

# Tema 7: Familias Lógicas.

## Contenidos

7.1 Objetivos

7.2 Curva de Transferencia y Respuesta Temporal

7.3 Familia RTL

7.4 Familia TTL. NAND-2

7.5 Familia CMOS

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# 7.1 Objetivos

Las distintas puertas y elementos de memoria que se han usado en circuitos digitales están diseñados en base a transistores de todo tipo y diodos.

El objetivo de este tema es aprender a analizar y diseñar distintas puertas lógicas usando diferentes tipos de tecnologías (Transistores)

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, green, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the 'Cartagena' part. The text is set against a light blue and orange gradient background that resembles a stylized wave or a banner.

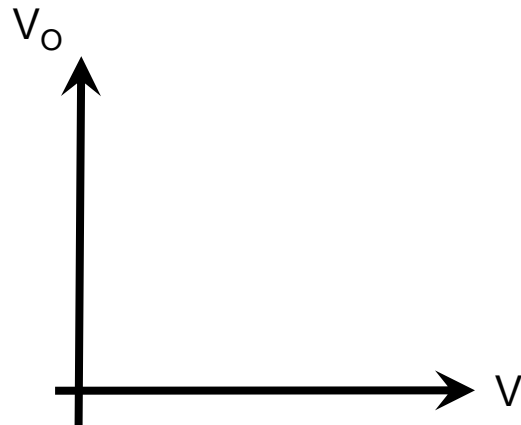
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.2 Curva de Transferencia y Respuesta Temporal

Es la representación gráfica de la tensión de salida en función de la tensión de entrada.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

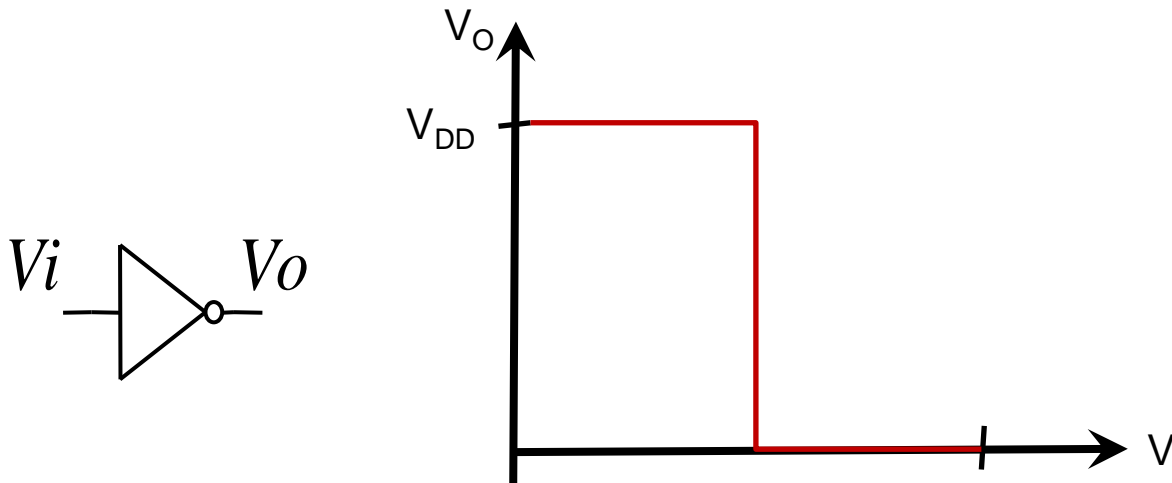
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.2.1 Curva de Transferencia Ideal

Es la curva de transferencia que se esperaría encontrar en el caso de funcionamiento ideal de una puerta lógica

Para un inversor esperaríamos encontrar algo como esto:



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

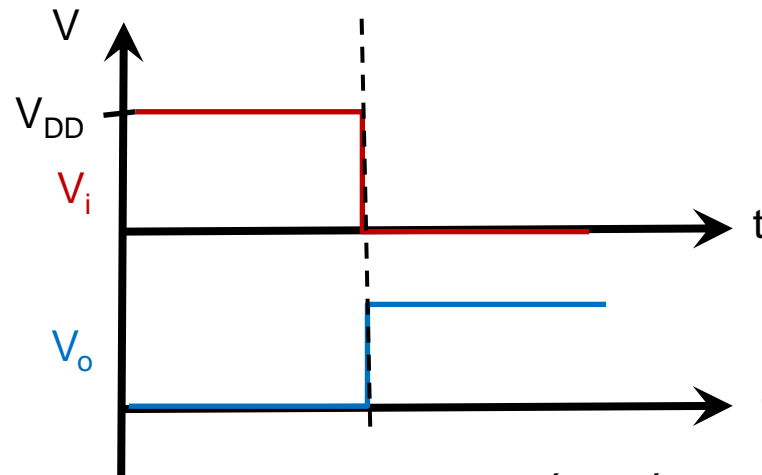
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## 7.2.2 Curva de Respuesta Temporal

Es la curva que muestra, para una puerta lógica, la tensión de salida en función del tiempo cuando cambian las entradas en el tiempo

Para un inversor esperaríamos encontrar algo como esto:



