

# Tema 7. Introducción a los circuitos de conmutación

***7.1 Introducción.***

***7.2 Circuitos digitales.***

***7.3 Circuitos con diodos en cuasi-estática.***

***7.4 El diodo en conmutación dinámica.***

***7.5 Conmutación con transistores en cuasi-estática.***

***7.6 Conmutación con transistores con carga capacitiva.***

**Material de apoyo para el grupo 12.2 de INEL**

David Fuertes

dfuertes@ies-def.upm.es

IES-ETSIT, UPM, Curso 2013-2014

# Tema 7. Introducción a los circuitos de conmutación

## OBJETIVOS

- **Adquirir nociones básicas sobre conmutación y la problemática asociada (retardos de propagación).**
- **Conocer el comportamiento de los dispositivos semiconductores estudiados como conmutadores.**
- **Conocer las principales familias lógicas a partir de la realización de la puerta básica inversora.**

# Introducción a la Electrónica

## Tema 7: Introducción a los circuitos de conmutación.

### 7.1 *Introducción.*

### 7.2 *Circuitos digitales.*

### 7.3 *Circuitos con diodos en cuasi-estática.*

### 7.4 *El diodo en conmutación dinámica.*

### 7.5 *Conmutación con transistores en cuasi-estática.*

### 7.6 *Conmutación con transistores con carga capacitiva*

## Objetivos

- Repasar los conceptos de señales analógicas y digitales.
- Comprender la importancia de la conmutación en aplicaciones digitales.

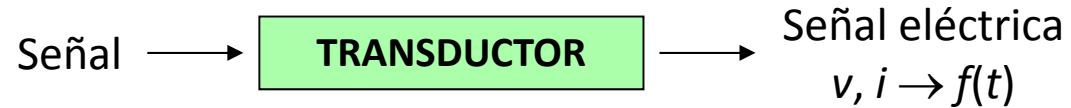
## Bibliografía

- Sedra, apto. 1.7, 10.1
- Malik, apto. 13.1
- C. Maxfield, *Bebop to the boolean boogie – An unconventional guide to electronics*, Elsevier 3ª ed (2009)

# Introducción a la Electrónica

## SEÑAL:

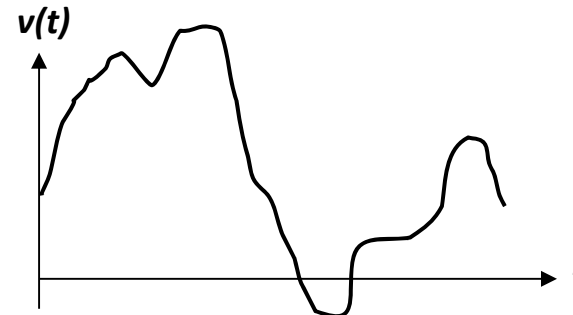
15. f. *Fís.* Variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información.



**SEÑAL ANALÓGICA:** señal con valores continuos en tiempos continuos

➤ importa la forma

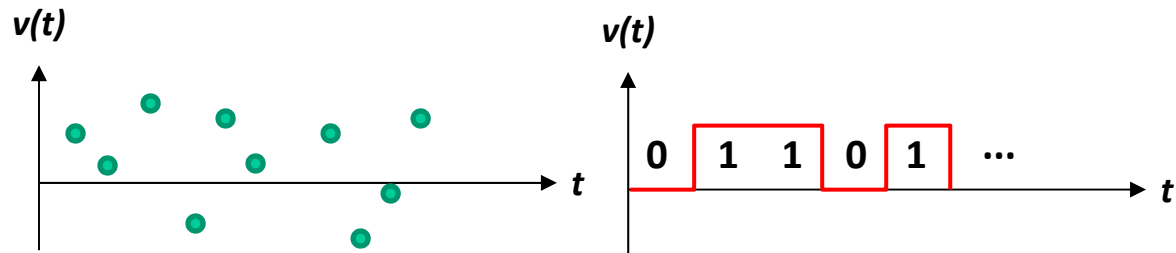
Ej. : temperatura, micrófono...



**SEÑAL DIGITAL:** señal con valores continuos o discretos en tiempos discretos

➤ importa el valor de muestreo

Ej. : temperatura, morse...



## Introducción a la Electrónica

**Señales digitales:** Correspondencia entre niveles de tensión y “estados”.

**Conmutación:** Cambio de estado de transistores o diodos.

- **Situación no lineal:** no aplicable a pequeña señal.

- **Tipos de conmutación:**

**Cuasi-estática:** si los efectos capacitivos son despreciables.

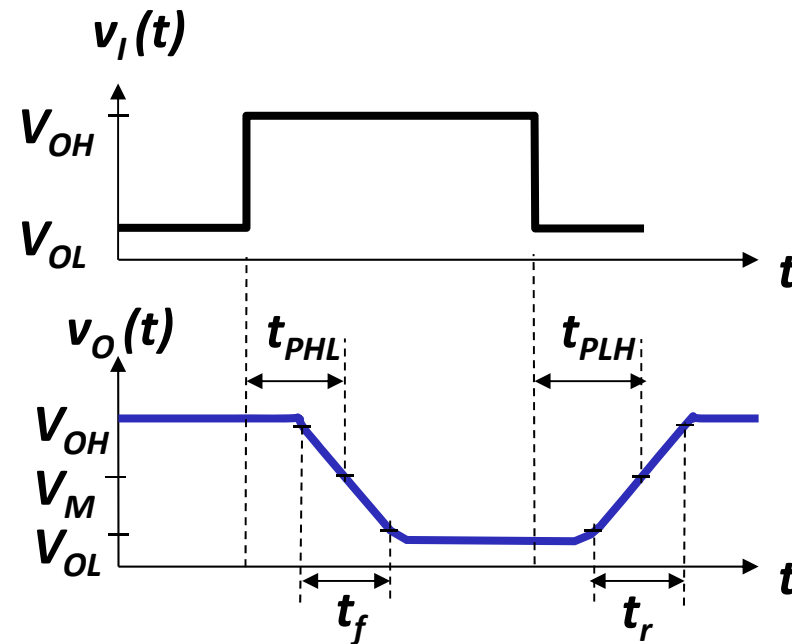
**Dinámica:** si los efectos capacitivos no son despreciables.

# Introducción a la Electrónica

## RETARDOS DE PROPAGACIÓN

**Conmutación** entre niveles en un inversor:

- Idealmente: **instantánea**
  - En la práctica: **no instantánea** (efectos de almacenamiento de carga)
- 
- $t_f$  y  $t_r$ : tiempos de bajada y subida, correspondientes al paso de valor 90% a 10% y viceversa.
  - $t_{PLH}$ : retardo de propagación low-high: tiempo entre los valores medios en las transiciones de entrada y salida cuando la salida cambia de low a high
  - $t_{PHL}$ : retardo de propagación high-low: tiempo entre los valores medios en las transiciones de entrada y salida cuando la salida cambia de high a low
  - $t_p$ : Retardo de propagación = semisuma de  $t_{PHL}$  y  $t_{PLH}$

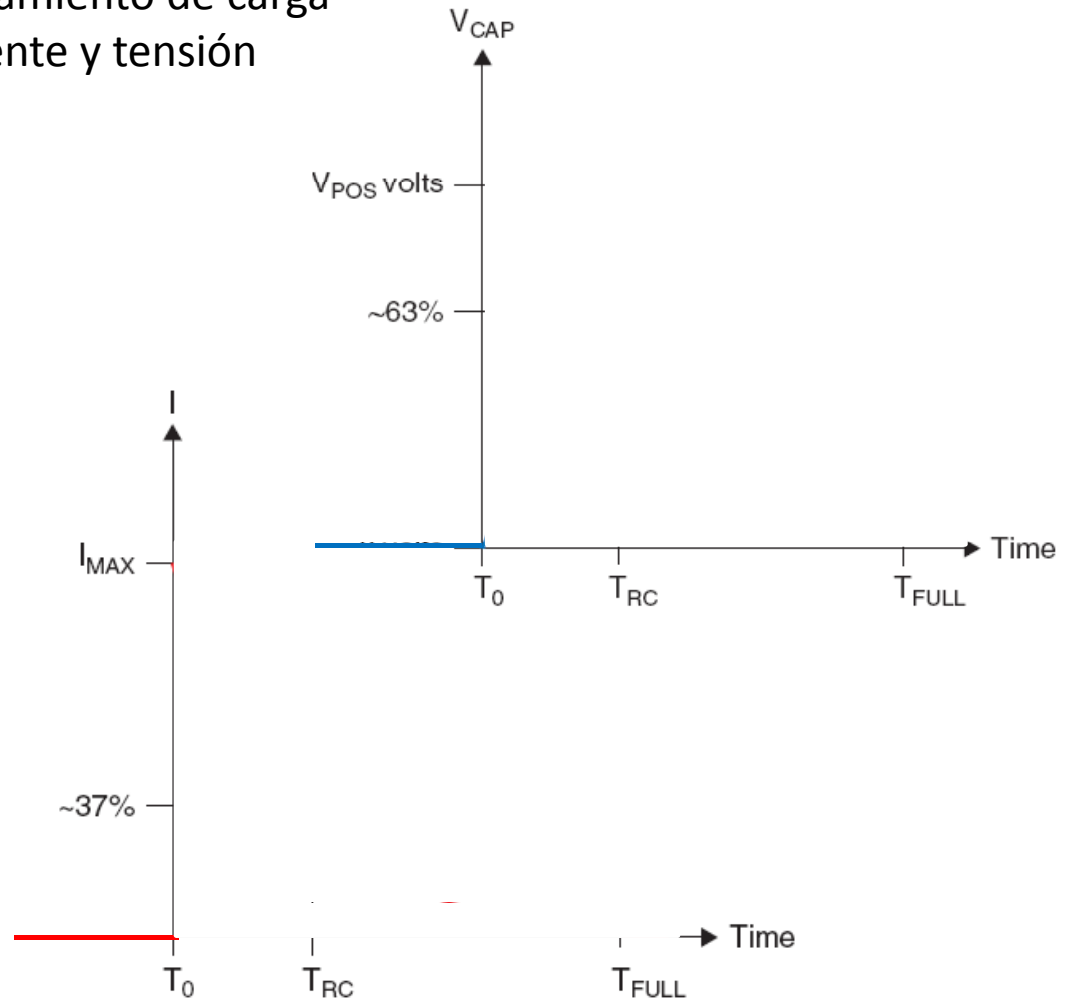
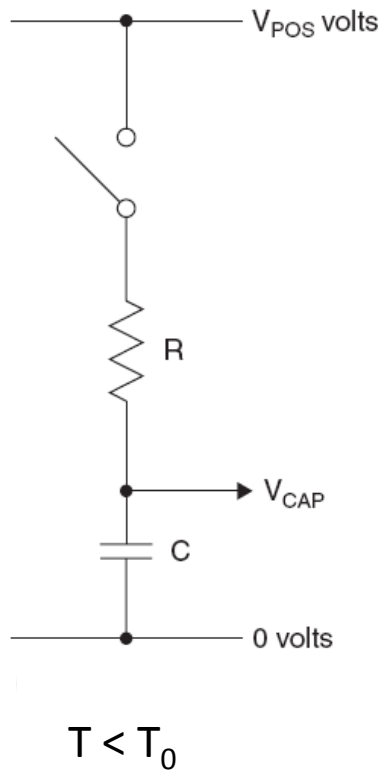


$$\rightarrow t_p = \frac{t_{PHL} + t_{PLH}}{2}$$

# Introducción a la Electrónica

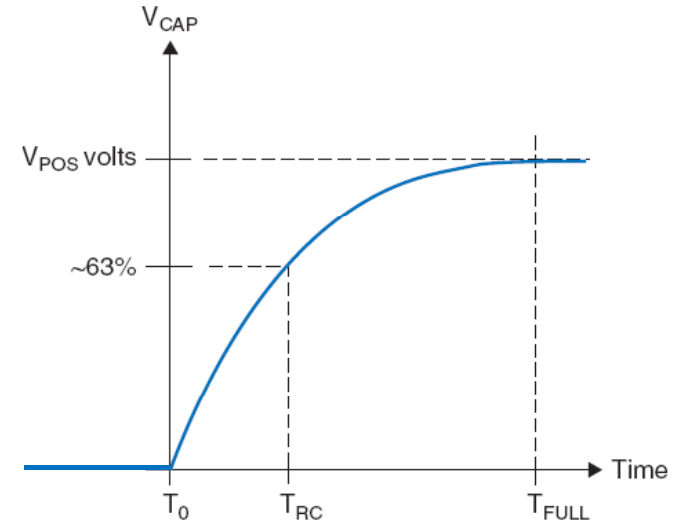
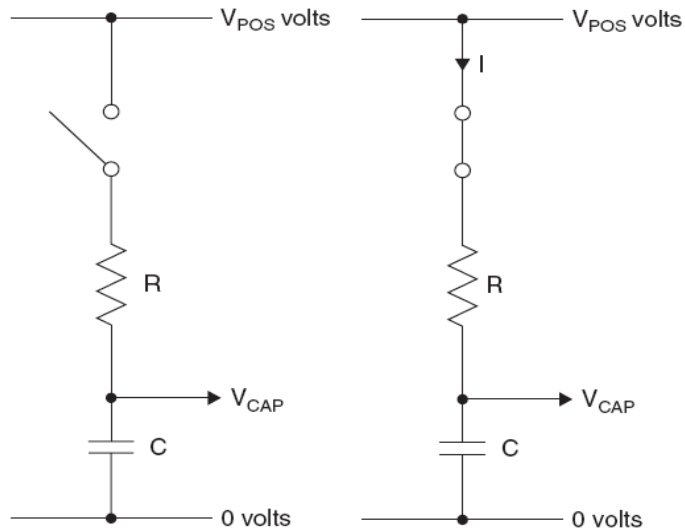
## EFFECTOS CAPACITIVOS

