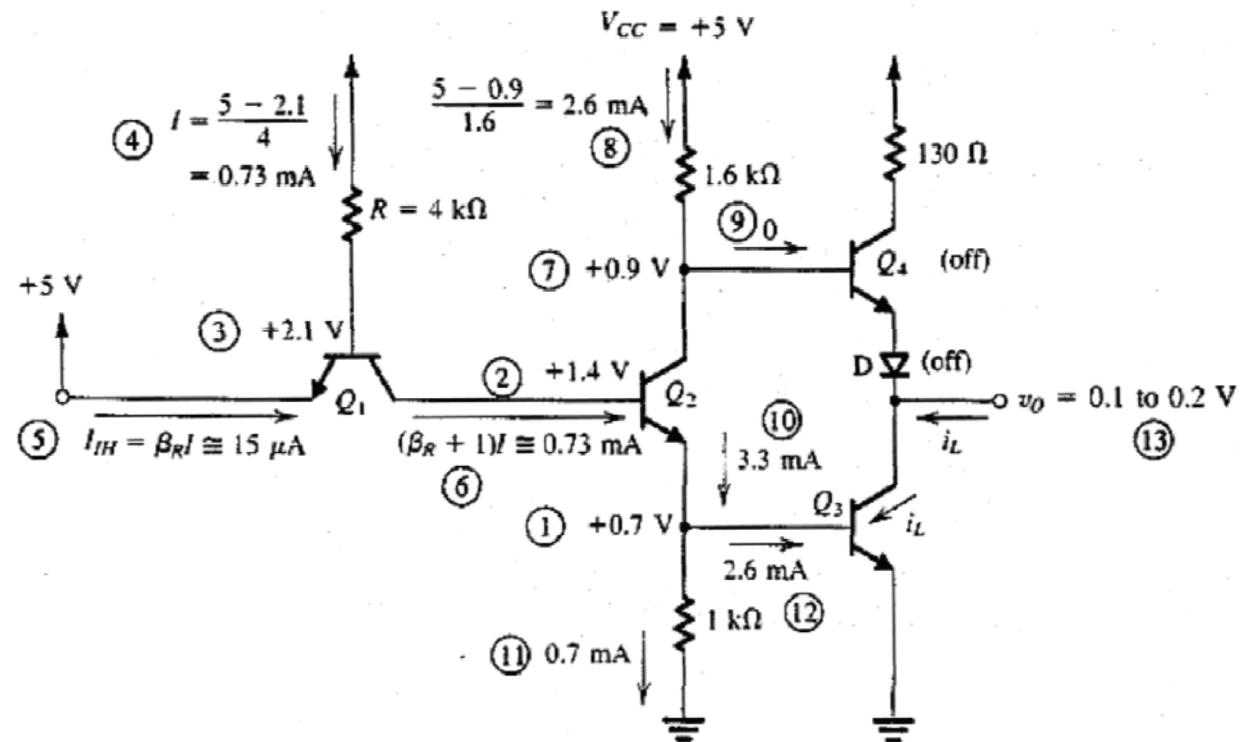
# Lógica TTL

- Basada en transistores BJT
- Buena velocidad
- Gran consumo
- Área importante
- Buena capacidad de corriente
- El consumo de entrada es diferente para un '0' que para un '1'.
- $V_{CC} = 5V$