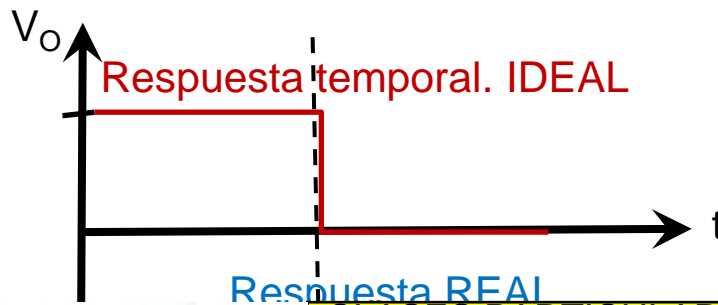
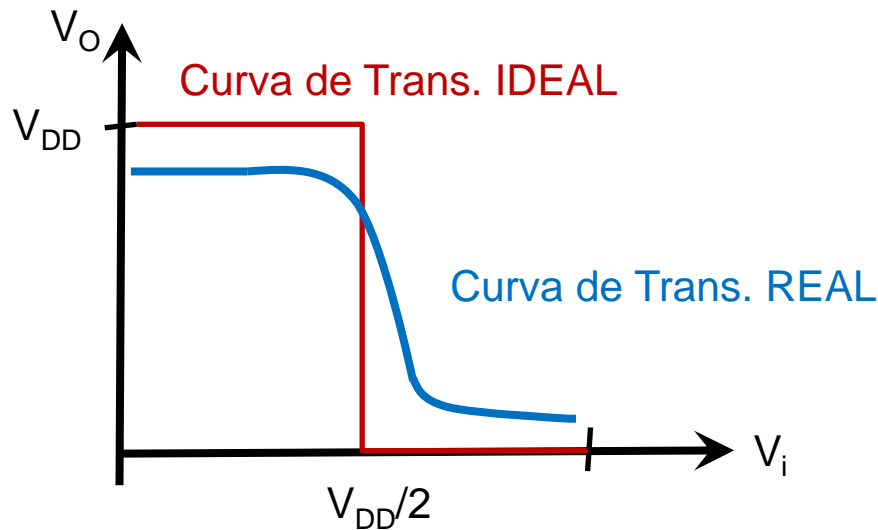
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## 7.2.2 Curvas Reales



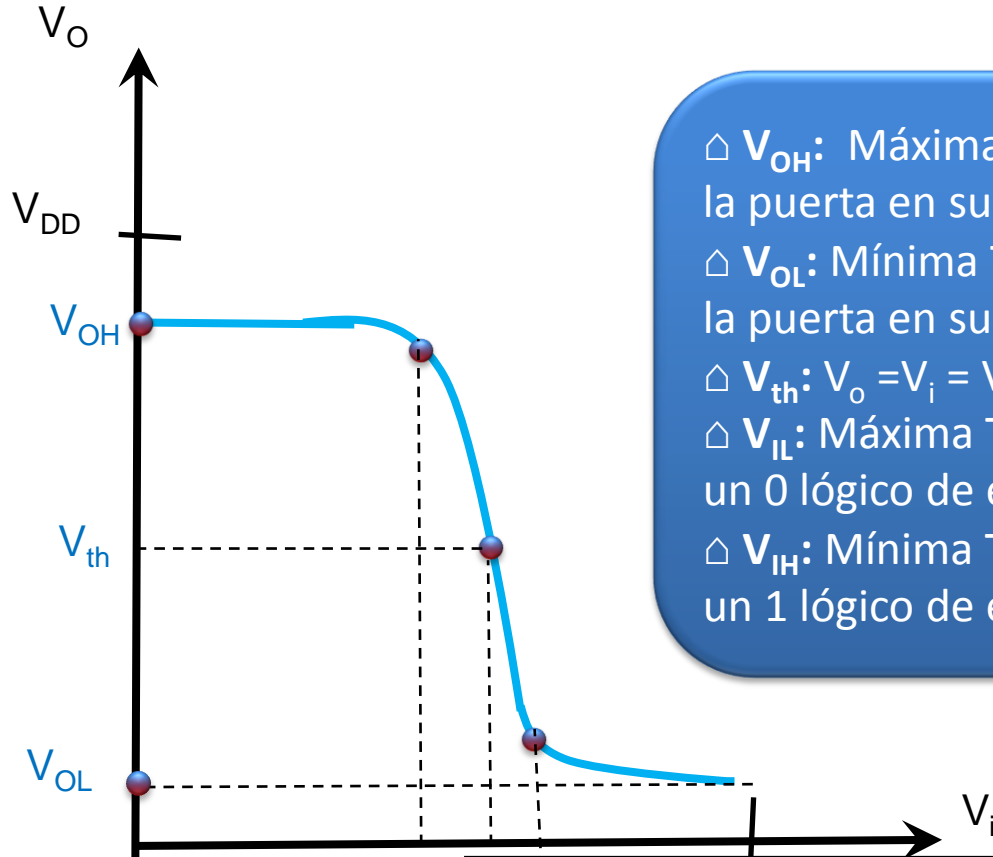
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.2.3 Puntos Característicos de la Curva de Transferencia



- △  $V_{OH}$ : Máxima Tensión que puede proporcionar la puerta en su salida
- △  $V_{OL}$ : Mínima Tensión que puede proporcionar la puerta en su salida
- △  $V_{th}$ :  $V_o = V_i = V_{th}$
- △  $V_{IL}$ : Máxima Tensión que podemos considerar un 0 lógico de entrada
- △  $V_{IH}$ : Mínima Tensión que podemos considerar un 1 lógico de entrada

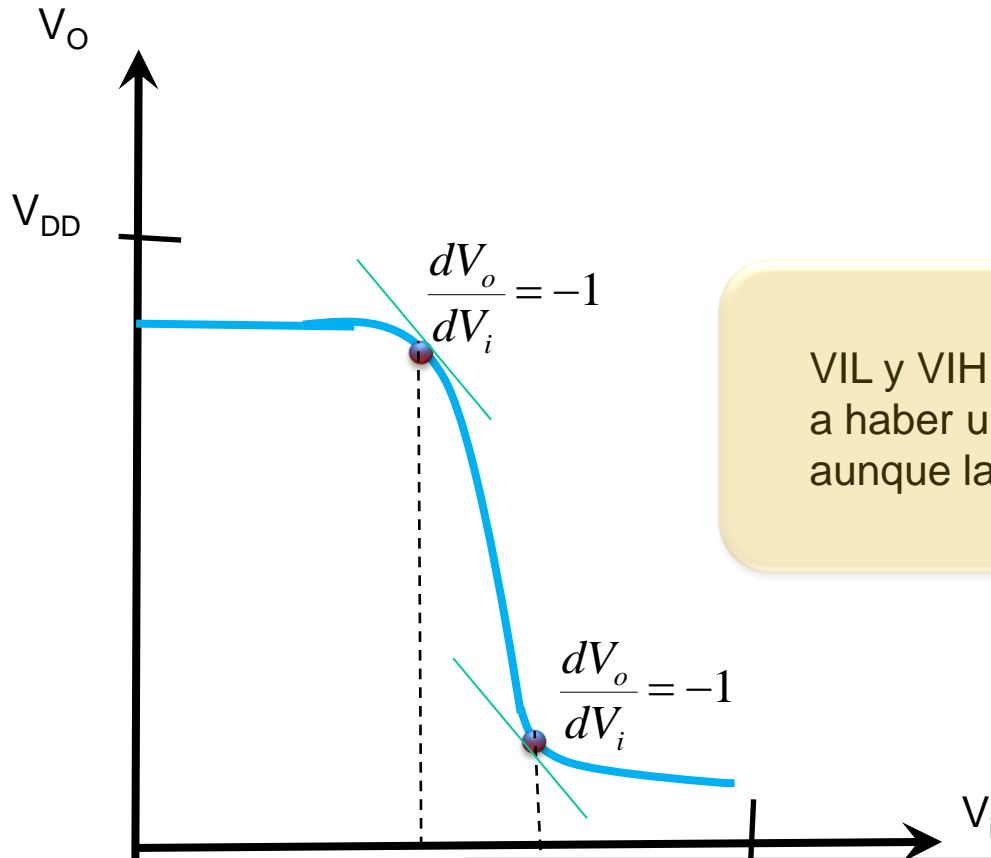
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.2.3 Puntos Característicos de la Curva de Transferencia