- Asociados a los efectos de almacenamiento de carga
- Variaciones características de corriente y tensión

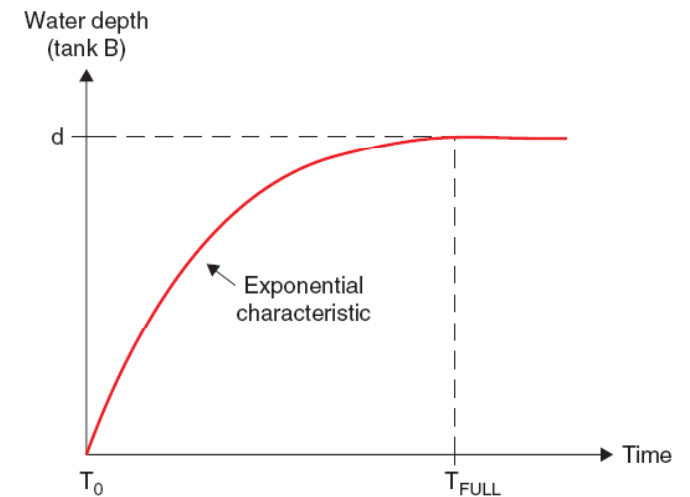
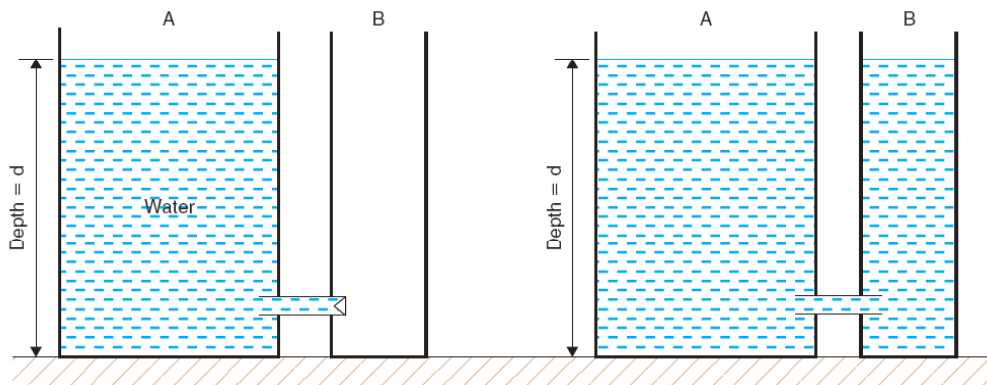


# Introducción a la Electrónica

## EFFECTOS CAPACITIVOS



- Analogía hidráulica





# Introducción a la Electrónica

## CONSUMO

Se pretende que el consumo de potencia en conmutación sea lo menor posible

- disipación dentro de límites aceptables.
- optimización de diseños CI.

Se suele expresar la potencia disipada por el inversor cuando trabaja con una onda cuadrada ideal.

**Disipación de potencia en estática:** consumo en nivel alto o bajo, cuando no hay conmutación

- Resulta de la existencia de un camino entre la alimentación y tierra para alguno de los estados.
- Idealmente nula tanto en nivel alto como bajo, es decir, que el inversor no extrajera corriente de la fuente de alimentación.

**Disipación de potencia en dinámica:** Consumo al conmutar de un estado a otro, debido a la carga o descarga de capacidades

Efectos capacitivos:

- internos,
- asociados a metalizaciones entre dispositivos en un CI (estructuras MOS)
- capacidades de entrada de los transistores de la siguiente etapa

# Introducción a la Electrónica

## CONSUMO

### Producto Potencia-Retardo: $P_D t_p$ (en Julios)

Si se quiere reducir el consumo reduciendo la tensión de alimentación, la corriente se reduce y la carga y descarga de capacidades se hace más lenta, aumentando el retardo. El producto se define como la potencia disipada a la máxima frecuencia  $1/t_p$  multiplicada por el tiempo de retardo de propagación  $t_p$ . Figura de mérito para comparar distintas familias lógicas

## FAN-IN Y FAN-OUT

- Idealmente se permite un número arbitrario de circuitos conectados a la entrada y salida del inversor sin comprometer su funcionamiento.
- En la práctica están limitados:

**Fan-in:** Número de entradas posibles en una puerta lógica

**Fan-out:** Número máximo de puertas que se pueden conectar a la salida de una puerta lógica sin afectar sus características

## RESUMEN DEL APTO. 7.1

- La conmutación se relaciona con cambios de estado de dispositivos (diodos y transistores) de gran importancia en electrónica digital.
- Se distinguen las situaciones cuasi-estática y dinámica.
- Aparecen efectos de retardo entre las señales de entrada y salida (propagación no instantánea).
- El consumo de potencia es determinante en el diseño y operación de dispositivos en conmutación.
- Existe un compromiso entre la potencia disipada y el retardo en la operación de dispositivos en conmutación, así como en el número de entradas y salidas a conectar.

# Introducción a la Electrónica

## Tema 7: Introducción a los circuitos de conmutación.

*7.1 Introducción.*

*7.2 Circuitos digitales.*

*7.3 Circuitos con diodos en cuasi-estática.*

*7.4 El diodo en conmutación dinámica.*

*7.5 Conmutación con transistores en cuasi-estática.*

*7.6 Conmutación con transistores con carga capacitiva*

## Objetivos

- Afianzar el concepto de señal digital.
- Presentar las puertas lógicas básicas como unidades operativas de electrónica digital y sus tablas de verdad correspondientes.
- Presentar las familias lógicas más comunes según la tecnología de fabricación.

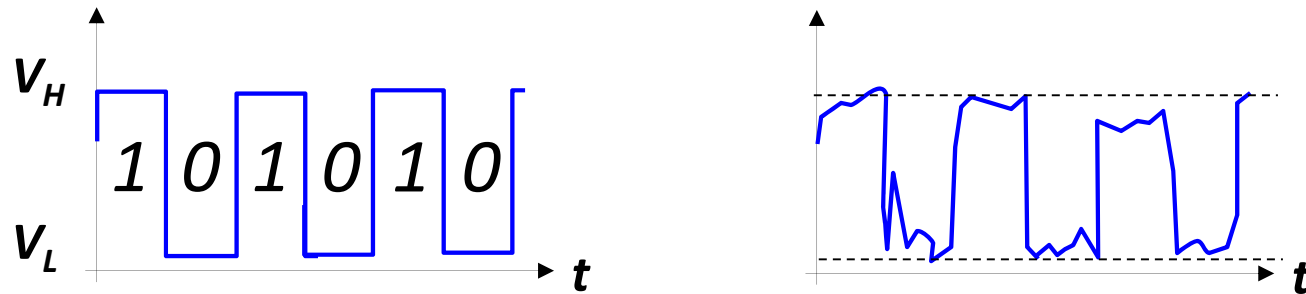
## Bibliografía

- Sedra, apto. 10.1
- Malik, apto. 3.12

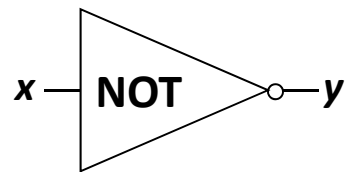
# Introducción a la Electrónica

## SEÑALES DIGITALES Y PUERTAS LÓGICAS

Señales digitales: Correspondencia entre niveles de tensión y “estados”

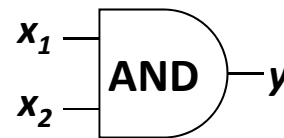


**Circuito digital:** Procesa señales digitales.  
Se construye a partir de *puertas lógicas*

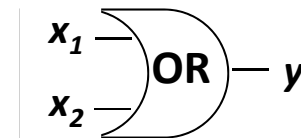


$x$	$y$
0	1
1	0

Tablas de verdad



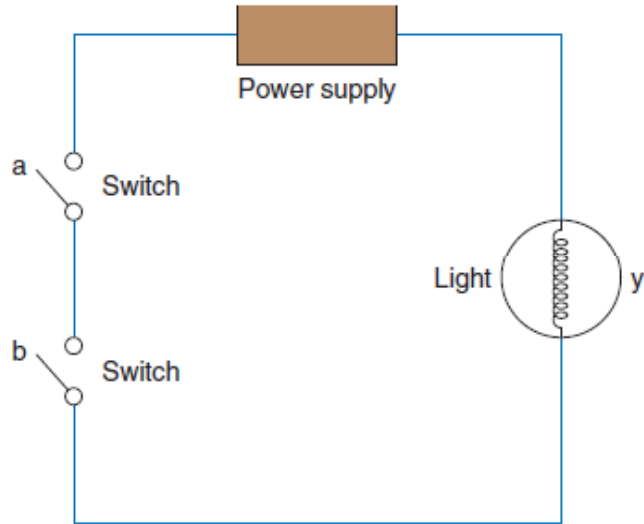
$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

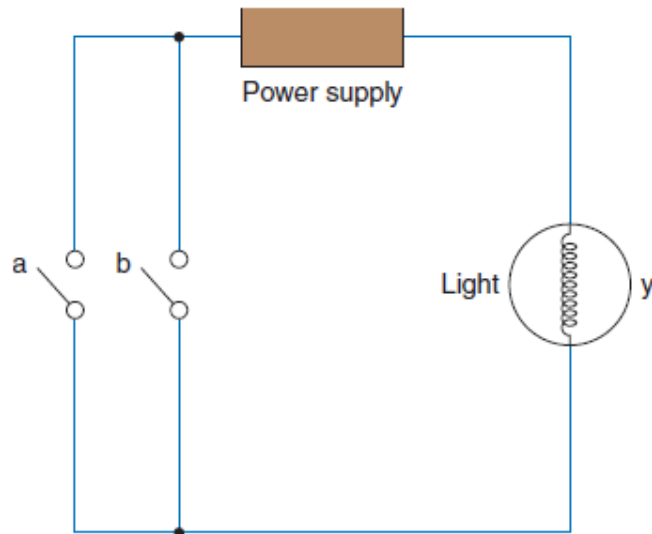
# Introducción a la Electrónica

## SEÑALES DIGITALES Y PUERTAS LÓGICAS



Ejemplo de puerta **AND** con interruptores y bombilla

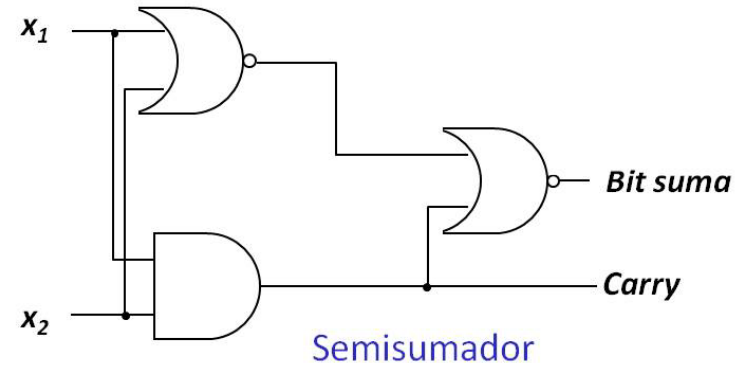
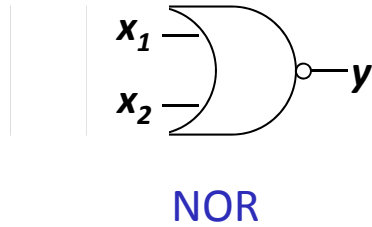
a	b	y
OPEN	OPEN	OFF
OPEN	CLOSED	OFF
CLOSED	OPEN	OFF
CLOSED	CLOSED	ON



Ejemplo de puerta **OR** con interruptores y bombilla

a	b	y
OPEN	OPEN	OFF
OPEN	CLOSED	ON
CLOSED	OPEN	ON
CLOSED	CLOSED	ON

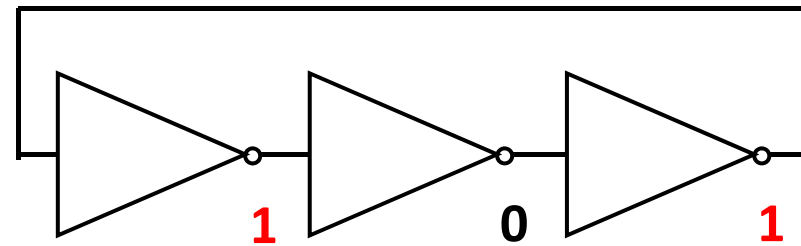
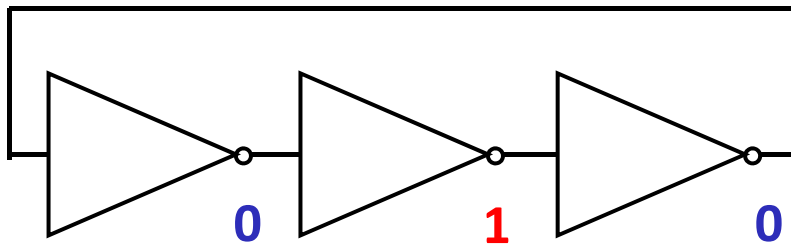
## Introducción a la Electrónica