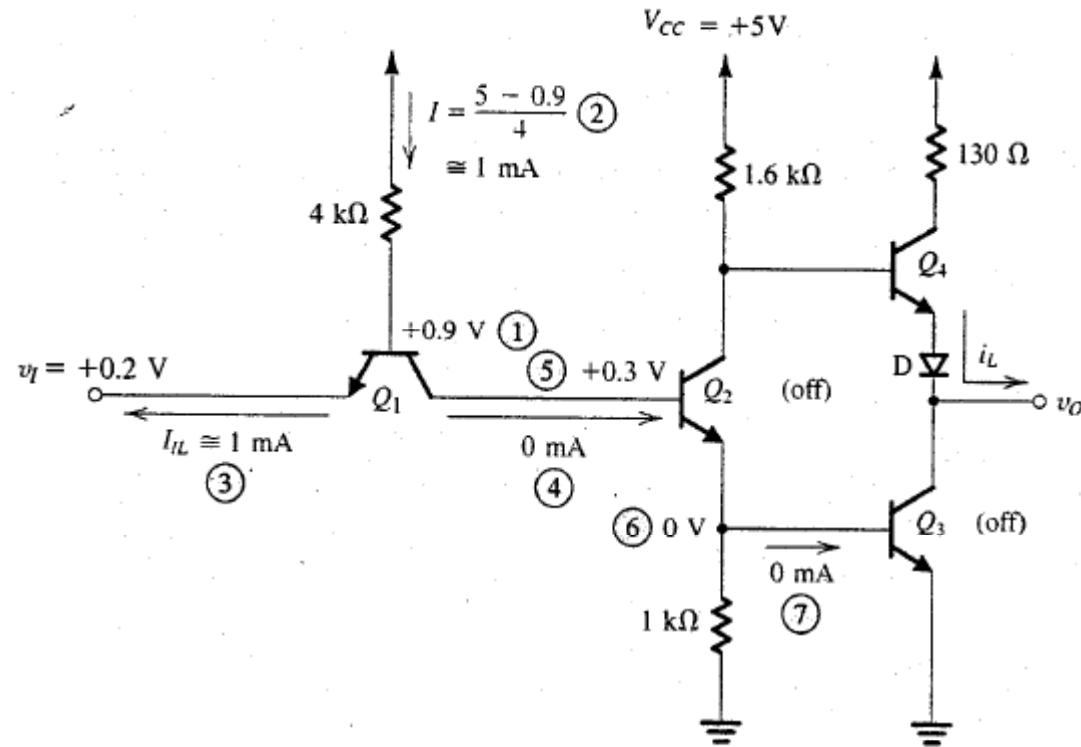
# Lógica TTL

- Entrada en '1'.



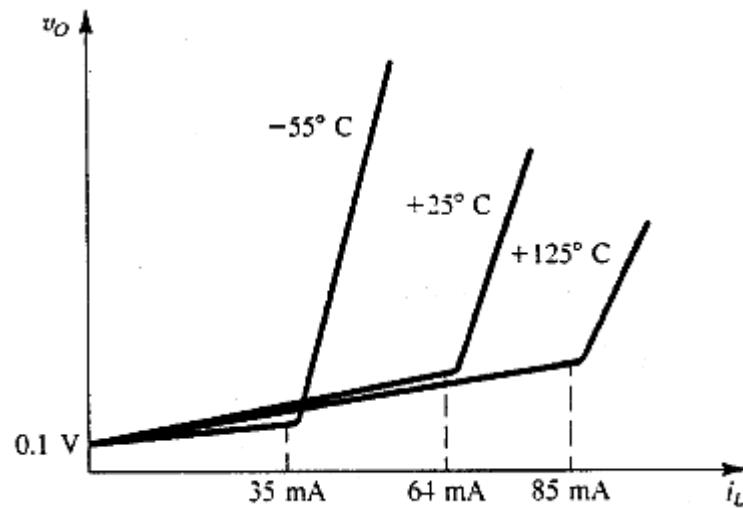
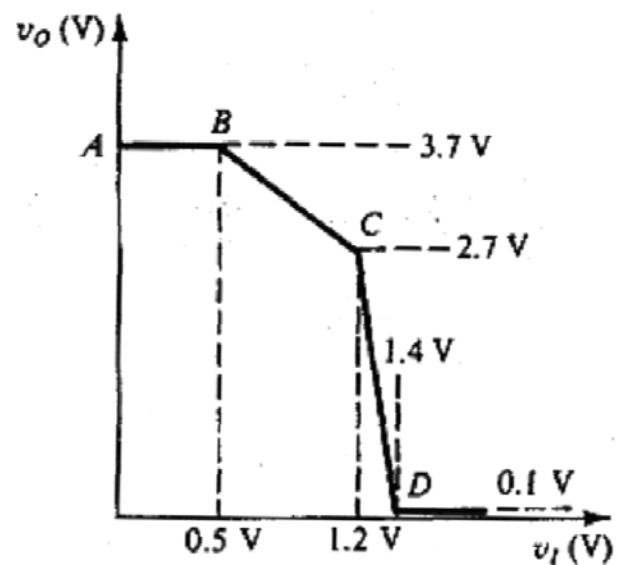
# Lógica TTL

- Entrada en '0'