VIL y VIH son los puntos en los que empieza a haber un cambio apreciable en la salida aunque la entrada cambie poco

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## 7.2.4 Márgenes de Ruido, ancho de transición y Excursión Lógica (NM, TW $V_I$ )

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

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

$$NM \equiv \text{Min}(NM_H, NM_L)$$

$$TW \equiv V_{IH} - V_{IL}$$

$$V_I \equiv V_{OH} - V_{OL}$$

- △ **NM**: Margen de Ruido
- △ **TW**: Ancho de Transición
- △  **$V_I$** : Excursión Lógica

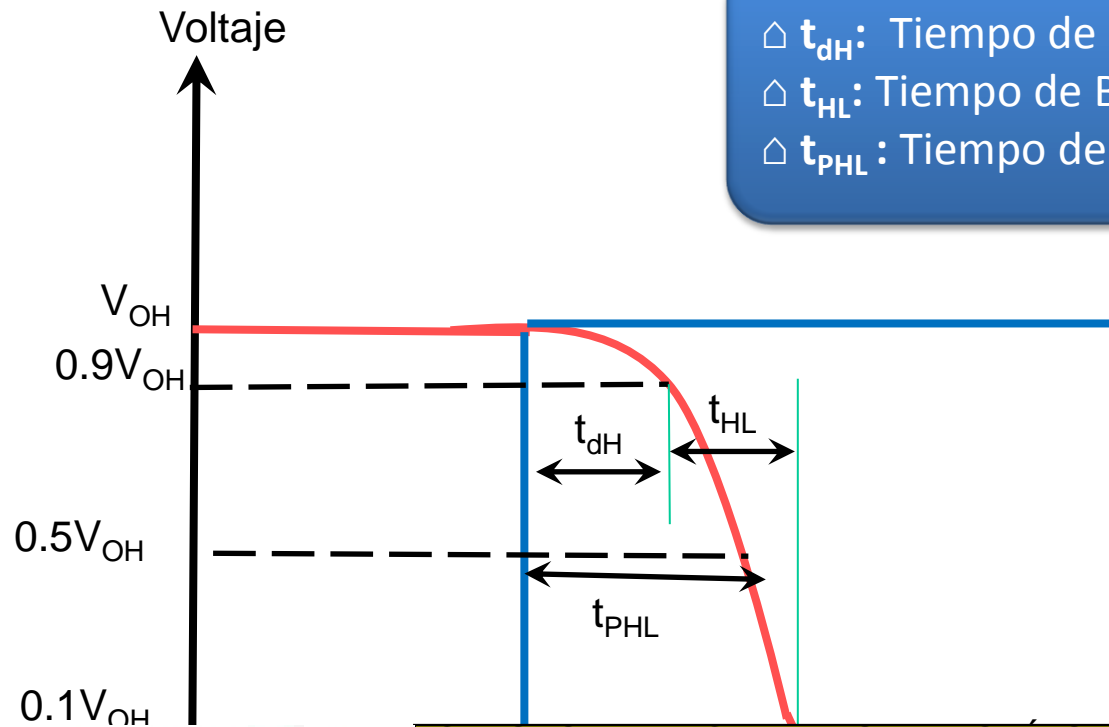
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.2.5 Tiempos característicos de la respuesta temporal



- △  $t_{dH}$ : Tiempo de Retraso de estado alto
- △  $t_{HL}$ : Tiempo de Bajada
- △  $t_{PHL}$ : Tiempo de Propagación alto-bajo

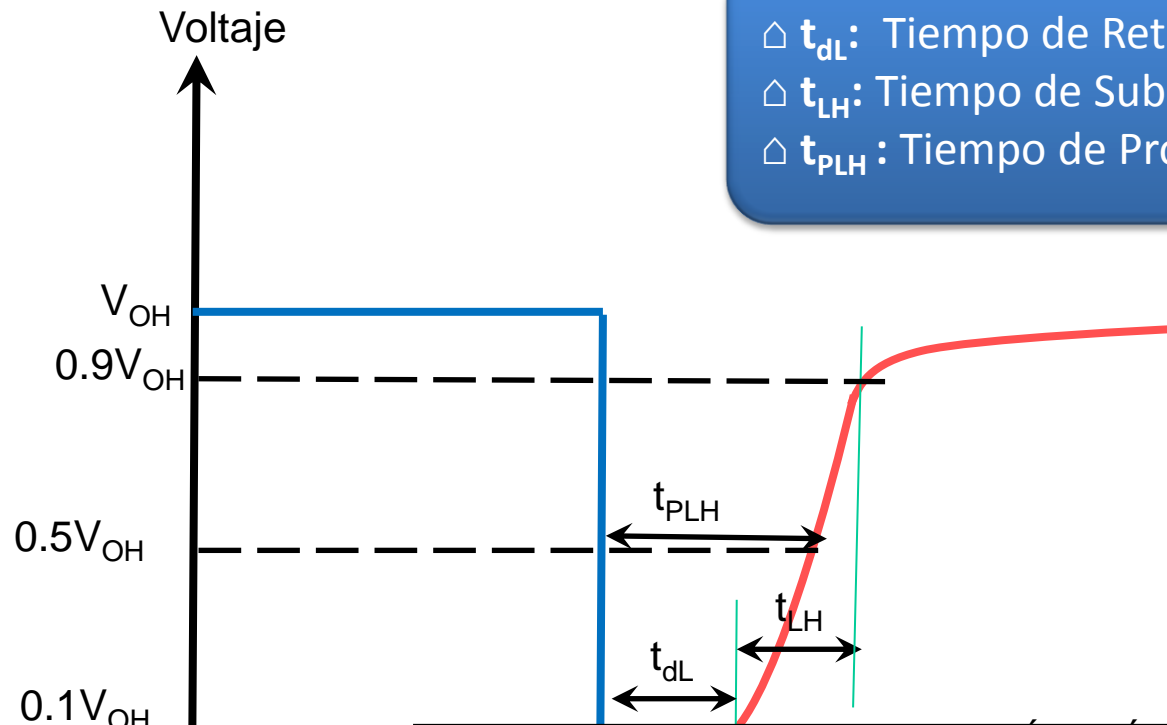
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.2.5 Tiempos característicos de la respuesta temporal