### CLASIFICACIÓN DE CIRCUITOS DIGITALES

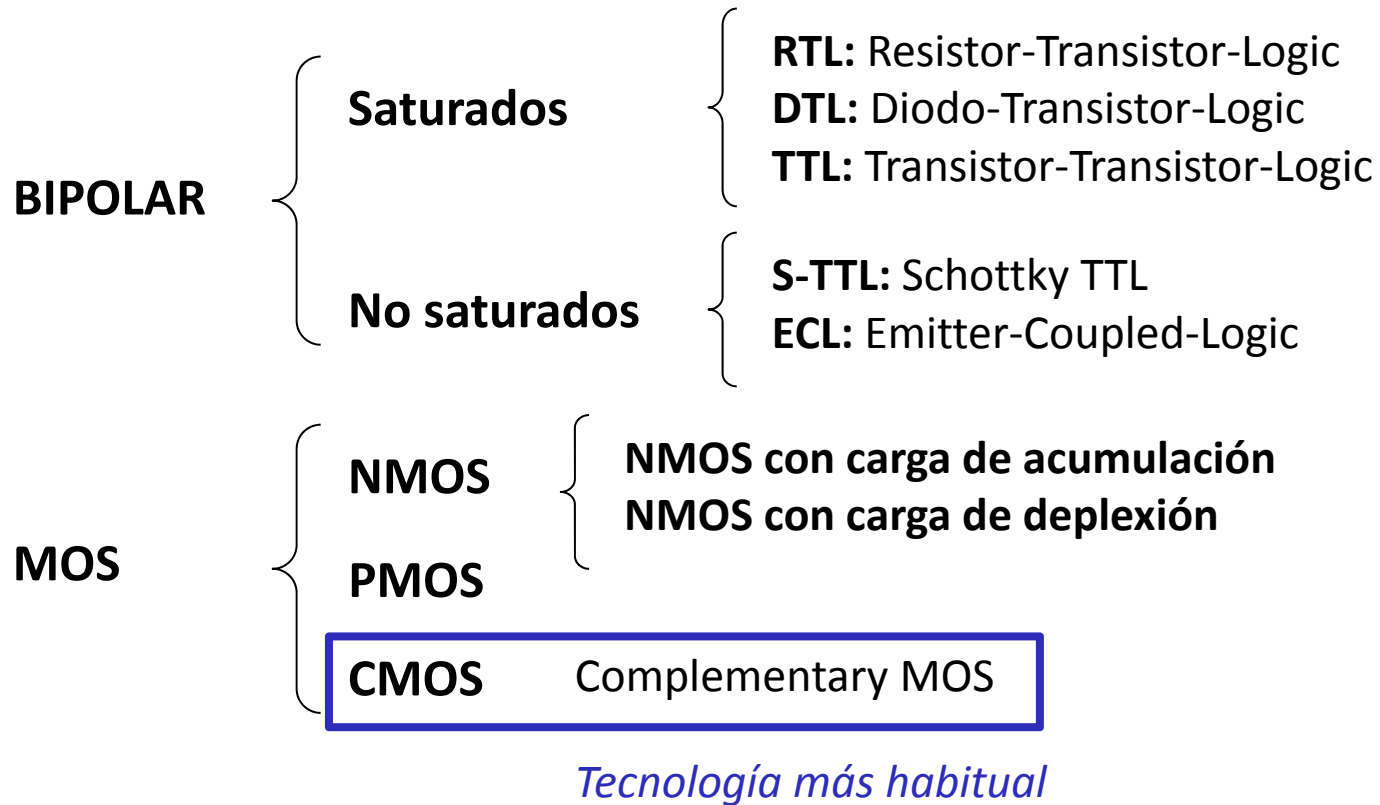
**Circuitos combinacionales** – relación unívoca entre las tensiones en las entradas y el estado del circuito. Realizan funciones lógicas *sin memoria*.

**Circuitos secuenciales** – el nivel de tensión en sus nodos no depende sólo del valor actual de las tensiones de entrada, sino de los valores anteriores: *tienen memoria*



## Introducción a la Electrónica

### FAMILIAS LÓGICAS - Según la tecnología de fabricación



**BiCMOS** Bipolar CMOS

**GaAs**

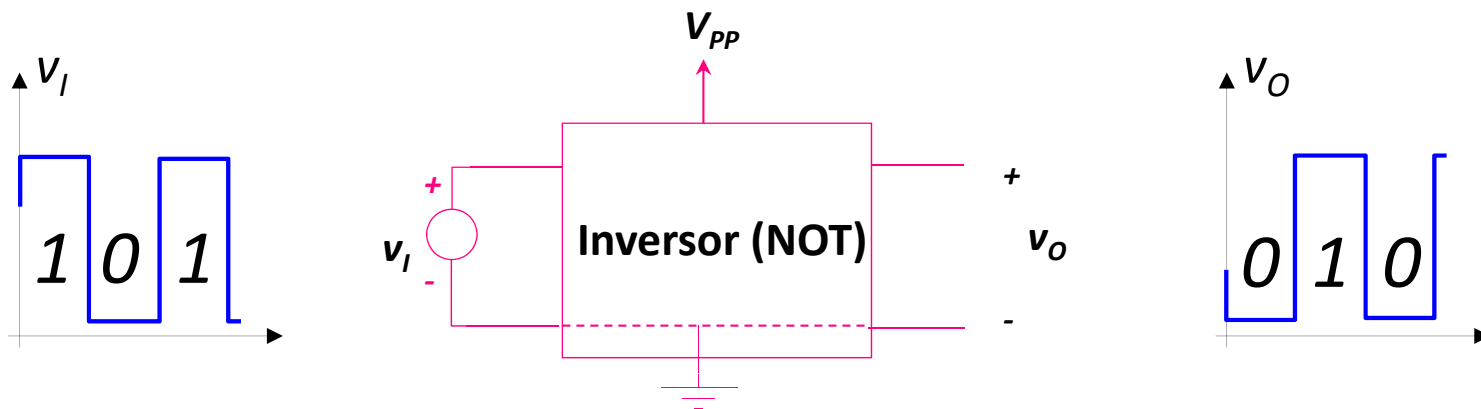


## Introducción a la Electrónica

### FUNCIÓN LÓGICA NEGACIÓN (NOT): el Inversor

**Inversor: invierte el valor lógico de la señal de entrada**

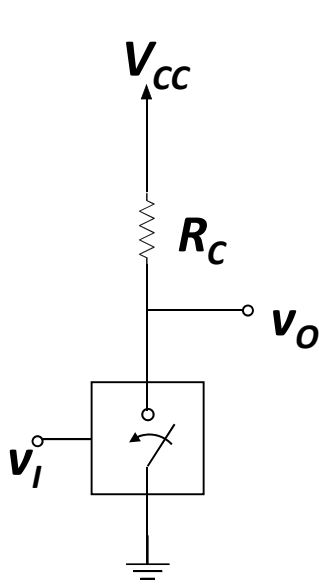
- circuito lógico más **sencillo**,
- en circuitos **digitales**, papel análogo al amplificador en circuitos analógicos,
- ejemplo básico de **conmutación** ( $1 \rightarrow 0$  y viceversa).
- Fuertemente **no lineal**.



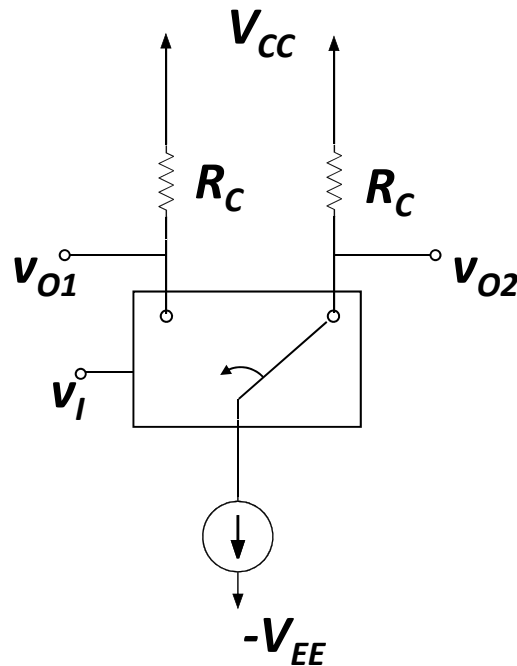
## Introducción a la Electrónica

### FUNCIÓN LÓGICA NEGACIÓN (NOT): el Inversor

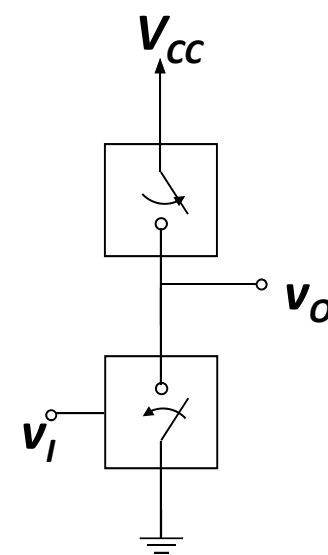
- Cada tecnología tiene su manera particular de fabricar el inversor
- Todas las funciones más complejas están relacionadas con él.
- Muy útil estudiar y comparar los circuitos inversores de las diferentes tecnologías, ya que así se revelarán sus diferentes méritos o carencias.



Circuitos TTL y MOS-n



Circuitos ECL



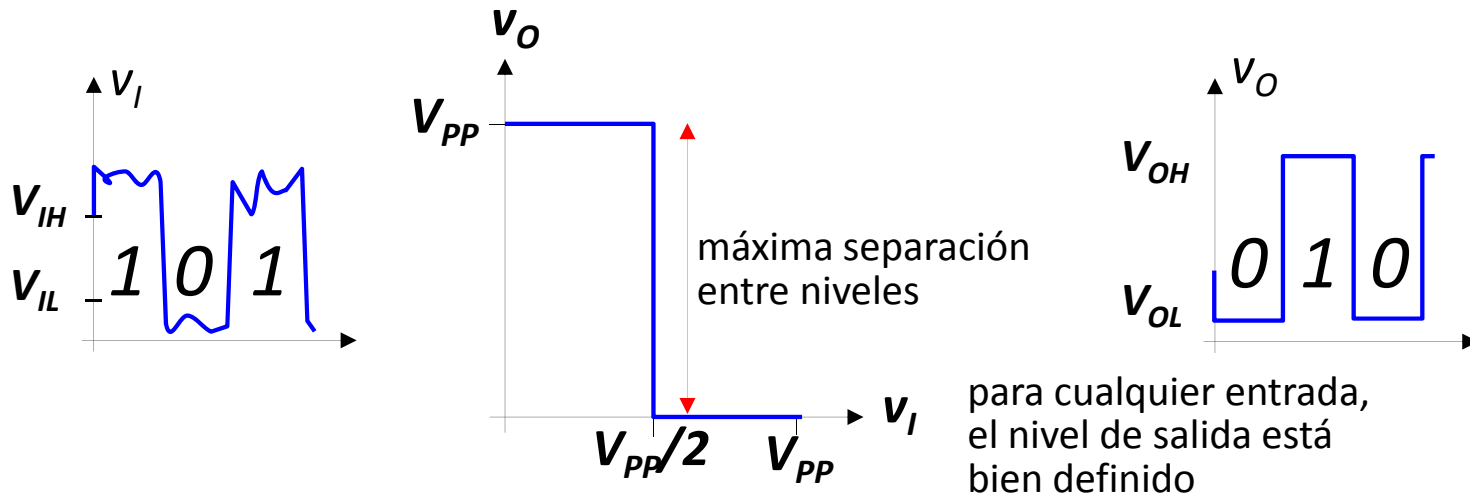
Circuitos CMOS

## Introducción a la Electrónica

### FUNCIÓN LÓGICA NEGACIÓN (NOT): el Inversor

Característica de transferencia **IDEAL**:

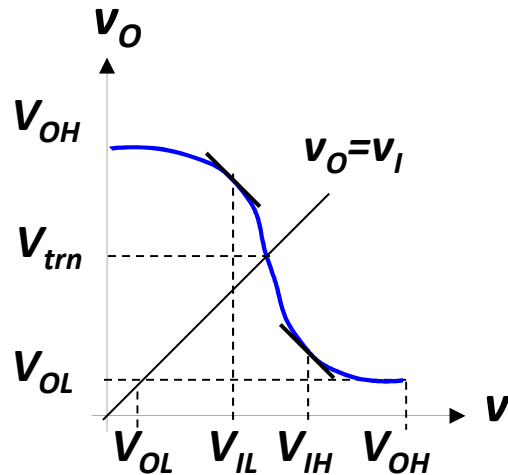
- Niveles de entrada y salida **compatibles** (p. ej si su salida se aplica a la entrada de otro inversor igual).
- **Máxima diferencia** entre niveles para minimizar la influencia del ruido: nivel alto el de alimentación, bajo a tierra.
- **Inmunidad frente al ruido**.