# Lógica TTL

- Características de transferencia



# Lógica TTL

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH} = 0.4 \text{ V}$$

$$NM_L = V_{IL} - V_{OL} = 0.4 \text{ V}$$

- Niveles lógicos y corrientes

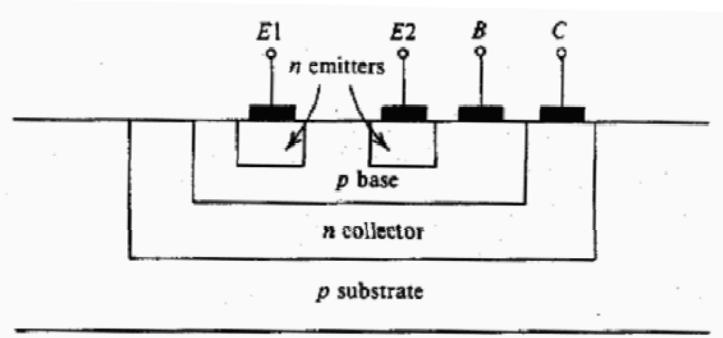
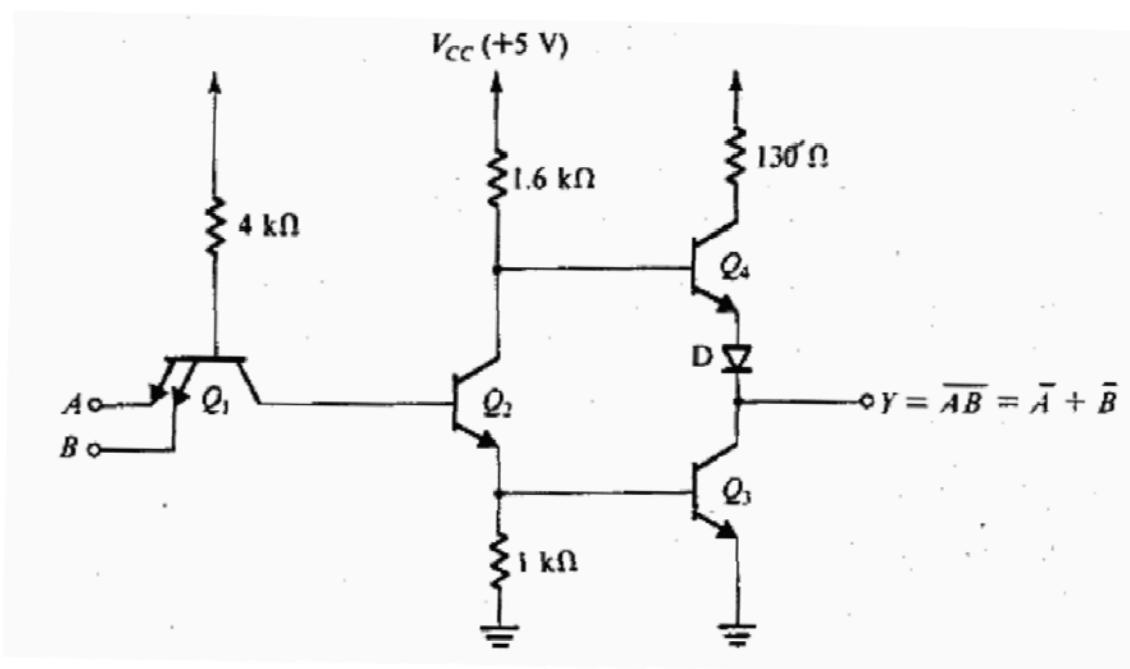
		SN5400			SN7400			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V <sub>CC</sub>	Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V <sub>IH</sub>	High-level input voltage	2			2			V
V <sub>IL</sub>	Low-level input voltage			0.8			0.8	V
I <sub>OH</sub>	High-level output current			-0.4			-0.4	mA
I <sub>OL</sub>	Low-level output current			16			16	mA
T <sub>A</sub>	Operating free-air temperature	-55	125		0	70		°C