- △  $t_{dL}$ : Tiempo de Retraso de estado bajo
- △  $t_{LH}$ : Tiempo de Subida
- △  $t_{PLH}$ : Tiempo de Propagación bajo-alto

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

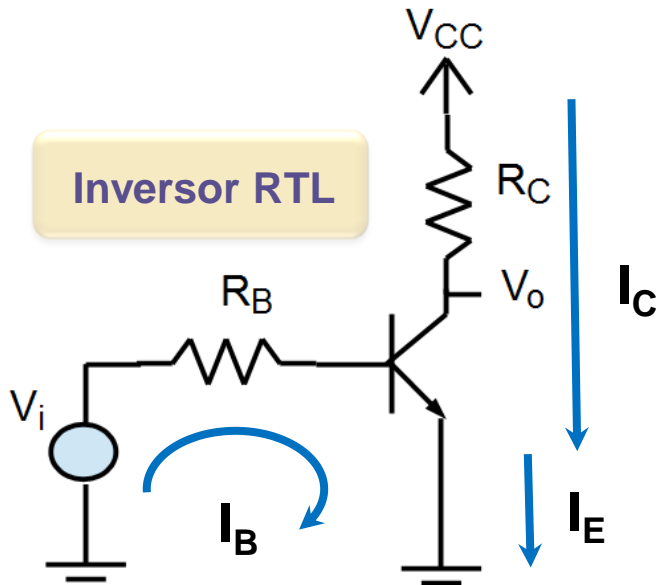
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.3 Familia RTL. Inversor

RTL -> Resistor Transistor Logic

Inversor RTL



Ecuaciones de Nudos y Mallas

$$V_i = R_B \cdot I_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_o = V_{CE}$$



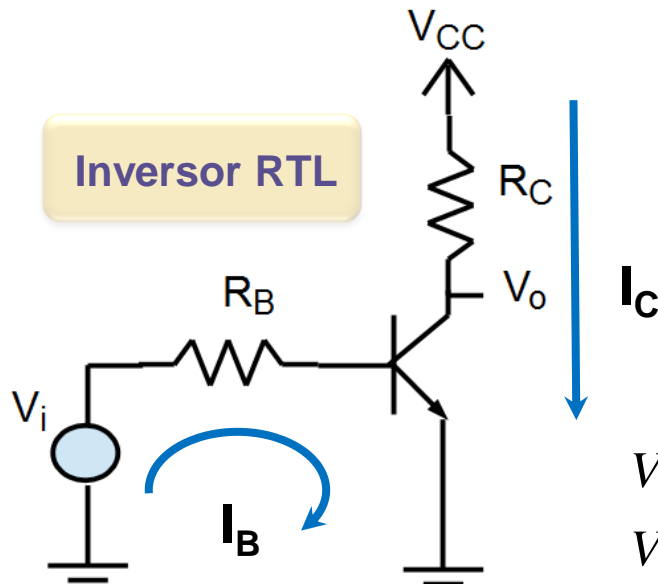
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.3.1 Función de Transferencia del Inversor RTL



Transistor cortado si:

$$V_i < V_{BEon} \Rightarrow I_B = 0 \Rightarrow \textit{Transistor off}$$

$$I_C = 0 \Rightarrow V_o = V_{CE} = V_{CC}$$

Transistor saturado si:

$$V_i \uparrow \Rightarrow I_B \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow V_{CE} \downarrow \Rightarrow \textit{Transistor SAT} \Rightarrow$$

$$V_o = V_{CESat} \approx 0.2V$$

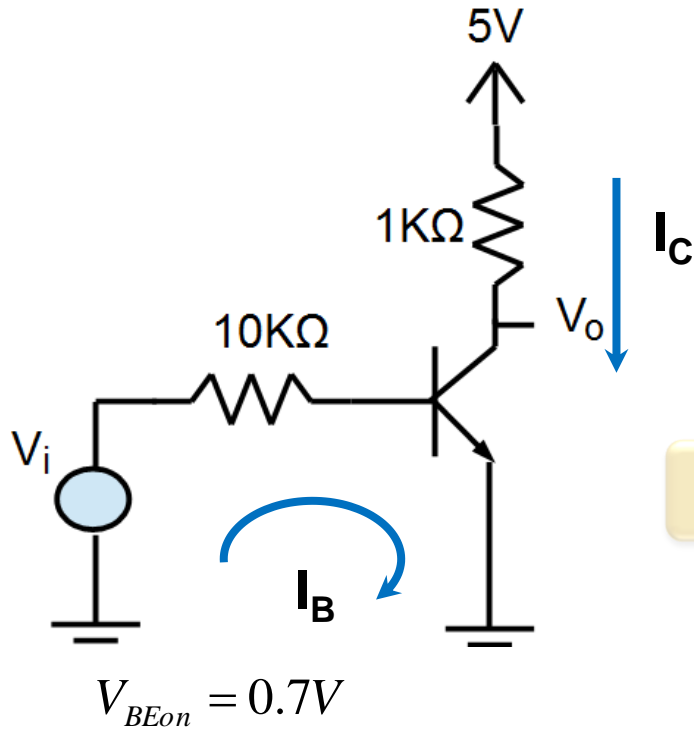
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.3.2 Ejemplo de Cálculo de función de transferencia del Inversor RTL