## Introducción a la Electrónica

### FUNCIÓN LÓGICA NEGACIÓN (NOT): el Inversor

Característica de transferencia **REAL**:



$V_{IL}$ ,  $V_{IH}$ , definidos en los puntos en los que la **pendiente de la característica es -1**

Nivel de transición  $V_{trn}$ : **punto de corte** de la característica con la recta  $v_O = v_I$

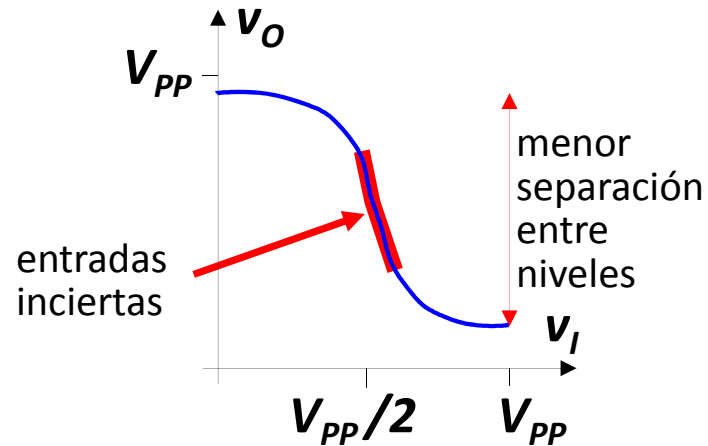
Margen de ruido para nivel bajo  $MR_L \equiv V_{OL} - V_{IL}$

Margen de ruido para nivel alto  $MR_H \equiv V_{OH} - V_{IH}$

## Introducción a la Electrónica

### FUNCIÓN LÓGICA NEGACIÓN (NOT): el Inversor

Característica de transferencia **REAL**:



$V_{IL}$ ,  $V_{IH}$ , definidos en los puntos en los que la **pendiente de la característica es -1**

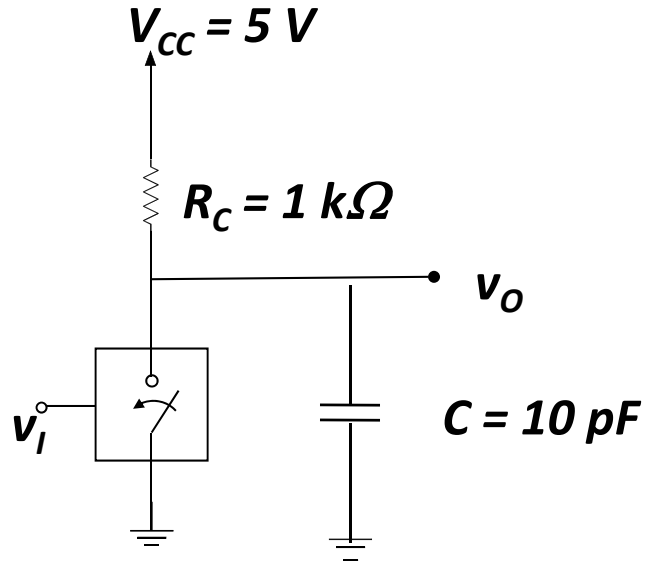
Nivel de transición  $V_{trn}$ : **punto de corte** de la característica con la recta  $v_O=v_I$

Margen de ruido para nivel bajo  $MR_L \equiv V_{OL} - V_{IL}$

Margen de ruido para nivel alto  $MR_H \equiv V_{OH} - V_{IH}$

**Ej. 1** El circuito de la figura representa un inversor en el cual el interruptor está controlado por la tensión de entrada  $v_i$ . Se conecta un condensador de capacidad  $C$  a la salida. En estado estacionario se tiene a la entrada un nivel alto al que corresponde una salida  $v_o = V_{OL} = 0,55$  V. En  $t = 0$  la entrada conmuta al nivel bajo, causando la apertura del interruptor.

- Calcular la expresión de la señal de salida  $v_o(t)$  para  $t > 0$ .
- Calcular  $t_{PLH}$  (tiempo de transición bajo a alto), definido como el tiempo necesario para alcanzar un valor de tensión a la salida igual a  $\frac{1}{2}(V_{OL} + V_{OH})$ .



## RESUMEN DEL APTO. 7.2

- Los circuitos digitales se realizan a partir de combinaciones de puertas lógicas.
- Se distinguen los circuitos combinacionales (sin memoria) y secuenciales (con memoria).
- La clasificación de los circuitos digitales se realiza en familias lógicas, de acuerdo con las tecnologías de fabricación elegidas para su realización, siendo actualmente la familia CMOS la más común.
- El inversor es la pieza básica de la conmutación y de la electrónica digital, representando el circuito lógico más sencillo.
- Las principales diferencias entre las características de transferencia ideal y real de un inversor se relacionan con la existencia de un rango de señal de entrada incierta y una menor diferencia entre los estados alto y bajo en los casos reales.

# Introducción a la Electrónica

## Tema 7: Introducción a los circuitos de conmutación.

*7.1 Introducción.*

*7.2 Circuitos digitales.*

*7.3 Circuitos con diodos en cuasi-estática.*

*7.4 El diodo en conmutación dinámica.*

*7.5 Conmutación con transistores en cuasi-estática.*

*7.6 Conmutación con transistores con carga capacitiva*

## Objetivos

- Presentar los principales circuitos con diodos formadores de onda dentro de la aproximación cuasi-estática.
- Comprender la acción no lineal de conmutación de los diodos y sus principales aplicaciones.

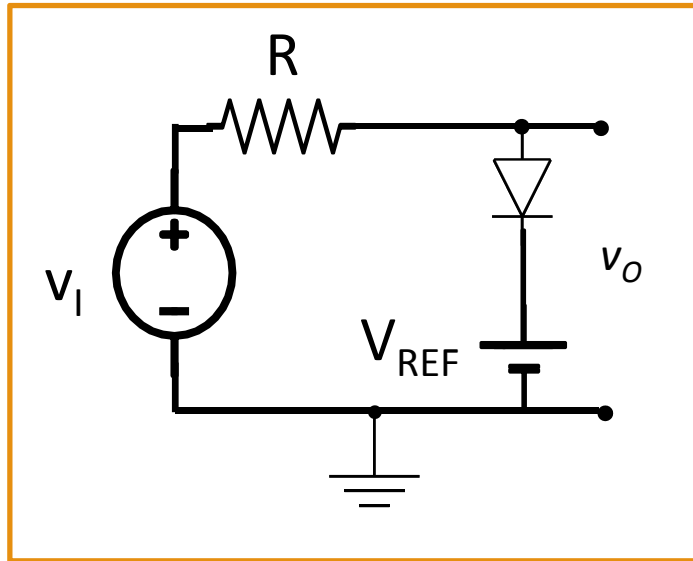
## Bibliografía

- Sedra, apto. 3.5, 3.6
- Malik, apto. 3.9

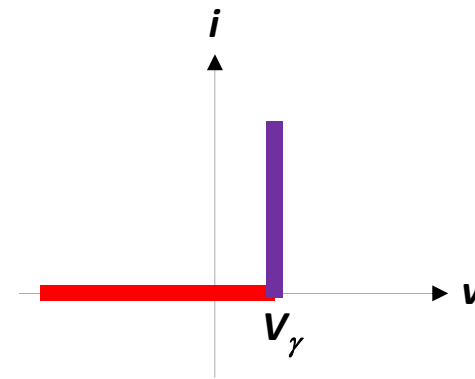


# Introducción a la Electrónica

1. **Circuito limitador:** Limita las tensiones de salida, protegiendo componentes.

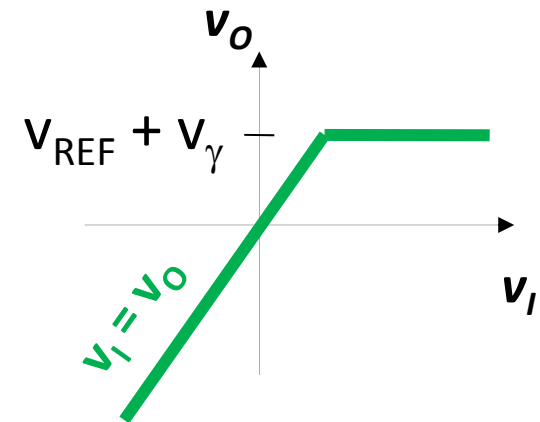


Análisis en cuasi-estática y gran señal, modelo de tensión de codo:



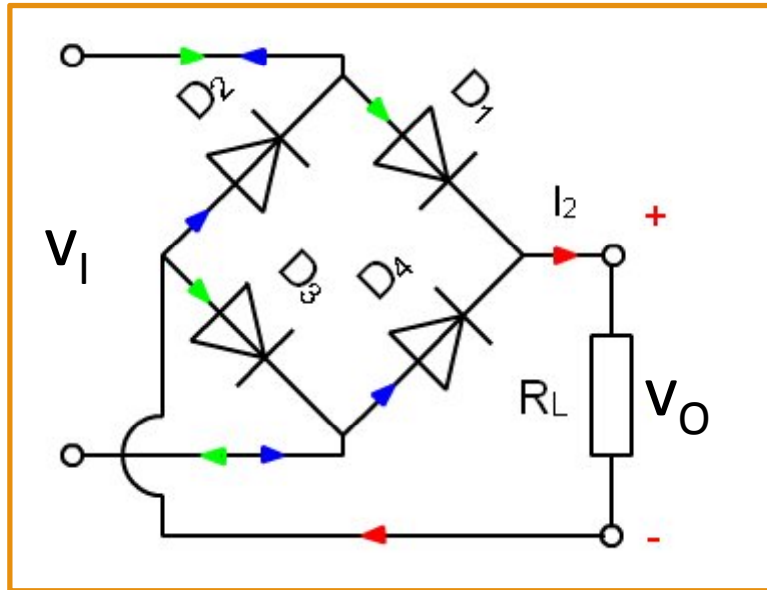
Función de transferencia:

$$v_O = f(v_I) = \begin{cases} v_I & \text{si } v_I \leq v_{REF} + v_\gamma \text{ (corte)} \\ v_{REF} + v_\gamma & \text{si } v_I \geq v_{REF} + v_\gamma \text{ (ON)} \end{cases}$$

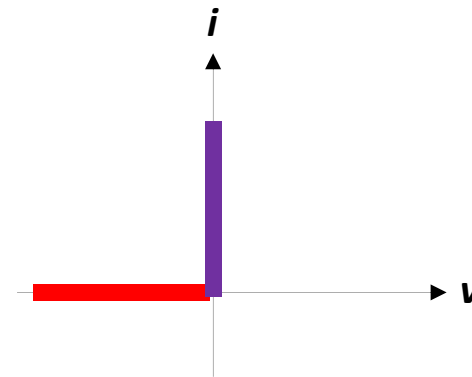


# Introducción a la Electrónica

## 2. Circuito rectificador de onda completa:

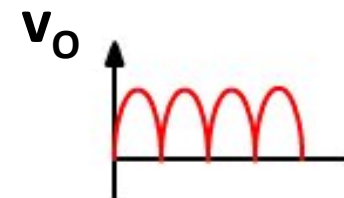
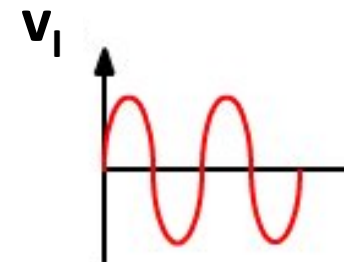


Análisis en cuasi-estática y gran señal, modelo de tensión de codo ideal:



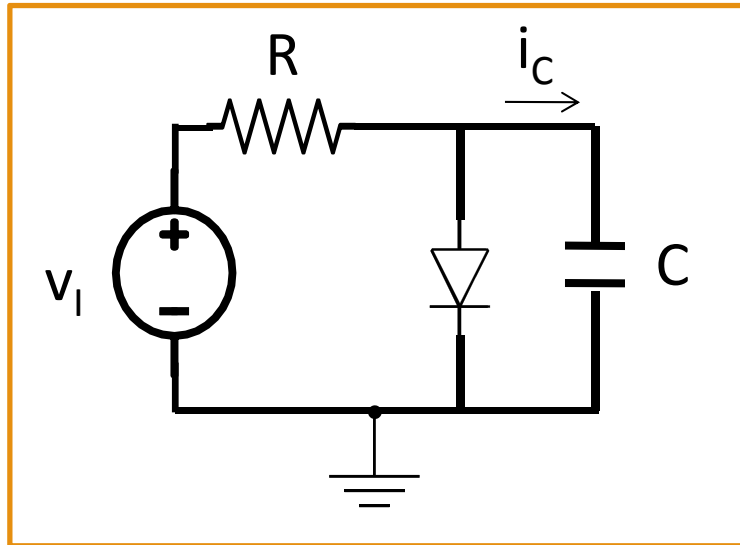
Función de transferencia:

$$v_O = f(v_I) = \begin{cases} v_I & \text{si } v_I \geq 0 \text{ (D}_1, \text{D}_3 \rightarrow \text{ON ; D}_2, \text{D}_4 \text{ OFF)} \\ -v_I & \text{si } v_I \leq 0 \text{ (D}_1, \text{D}_3 \rightarrow \text{OFF ; D}_2, \text{D}_4 \text{ ON)} \end{cases}$$

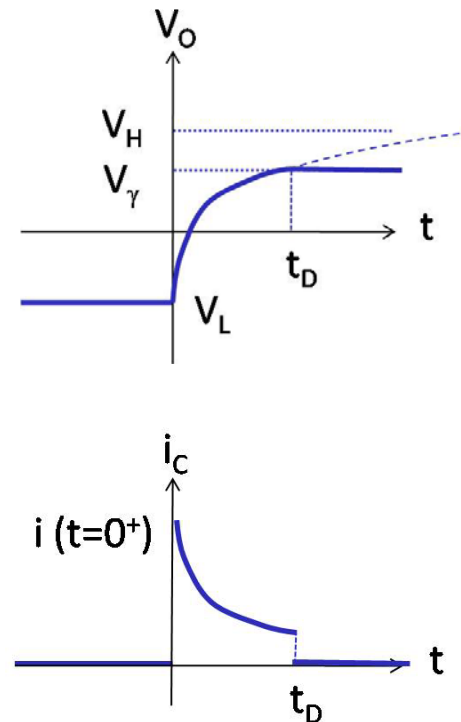
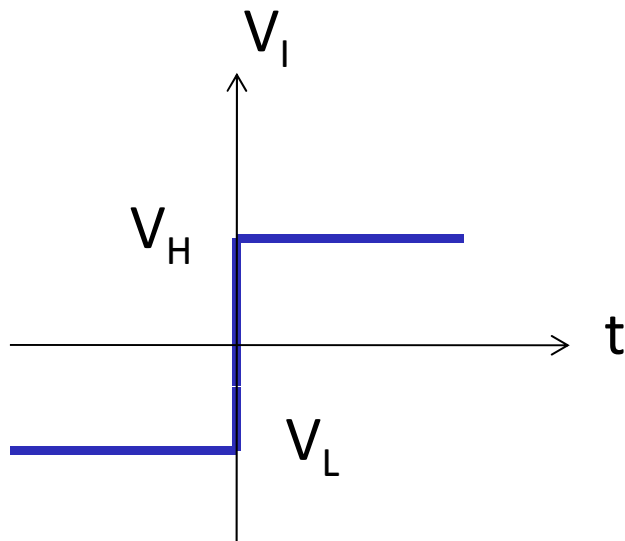


# Introducción a la Electrónica

## 3. Circuitos con condensadores:



Se desprecian efectos capacitivos del diodo o se modelan mediante condensadores externos.