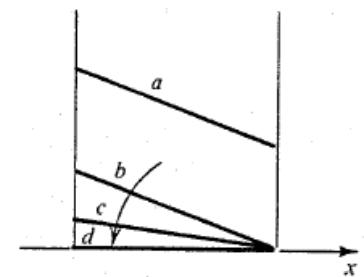
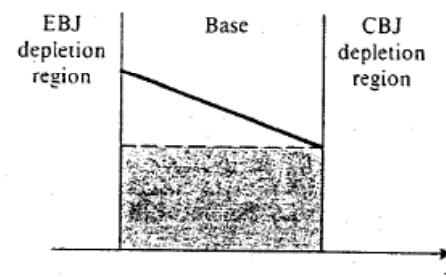
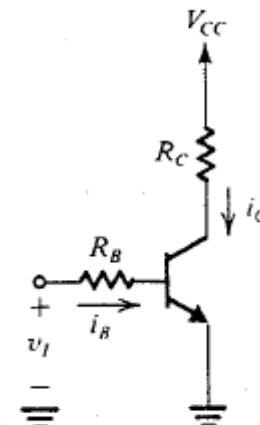
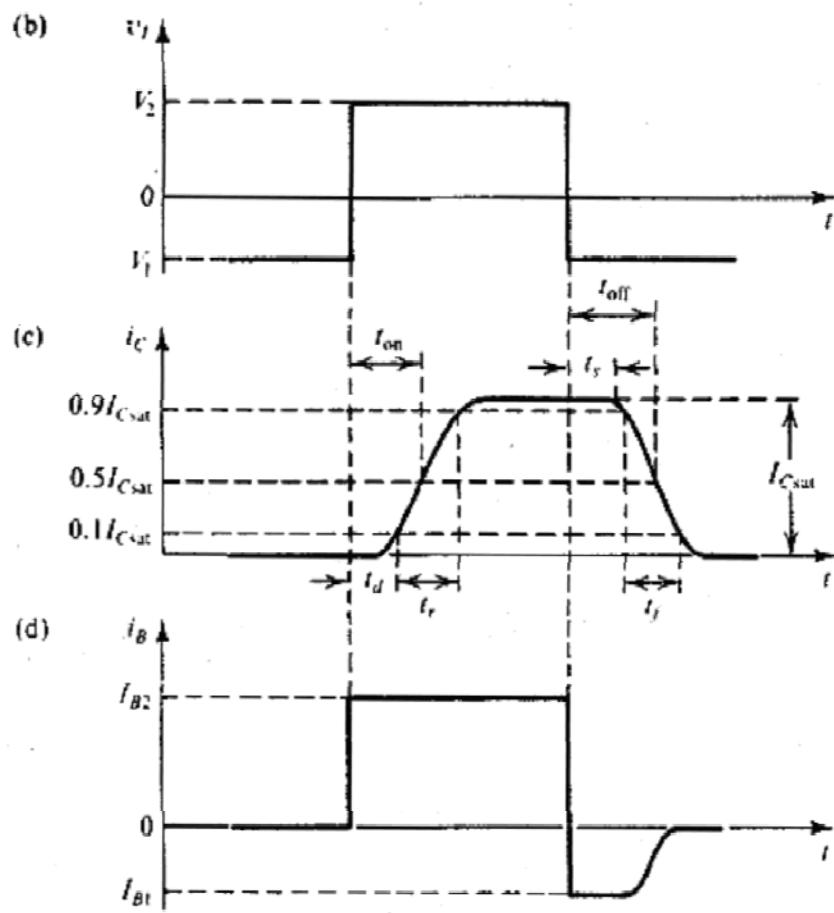
PARAMETER	TEST CONDITIONS†	SN5400			SN7400			UNIT
		MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX	
V <sub>IK</sub>	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>I</sub> = -12 mA			-1.5			-1.5	V
V <sub>OH</sub>	V <sub>CC</sub> = MIN, V <sub>IL</sub> = 0.8 V, I <sub>OH</sub> = -0.4 mA	2.4	3.4		2.4	3.4		V
V <sub>OL</sub>	V <sub>CC</sub> = MIN, V <sub>IH</sub> = 2 V, I <sub>OL</sub> = 16 mA		0.2	0.4		0.2	0.4	V
I <sub>I</sub>	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 5.5 V			1			1	mA
I <sub>IH</sub>	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 2.4 V			40			40	µA
I <sub>IL</sub>	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 0.4 V			-1.6			-1.6	mA
I <sub>OS¶</sub>	V <sub>CC</sub> = MAX	-20	-55		-18	-55		mA
I <sub>CCH</sub>	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 0 V		4	8		4	8	mA
I <sub>CCL</sub>	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 4.5 V		12	22		12	22	mA