$$V_i < 0.7V \Rightarrow I_B = 0 \Rightarrow \text{Transistor off}$$

$$I_C = 0 \Rightarrow V_o = V_{CE} = 5V.$$

Hagamos  $V_i > 0.7V$  y supongamos que Q está en Z. Lineal:

$$I_B = \frac{V_i - 0.7}{R_B} \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = \beta \frac{V_i - 0.7}{R_B}$$

$$V_o = 5 - I_C \cdot R_C = 5 - \beta \frac{R_C}{R_B} (V_i - 0.7) = 9.9 - 7V_i$$

Seguiremos en Z. Lineal siempre que  $V_o > V_{CESat}$

$$V_o = 9.9 - 7V_i > 0.2V$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

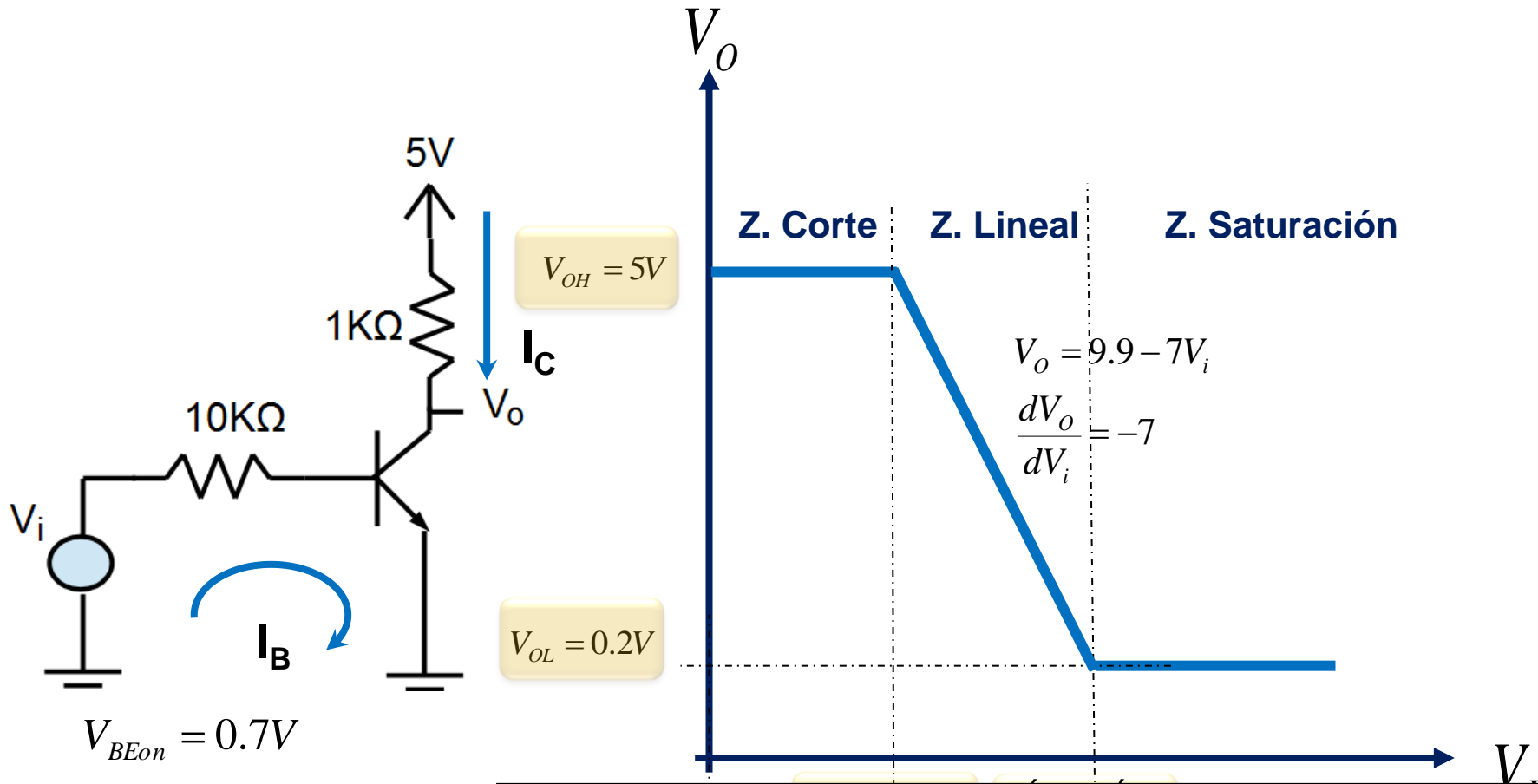
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Para valores  $V_i > 1.00V$