Ej. 2 En el circuito de la figura, despreciando los efectos capacitivos del diodo, obtenga:

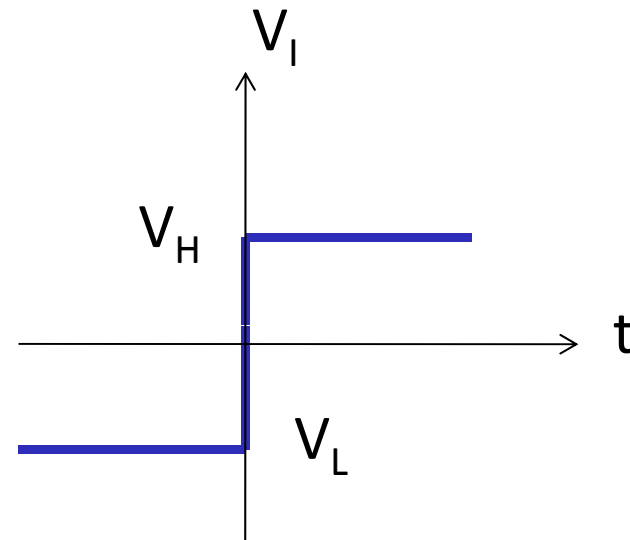
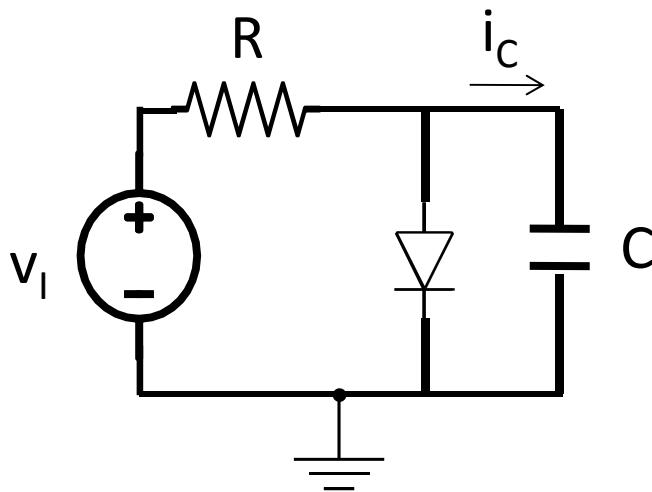
a)  $v_C(t)$  e  $i_C(t)$  para  $t < 0$ .

b)  $v_C(t = 0^+)$  e  $i_C(t = 0^+)$

c)  $v_C(t \rightarrow \infty)$  e  $i_C(t \rightarrow \infty)$

d) tiempo que tarda  $v_C$  en alcanzar su valor final.

DATOS:  $V_H = 1\text{ V}$ ,  $V_L = -1\text{ V}$ ,  $R = 1\text{ k}\Omega$ ,  $C = 1\text{ }\mu\text{F}$ ,  $V_\gamma = 0.5\text{ V}$ .



# Introducción a la Electrónica

## Tema 7: Introducción a los circuitos de conmutación.

*7.1 Introducción.*

*7.2 Circuitos digitales.*

*7.3 Circuitos con diodos en cuasi-estática.*

*7.4 El diodo en conmutación dinámica.*

*7.5 Conmutación con transistores en cuasi-estática.*

*7.6 Conmutación con transistores con carga capacitiva*

## Objetivos

- Repasar el origen de las capacidades internas del diodo.
- Analizar la conmutación dinámica del diodo con ayuda de circuitos equivalentes aproximados.

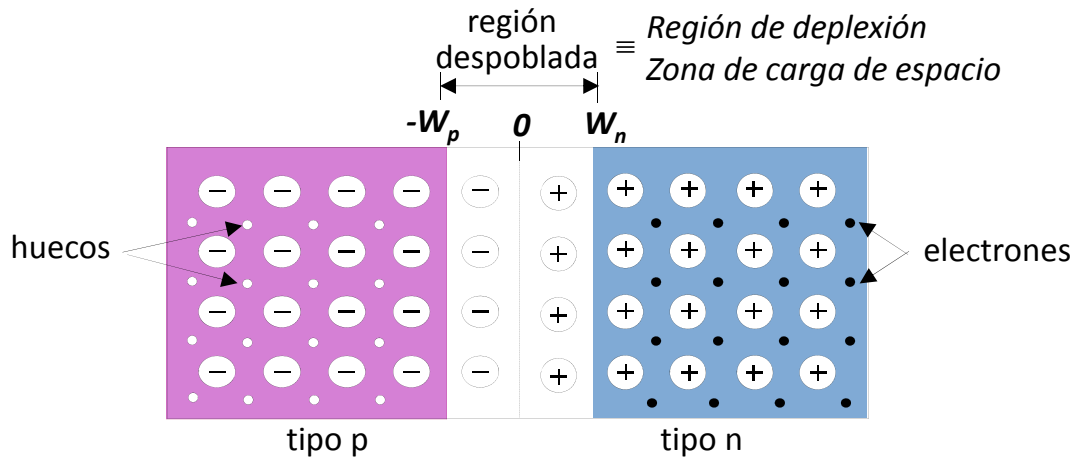
## Bibliografía

- Sedra, apto. 3.3
- Malik, apto. 3.12

# Introducción a la Electrónica

## Diodos en dinámica

$C_j \equiv$  Capacidad de unión / deplexión



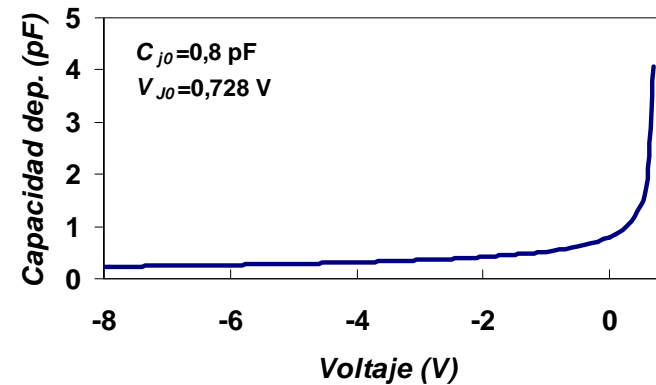
$$Q_p = e w_p N_A A = Q_n = e w_n N_D A$$

$$Q_j = e \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} w_{dep} A,$$

con  $w_{dep} = w_p + w_n$

Capacidad de deplexión: dependiente del voltaje

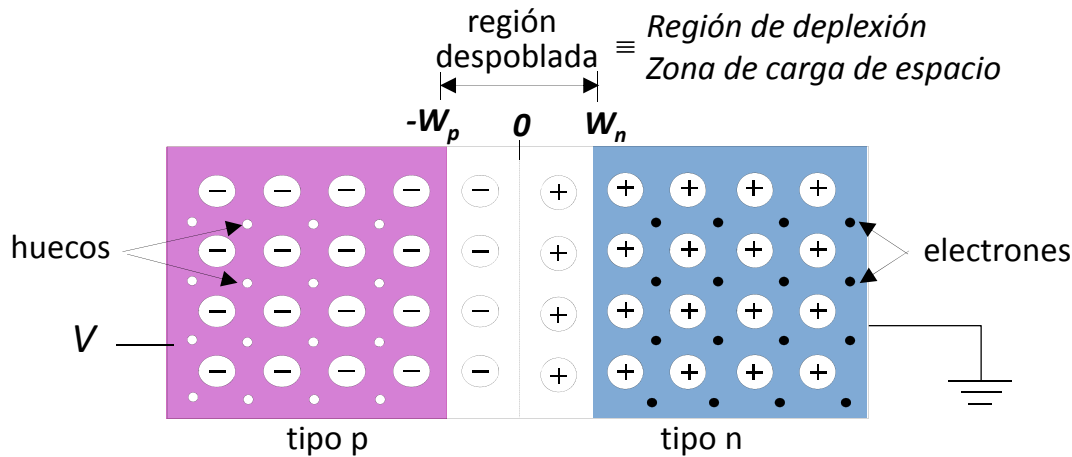
$$C_j = \frac{\epsilon_s A}{w_{dep}} = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V}{V_{J0}}}}$$



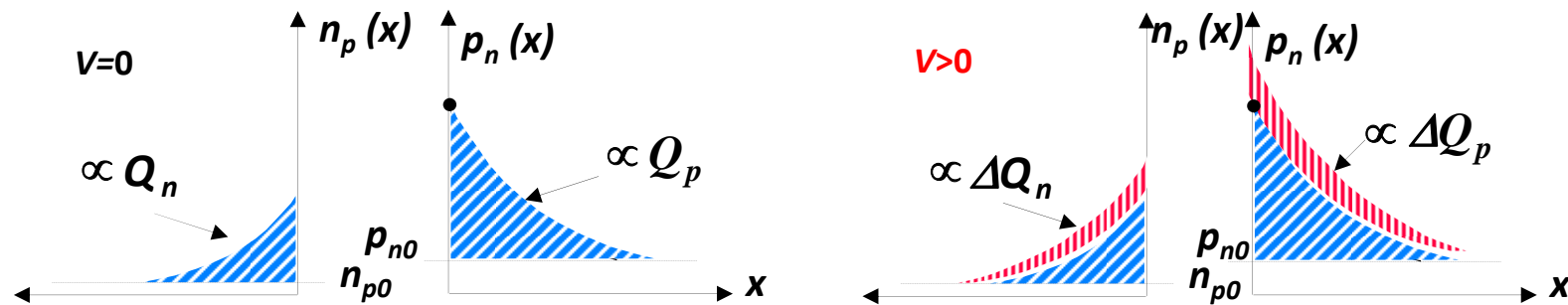
# Introducción a la Electrónica

## Diodos en dinámica

$C_d \equiv$  Capacidad de difusión



Carga asociada al exceso de minoritarios en las regiones p y n, a ambos lados de la zona de deplexión  $\Rightarrow$  efecto capacitivo

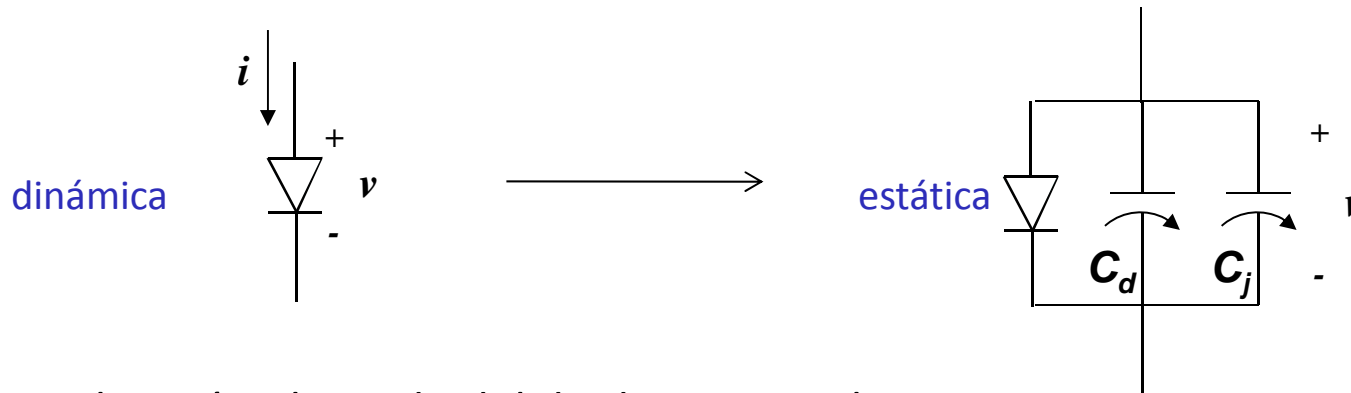


$$C_d = B \exp\left(\frac{v_d}{V_T}\right)$$

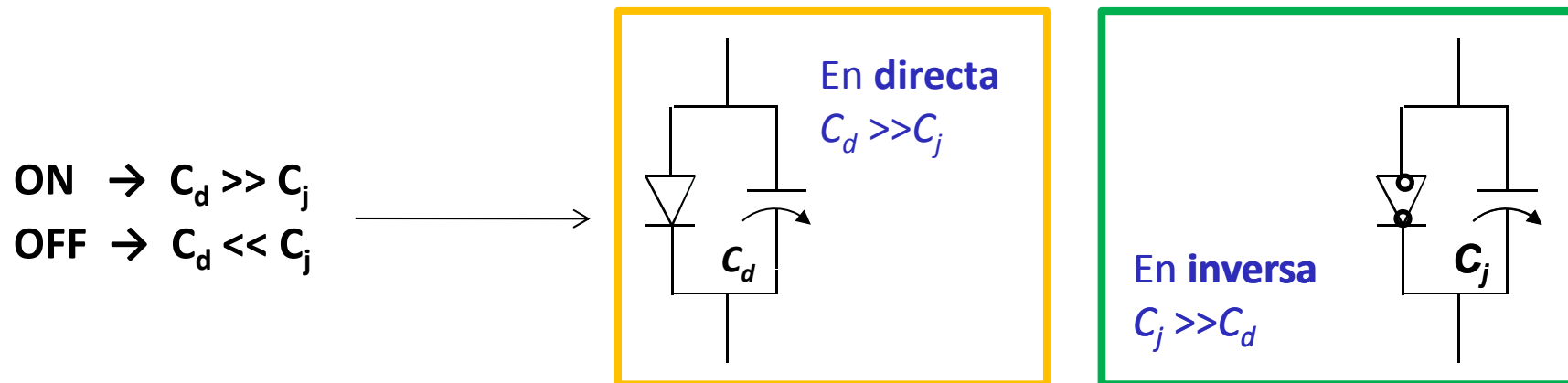
## Introducción a la Electrónica

Incluyendo las capacidades asociadas al funcionamiento en **dinámica y gran señal**:

$$i(t) = I_s \left[ \exp\left(\frac{v(t)}{V_T}\right) - 1 \right] + C_j(v(t)) \frac{dv(t)}{dt} + C_d(v(t)) \frac{dv(t)}{dt}$$