# Lógica TTL

- TTL NAND 2 entradas

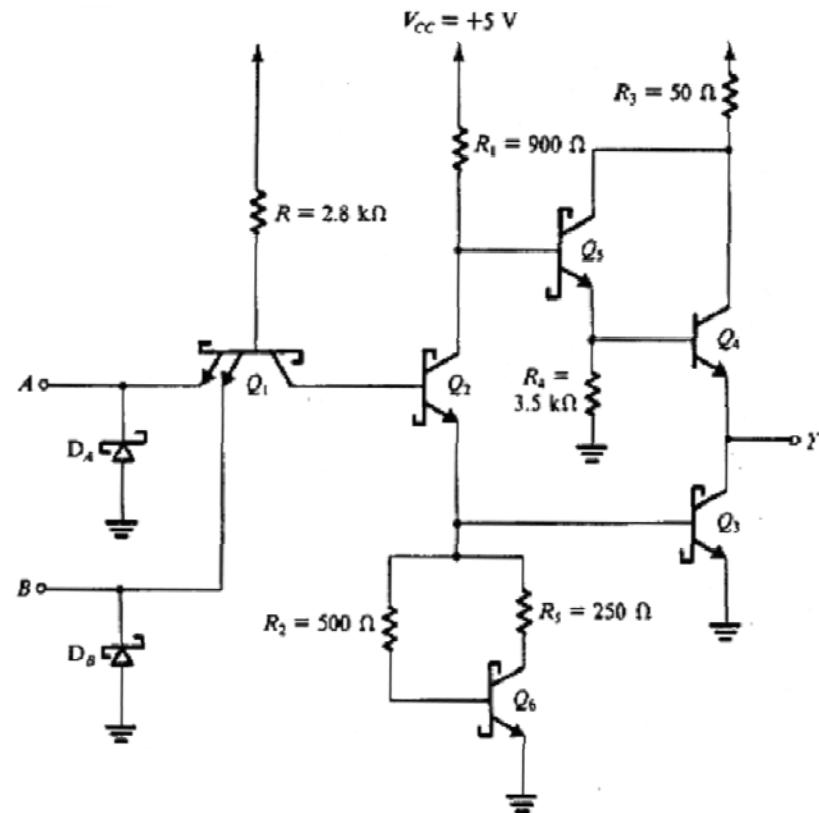


# BJT en commutación



# Schottky TTL (S)

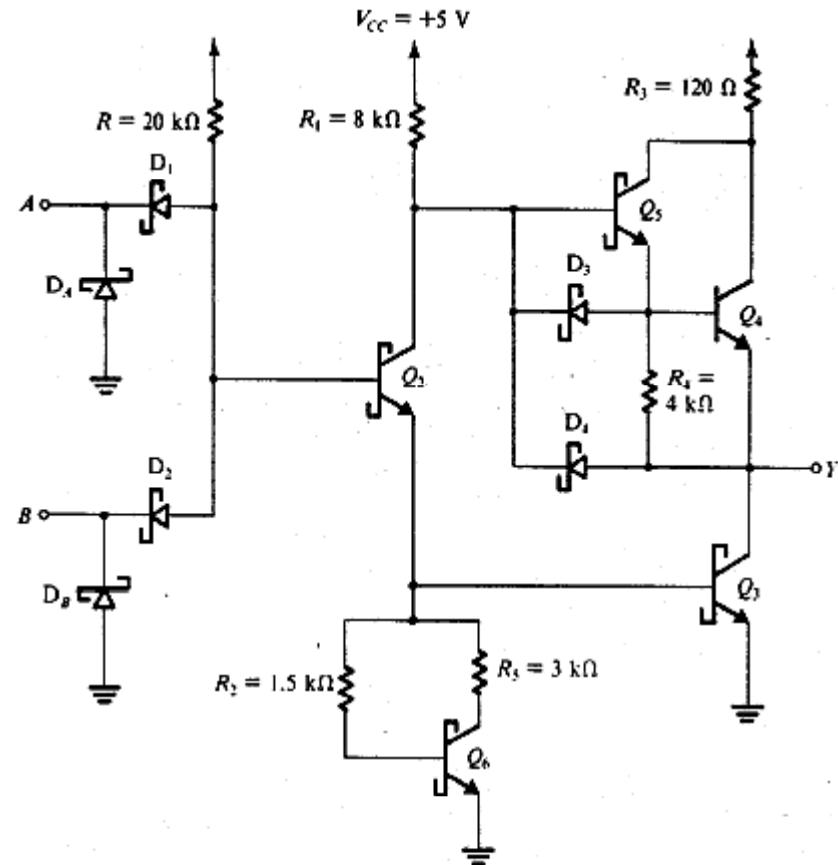
- Previene la saturación de los BJT colocando diodos Schottky en las junturas BC. De esta forma mejora la performance en velocidad de operación.
- El diodo de salida se reemplaza por una configuración Darlington.
- La resistencia de 1K se reemplaza por un Pull-Down activo.
- Aumenta el consumo