Q está en Z. Saturación

$$V_o = 0.2V$$

# 7.3.2 Ejemplo de Cálculo de función de transferencia del Inversor RTL



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

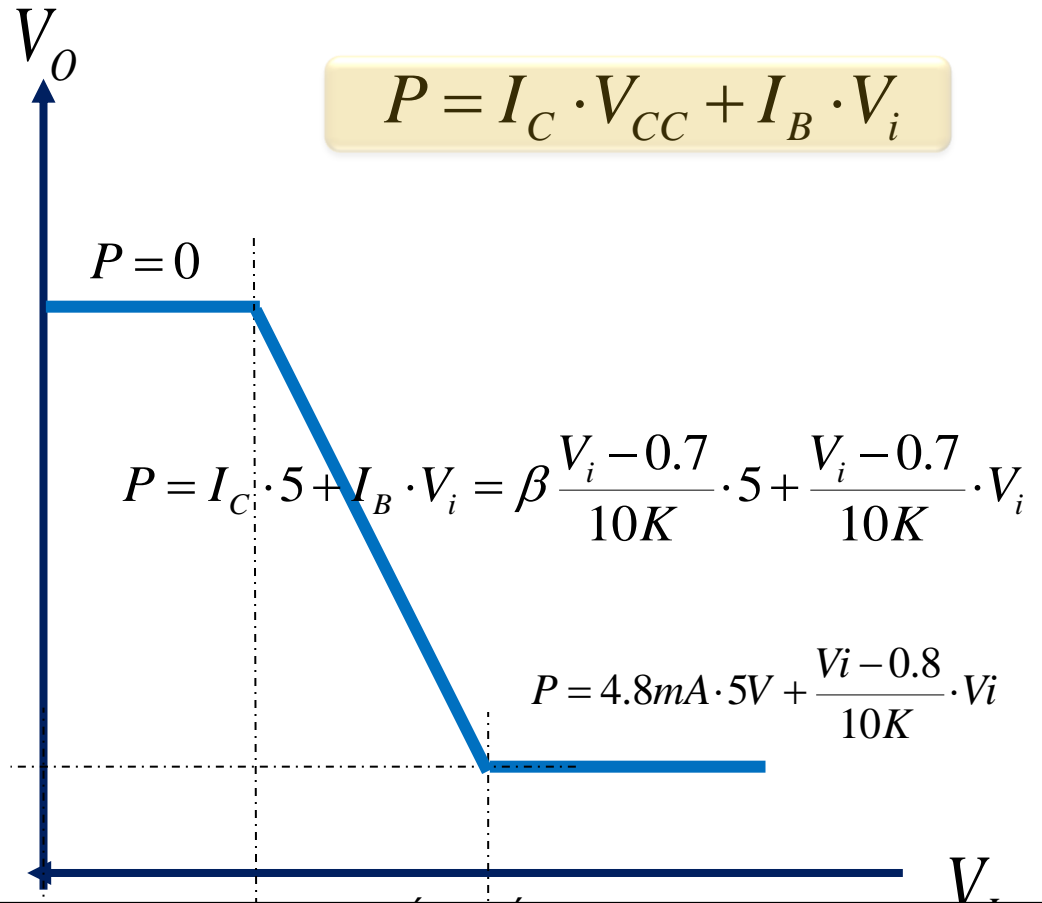
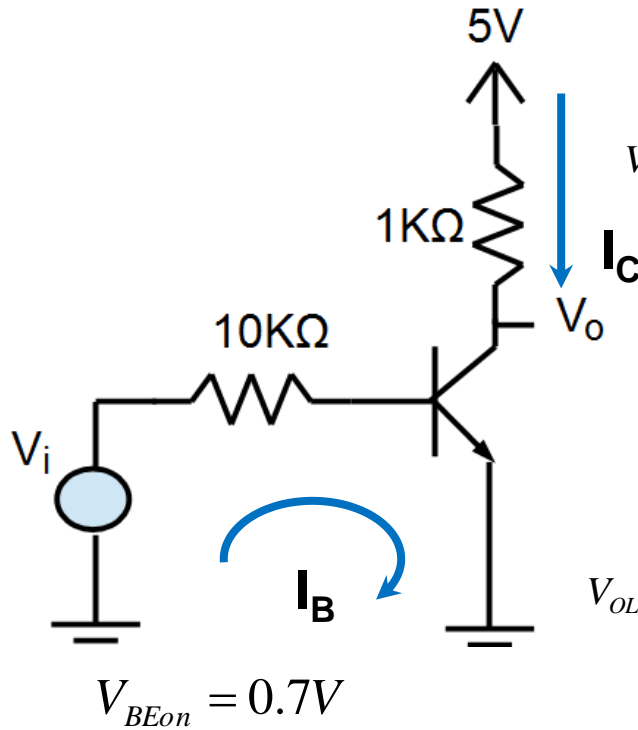
$V_i = V_o = V_{BEon} \Rightarrow V_i = 1.24V$

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



# 7.3.3 Potencia consumida por el Inversor

## RTL



$$P = I_C \cdot V_{CC} + I_B \cdot V_i$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

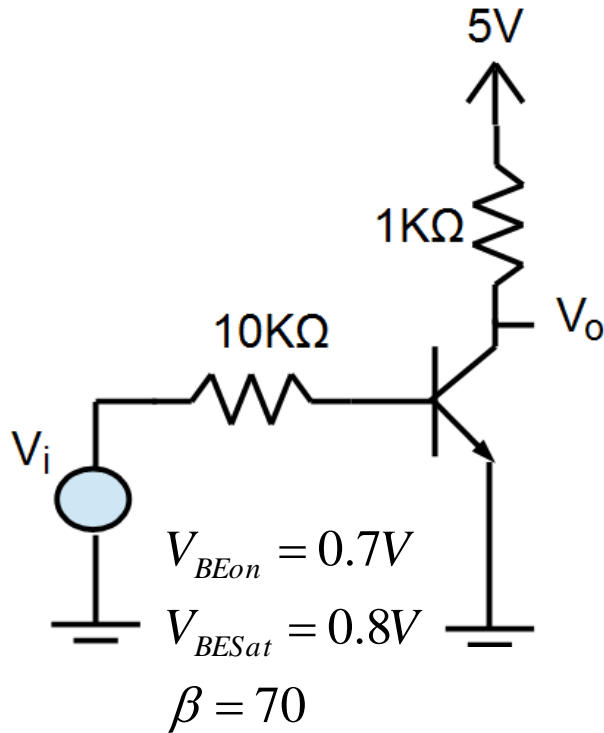
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$V_{in} = V_o = V_{OL} \Rightarrow V_{in} = 1.25V$$



# 7.3.4 Márgenes de Ruido, Fan-Out

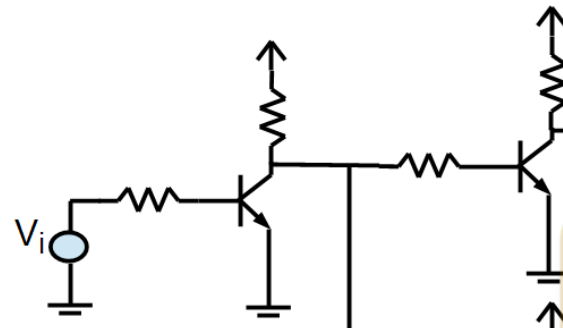


$$NM_H = V_{OH} - V_{IH} = 5 - 1.39 = 3.61V$$

$$NM_L = V_{IL} - V_{OL} = 0.7 - 0.2 = 0.5V$$

$$NM = 0.5V$$

△ **Fan-Out:** Máximo Número de Puertas del Mismo tipo que se pueden conectar a la salida de una dada