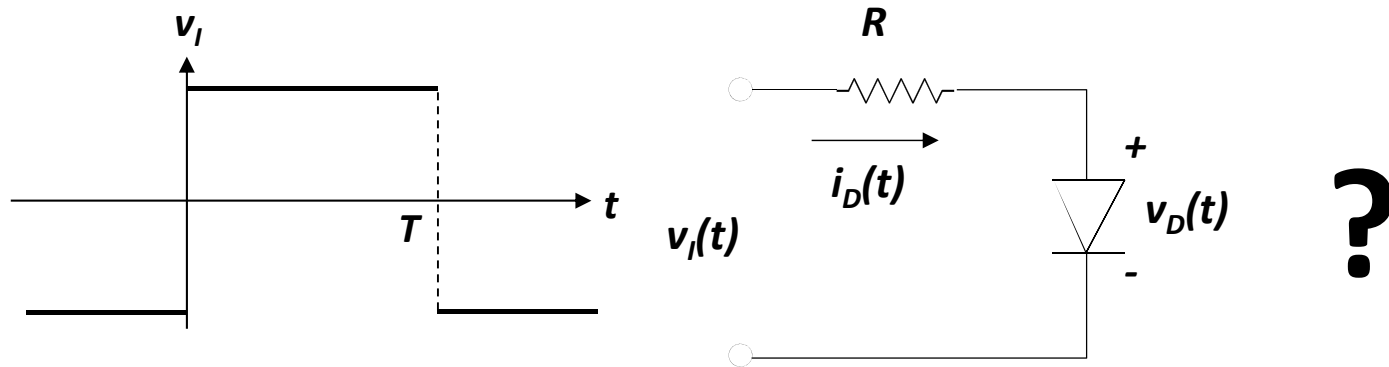
En general, según el estado del diodo, se cumple:



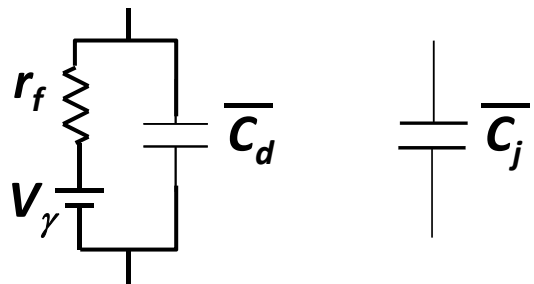


# Introducción a la Electrónica

## DIODO EN CONMUTACIÓN



Modelo del diodo en dinámica y gran señal:

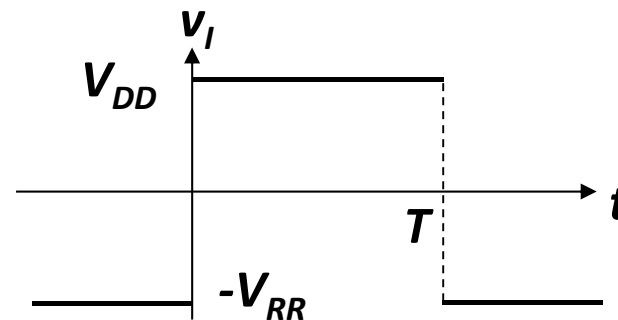
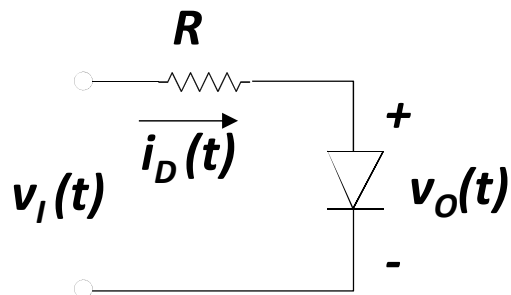


directa

inversa

**Ej 3.** Para el circuito de la figura, la señal de entrada  $v_I(t)$  conmuta en  $t = 0$  de  $v_I(t^-) = -V_{RR}$  a  $v_I(t^+) = V_{DD}$ . Calcule la señal de salida  $v_O(t)$ . Haga un análisis similar para la conmutación en  $t = T$  de  $v_I(T^-) = V_{DD}$  a  $v_I(T^+) = -V_{RR}$ .

**DATOS:**  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $V_{DD} = V_{RR} = 10 \text{ V}$   
 $V_\gamma = 0,7 \text{ V}$ ;  $r_f = 5 \Omega$ ;  $C_j = 2 \text{ pF}$ ;  $C_d = 200 \text{ nF}$



## RESUMEN DEL APTO. 7.4

- En dinámica se manifiestan los efectos capacitivos internos del diodo, de forma que los modelos de estática dejan de ser apropiados; se ha de considerar la existencia de una capacidad de deplexión (que domina en el funcionamiento en inversa) y una capacidad de difusión (que domina en el funcionamiento en directa)
- Se pueden analizar circuitos con diodos en dinámica a partir de circuitos equivalentes en los que aproximamos las capacidades internas, dependientes del voltaje, por valores medios
- Los efectos capacitivos son responsables de que los tiempos de respuesta en conmutación no sean nulos, sino que existan retardos de propagación

# Introducción a la Electrónica

## Tema 7: Introducción a los circuitos de conmutación.

*7.1 Introducción.*

*7.2 Circuitos digitales.*

*7.3 Circuitos con diodos en cuasi-estática.*

*7.4 El diodo en conmutación dinámica.*

*7.5 Conmutación con transistores en cuasi-estática.*

*7.6 Conmutación con transistores con carga capacitiva*

## Objetivos

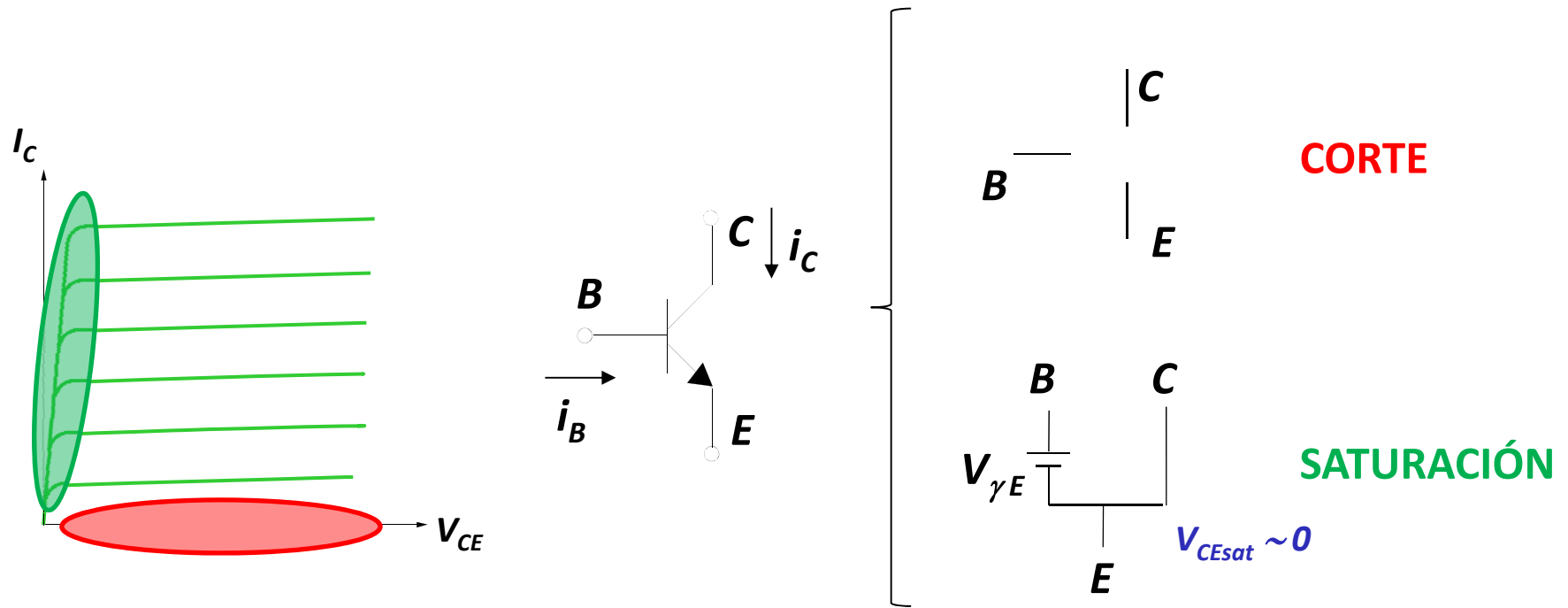
- Entender cómo influyen los efectos capacitivos presentes en transistores en sus tiempos de respuesta
- Presentar las distintas familias lógicas construidas con transistores bipolares, poniendo de manifiesto sus características más relevantes
- Presentar las distintas familias lógicas construidas con transistores MOSFET, poniendo de manifiesto sus características más relevantes

## Bibliografía

- Sedra, aptos. 5.10, 10.2 a 10.4
- Malik, aptos. 13.2, 13.3, 13.5 y 13.6

# Introducción a la Electrónica

Un **transistor** para un circuito digital funciona **como un interruptor** controlado mediante un terminal de control.

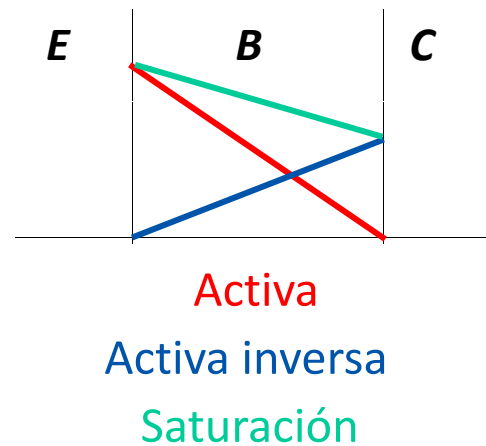
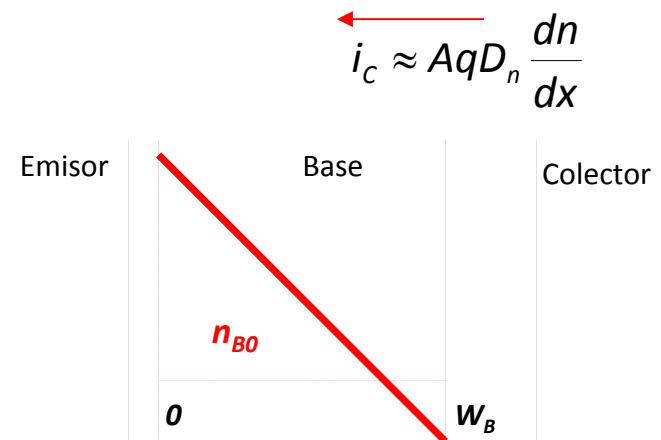


# Introducción a la Electrónica

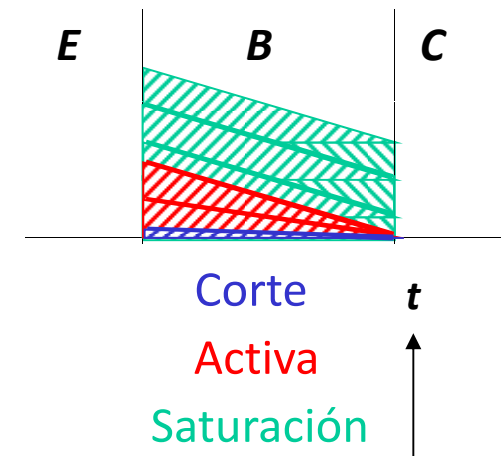
## RETARDOS DE PROPAGACIÓN EN EL BJT

El efecto más importante está asociado a la carga acumulada en la base (asociada a los minoritarios inyectados) en un transistor saturado

### Carga acumulada en la base

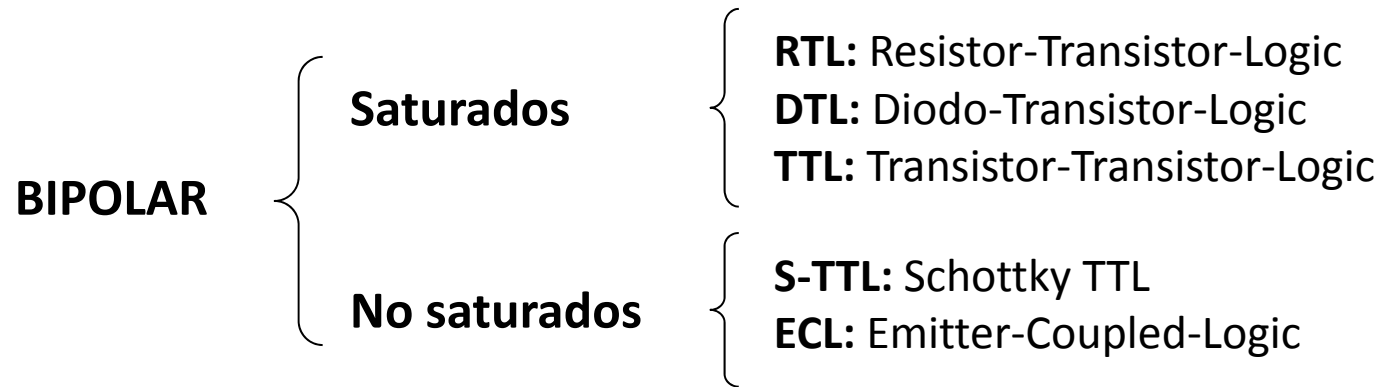


Evolución del perfil de minoritarios (de saturación a corte)