Introducción a la Electrónica

# Low Power Schottky TTL (LS)

- Similar a la S, salvo que se reduce la velocidad y la disipación de potencia.



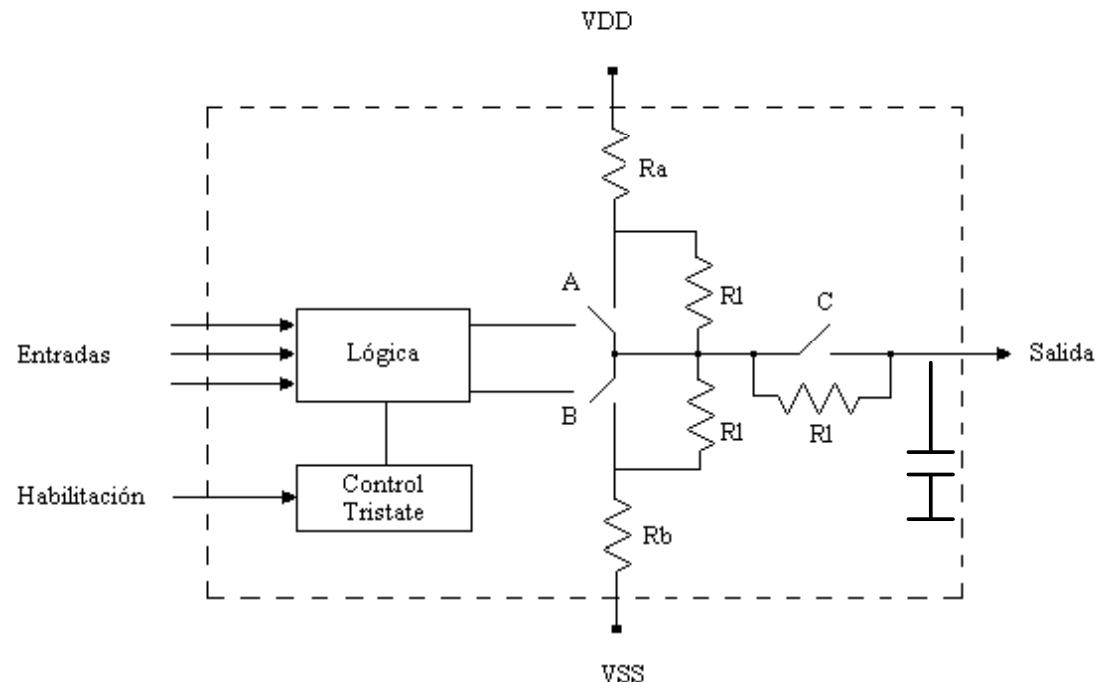
# Familias TTL

Table 14.1 PERFORMANCE COMPARISON OF TTL FAMILIES

	Standard TTL (Series 74)	Schottky TTL (Series 74S)	Low-Power Schottky TTL (Series 74LS)	Advanced Schottky TTL (Series 74AS)	Advanced Low-Power Schottky TTL (Series 74ALS)
$t_P$ , ns	10	3	10	1.5	4
$P_D$ , mW	10	20	2	20	1
$DP$ , pJ	100	60	20	30	4

# Lógica de 3º estado

- Se agrega un estado de alta impedancia en el cual la compuerta no entrega ningún valor lógico.
- Se utiliza en canales (buses) donde confluyen diversas compuertas capaces de establecer el valor lógico; por ejemplo bus de datos de un microprocesador.



# Lógica de 3º estado