El número Max. de puertas, será aquel que haga  $NM_H=0$

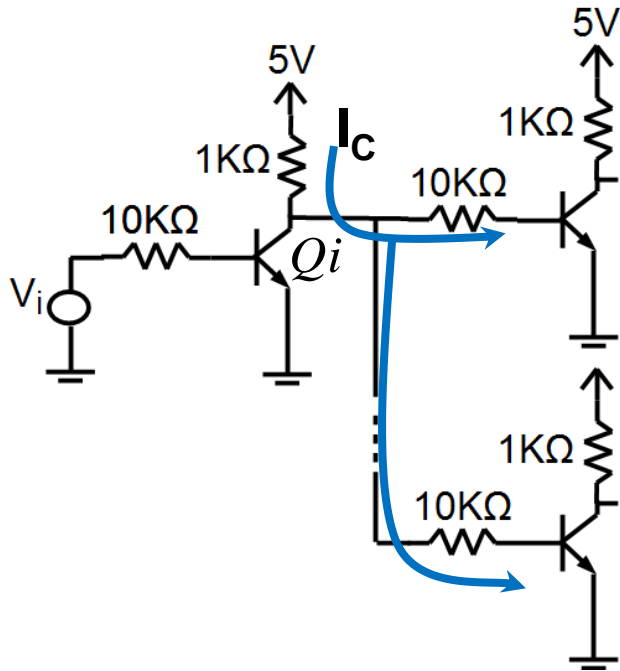
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## 7.3.4 Márgenes de Ruido, Fan-Out



$V_i = 0V. \Rightarrow Q_i \text{ off}$

Pero el resto de Transistores estará saturado  
( ya que su entrada es un 1-lógico )

$$I_C = \frac{5 - 0.8}{R_C + \frac{R_B}{N}} \Rightarrow V_{OH} = 5 - I_C \cdot 1 = V_{IH} = 1.39V$$



$$I_C = \frac{5 - 0.8}{R_C + \frac{R_B}{N}} = 3.61 \Rightarrow N = 61.2$$

$$R_B = 10K\Omega$$

$$R_C = 1K\Omega$$

$$V_{BEon} = 0.7V$$

$$V_{CEsat} = 0.2V$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

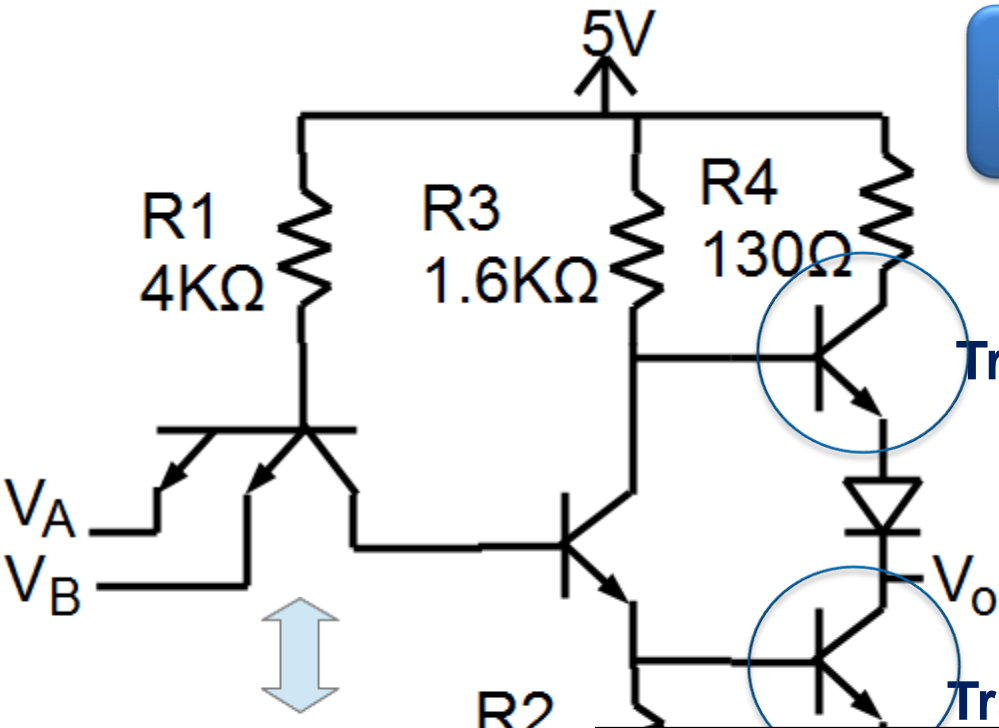
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.4 Familia TTL. Nand-2