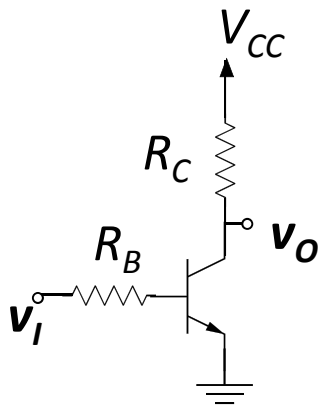


## Introducción a la Electrónica

### FAMILIAS LÓGICAS - Según la tecnología de fabricación



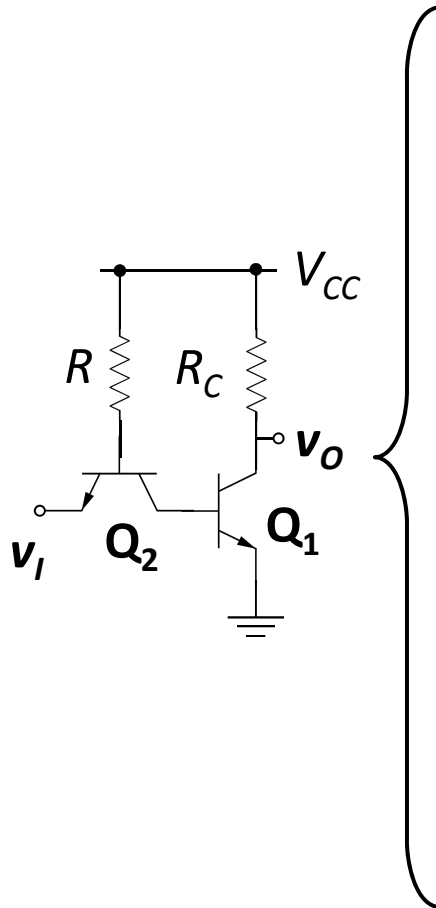
### Inversor RTL (Resistor-Transistor-Logic)



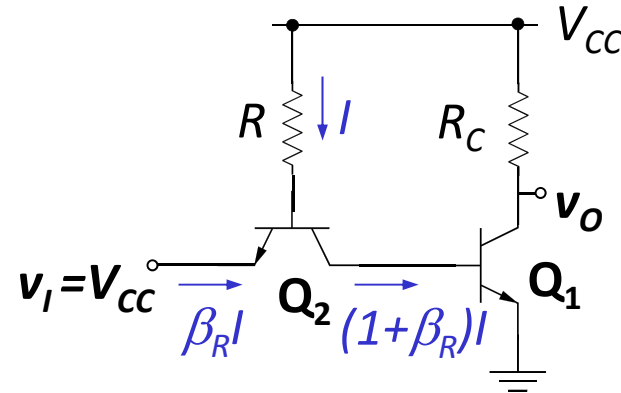
*Ej. 4.* Calcule la curva de transferencia  $v_o(v_i)$  para un inversor RTL.  
 $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ;  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $R_B = 25 \text{ k}\Omega$

# Introducción a la Electrónica

## Inversor TTL (Transistor-Transistor-Logic)

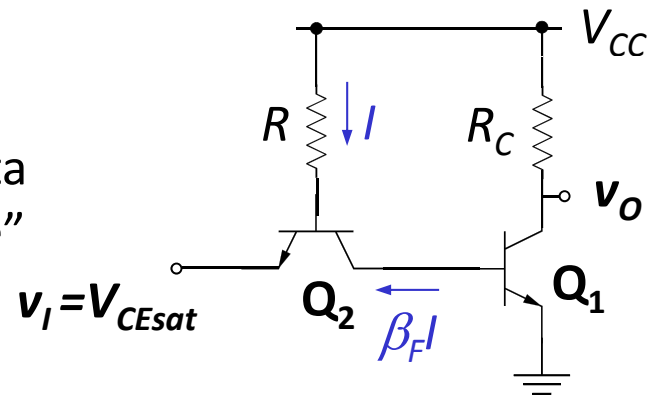


$v_I = V_H = V_{CC}$   
 $Q_2$  en Activa Inversa  
 $Q_1$  en Saturación



$v_O = V_L = V_{CEsat}$

$v_I = V_L = V_{CEsat}$   
 Transitorio:  
 $Q_2$  en Activa Directa  
 $Q_1$  "descargándose"



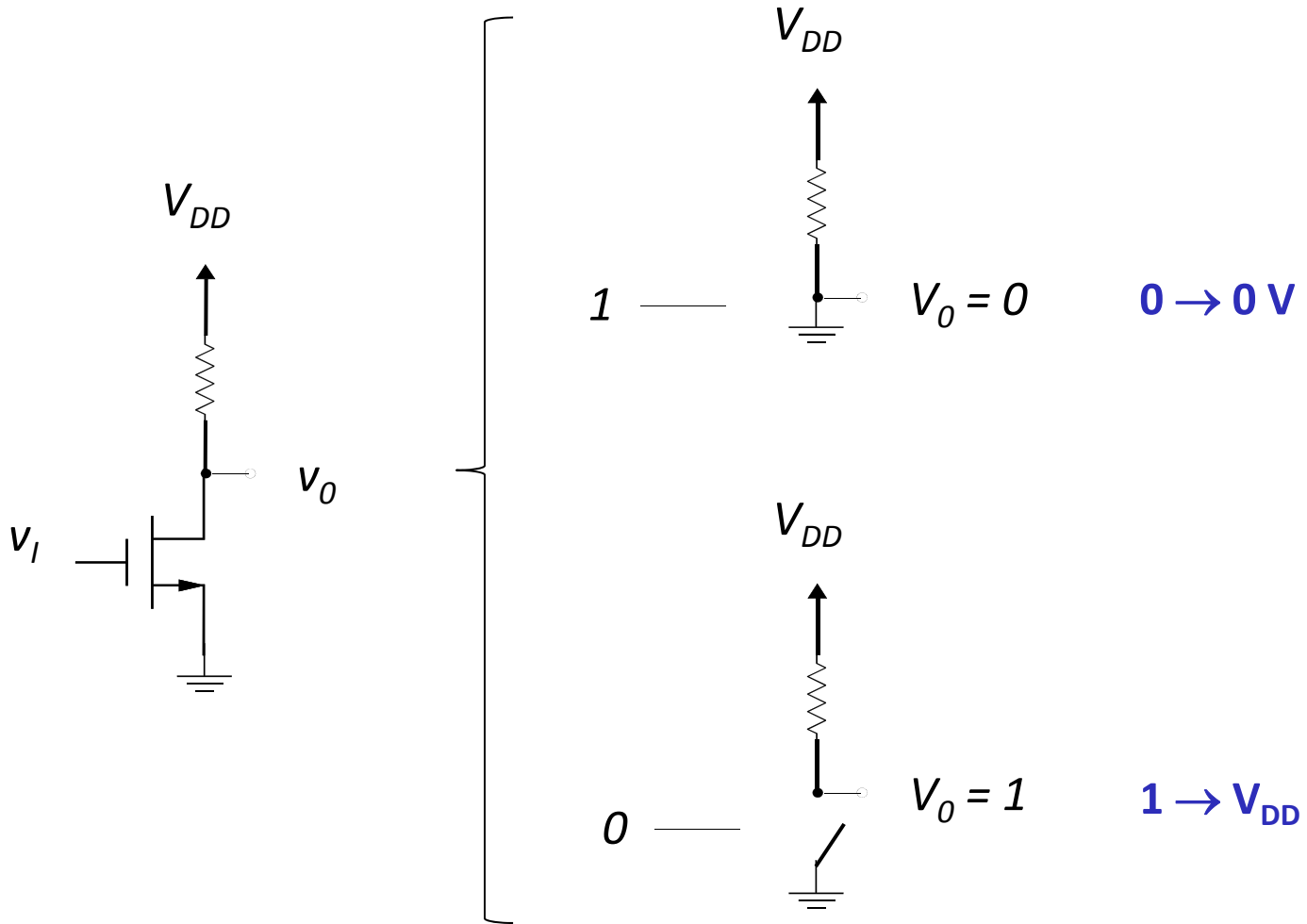
$v_O = V_H = V_{CC}$

Estacionario: {  $Q_2$  en saturación  
 $Q_1$  en corte



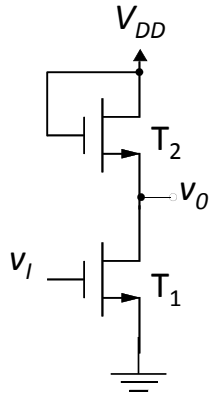
# Introducción a la Electrónica

## Inversor NMOS (NOT)



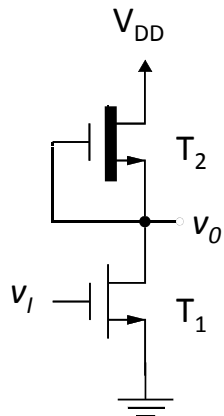
# Introducción a la Electrónica

## Inversor NMOS con carga de acumulación

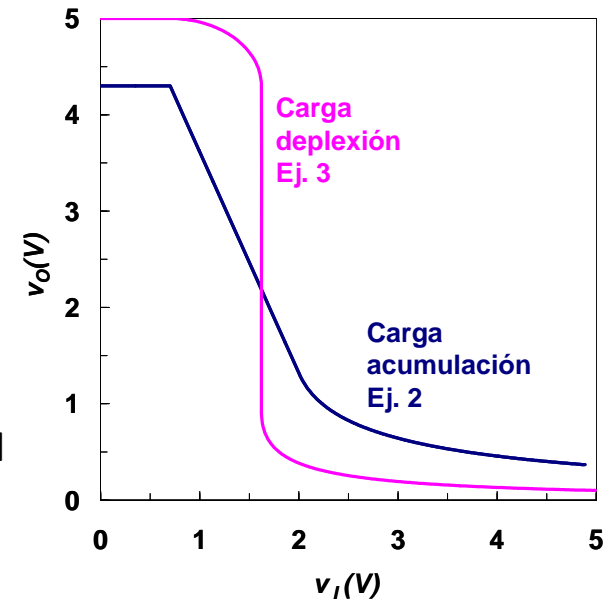


**Ej. 5.** En el inversor de la figura, calcule el nivel alto de tensión a la salida y la relación entre las anchuras de los canales para que  $V_L = 0,4$  V.  
**DATOS:**  $V_{DD} = 5$  V;  $k' = 5$  mA/V<sup>2</sup>;  $L = 10$  mm;  
 $V_T = 0,7$  V

## Inversor NMOS con carga de deplexión



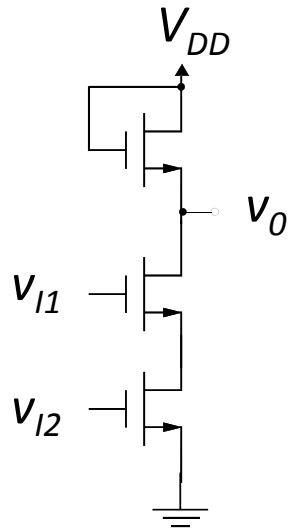
**Ej. 6.** Calcular la corriente  $i_D$  que debería dar el transistor de deplexión para que en nivel bajo  $V_L = 0,1$  V.  
**DATOS:**  $V_{DD} = 5$  V;  $k_1 = 100$  mA/V<sup>2</sup>;  
 $|V_{T1}| = |V_{T2}| = 0,7$  V



Esquemas análogos para PMOS

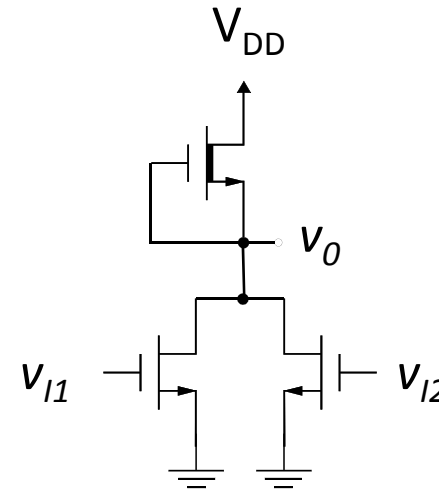
# Introducción a la Electrónica

## Otras puertas lógicas



**NAND**

$V_{I1}$	$V_{I2}$	$V_O$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

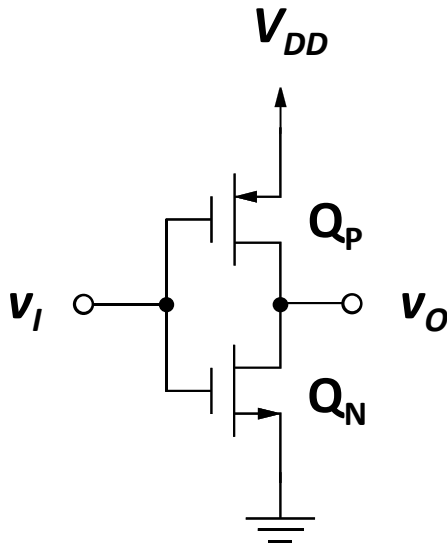


**NOR**

$V_{I1}$	$V_{I2}$	$V_O$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

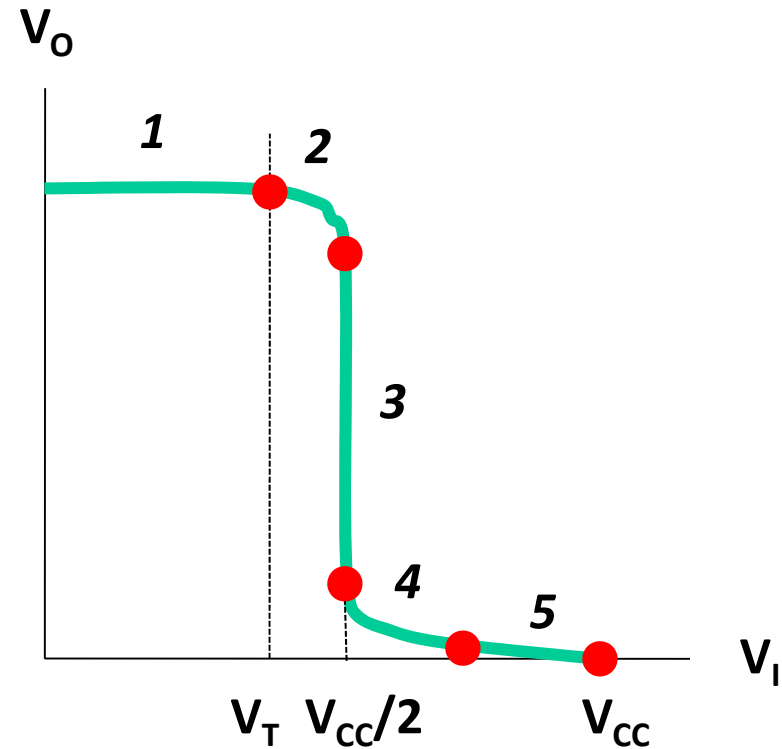
# Introducción a la Electrónica

## Inversor CMOS



$$V_{T1} = V_{T2} = V_T$$

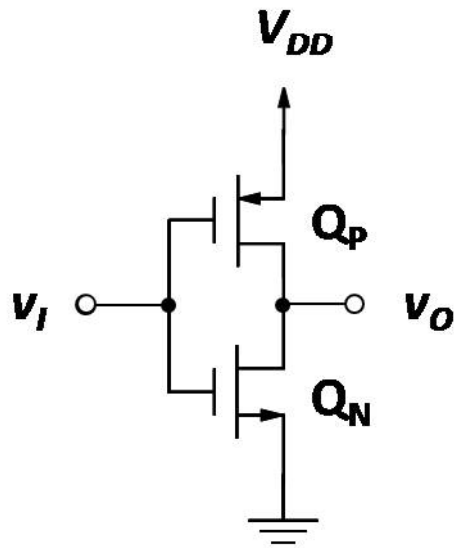
$$k_1 = k_2 = k$$



- Niveles alto y bajo muy definidos, lo más separados posible y con transición abrupta, aumentando la inmunidad frente al ruido
- Disipación de potencia en estática nula
- Habría que considerar los efectos capacitivos para evaluar sus propiedades en dinámica

# Introducción a la Electrónica

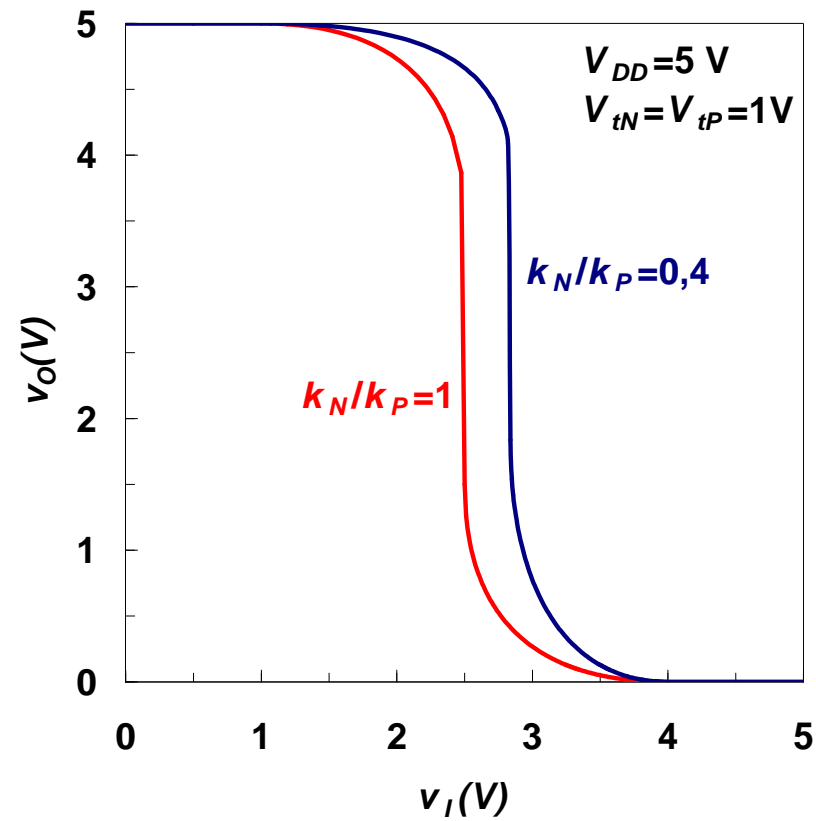
## Inversor CMOS



$$k_1 = k_2 = k$$

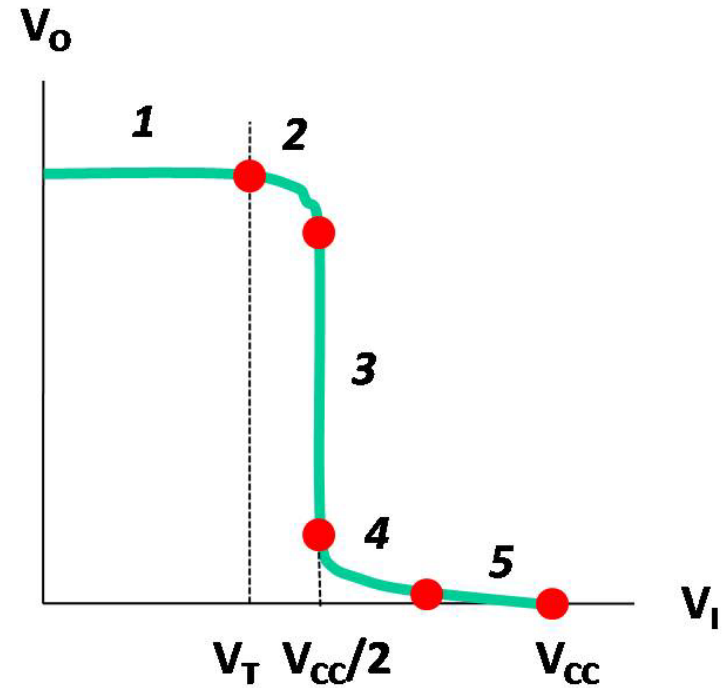
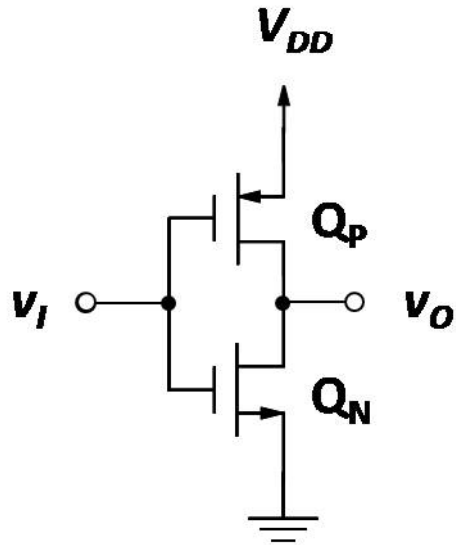
Pero en general:  $\mu_e \neq \mu_h$

→ Z/L en  $Q_N \neq Q_P$



# Introducción a la Electrónica

## Inversor CMOS



Cada tramo de la gráfica se corresponde a una combinación de estados de los transistores:

	1	2	3	4	5
$Q_p$	G	G	S	S	C
$Q_n$	C	S	S	G	G

C: corte    S: saturación    G: gradual

## RESUMEN DEL APTO. 7.5

- Una familia puede quedar caracterizada en primera aproximación por su circuito inversor básico
- Los efectos de almacenamiento y extracción de carga asociados al funcionamiento del transistor bipolar introducen retardos de propagación. El retardo más importante suele ser el asociado a la carga acumulada en base en estado de saturación
- En los inversores NMOS se usan transistores de acumulación o de depleción como cargas activas, facilitando su integración y mejorando sus características respecto al uso de resistencias
- La familia CMOS es predominante hoy en día. Más compleja que la NMOS, cuenta con una característica casi ideal, amplio margen lógico y ausencia de disipación en estática.

# Introducción a la Electrónica

## Tema 7: Introducción a los circuitos de conmutación.

*7.1 Introducción.*

*7.2 Circuitos digitales.*

*7.3 Circuitos con diodos en cuasi-estática.*

*7.4 El diodo en conmutación dinámica.*

*7.5 Conmutación con transistores en cuasi-estática.*

***7.6 Conmutación con transistores con carga capacitiva***

## Objetivos

- Justificar la oportunidad de modelar efectos capacitivos de un circuito digital mediante una carga capacitiva
- Mostrar cómo influyen los efectos capacitivos en los tiempos de respuesta de circuitos en conmutación

## Bibliografía

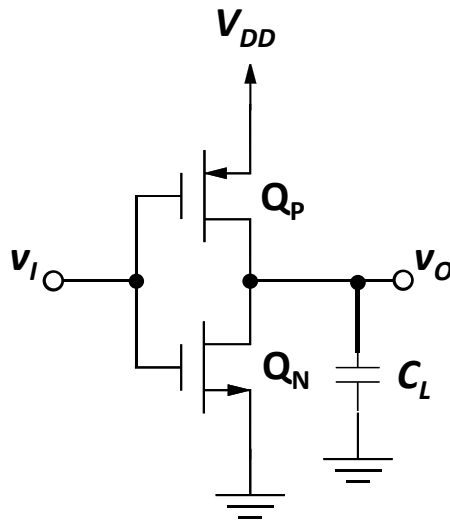
- Sedra, aptos. 14.3, 13.2
- Malik, aptos. 13.5.4, 13.2.3 y 13.3.2



## Introducción a la Electrónica

### EL INVERSOR CMOS CON CARGA CAPACITIVA

**Ej 7.** Para el inversor CMOS con carga capacitiva de la figura, calcule un límite inferior para la expresión del retardo de propagación, promedio de los correspondientes a la conmutación alto-bajo y a la conmutación bajo-alto.



## Introducción a la Electrónica

### TRANSISTOR BIPOLAR CON CARGA CAPACITIVA

**Ej 8.** Ignorando las capacidades parásitas del transistor frente a  $C_L$ , calcule:

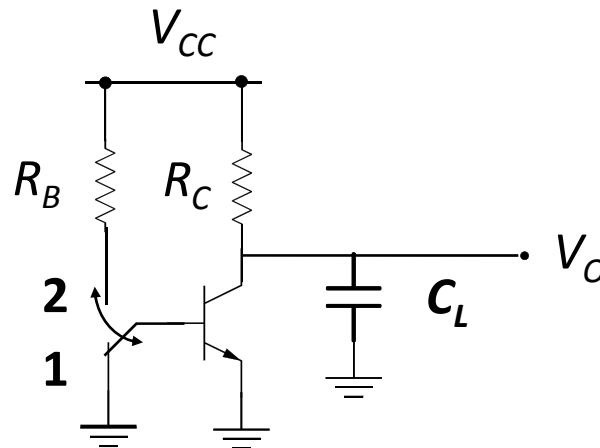
a) Punto de trabajo en estado estacionario en posición 1 y en posición 2.

b) Valor de  $v_o$  para el conmutador en las posiciones 1 y 2 en estado estacionario.

c) En  $t = 0$  el conmutador pasa de 1, donde llevaba mucho tiempo, a 2. Calcule el tiempo  $t_{THL}$  que tarda  $v_o$  en alcanzar su valor final.

d) En el caso contrario, en que la transición en  $t = 0$  fuese de 1 a 2, calcule el tiempo  $t_{TLH}$  que tarda  $v_o$  en alcanzar el 90% de su valor estacionario.

**DATOS:**  $\beta = 100$ ;  $V_{\gamma E} = 0,7 \text{ V}$ ;  $V_{CEsat} = 0 \text{ V}$ ;  $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $V_{CC} = 15 \text{ V}$ ;  $C_L = 10 \text{ nF}$ ;  
 $v_{BE}(t) \ll V_{CC}$  para todo  $t$ .



## RESUMEN DEL APTO. 7.5

- Las capacidades parásitas presentes en circuitos integrados, bien asociadas a los dispositivos activos, bien asociadas a las pistas de metalización, introducen retardos de propagación durante la conmutación en aplicaciones digitales.
- Para un análisis aproximado, es razonable agrupar todos los efectos capacitivos en un condensador de carga. De esta forma, asumimos conmutación dinámica instantánea en los dispositivos activos.

## CONCEPTOS CLAVE DEL TEMA 7

- 👉 **Circuito inversor: curva característica, propiedades.**
- 👉 **Principales familias lógicas con BJT y con MOST.**
- 👉 **Existencia de capacidades parásitas y circuitales que producen retardos de propagación.**