TTL -> Lógica Transistor Transistor

Puerta Nand de 2 entradas



Transistor de Pull-Up

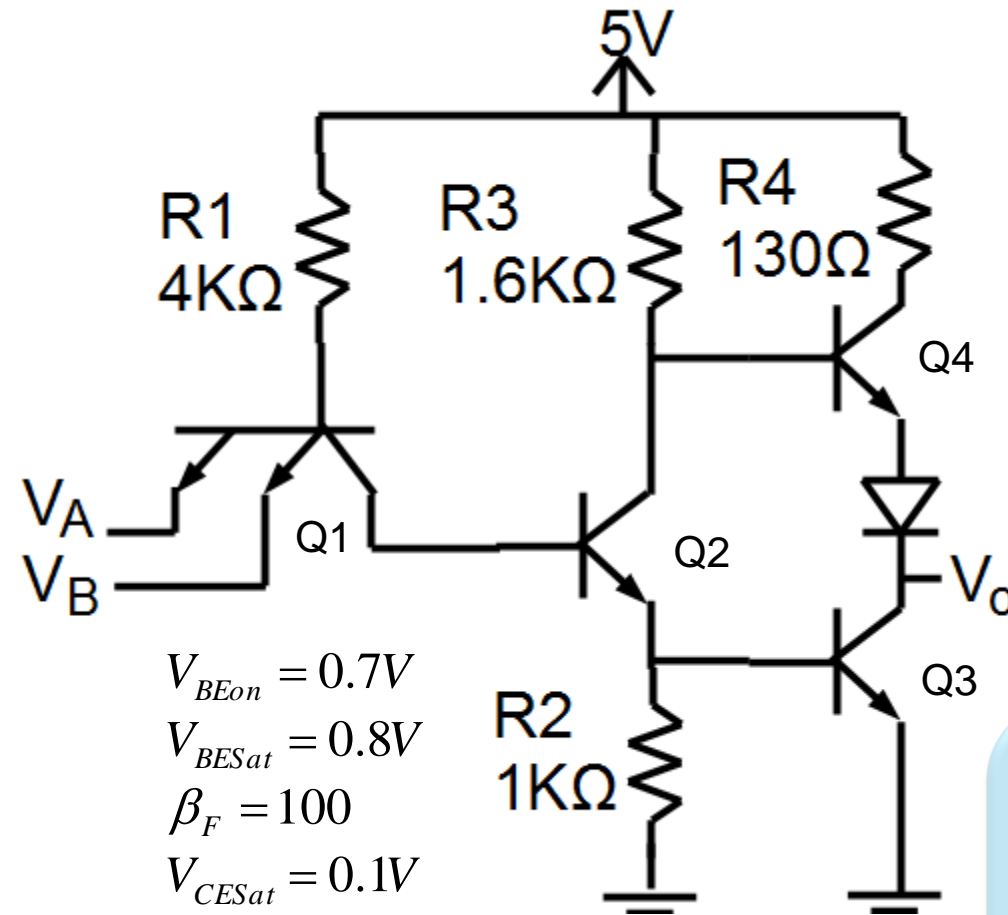
Transistor de Pull-Down



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

# 7.4.1 Análisis Nand-2 TTL



Si VA o VB son 0 V. → Q1 SAT  
 ( $V_{BEQ1}$  en directa y  $V_{BCQ1}$  en directa)

$V_{CEQ1} = 0.1$  →  $V_{B2} = 0.1 V.$

Q2 OFF → Q3 OFF

$V_{OH} = 5 - 2 \cdot V_{BEon} = 3.6 V.$

Si en algún momento VA o VB quedan a 0  
 Q2 y Q3 seguirán OFF y  $V_o = V_{OH}$  (NAND)

Si VA y VB son 0.6 V. →  $V_{B2} = 0.7 V.$

Q2 ON Q3 OFF

Mayores incrementos de VA o VB

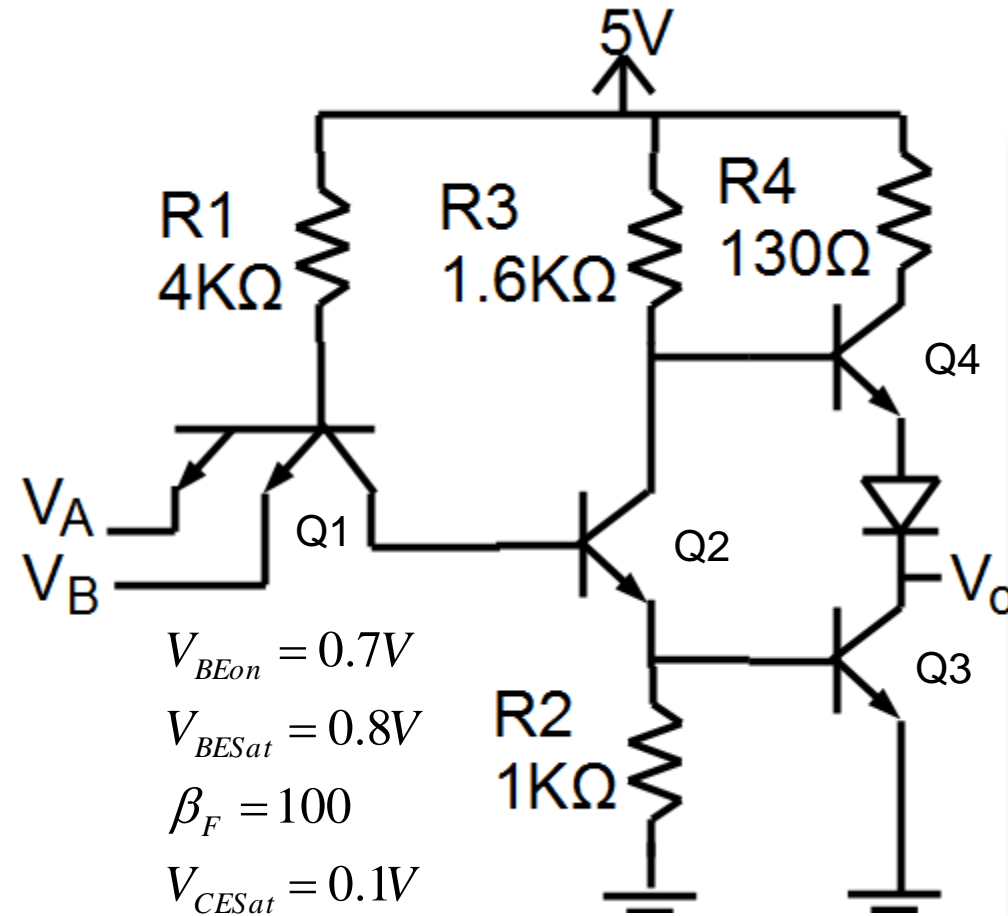
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

## 7.4.1 Análisis Nand-2 TTL



El siguiente cambio ocurre cuando Q3 ON ( $V_{B3} = 0.7V$ )

Hacemos un análisis  $\beta \rightarrow \infty$ :

$$V_{BE3} = 0.7V \Rightarrow I_{E2} = \frac{0.7}{1k\Omega} = 0.7mA$$

$$I_{C2} = I_{E2} \approx 0.7mA$$

$$V_{BE4} = 5 - 0.7mA \cdot 1.6k\Omega = 3.88V$$

$$V_O = V_{BE4} - 1.4 = 2.48V$$

Y eso pasa cuando VA o VB valen:

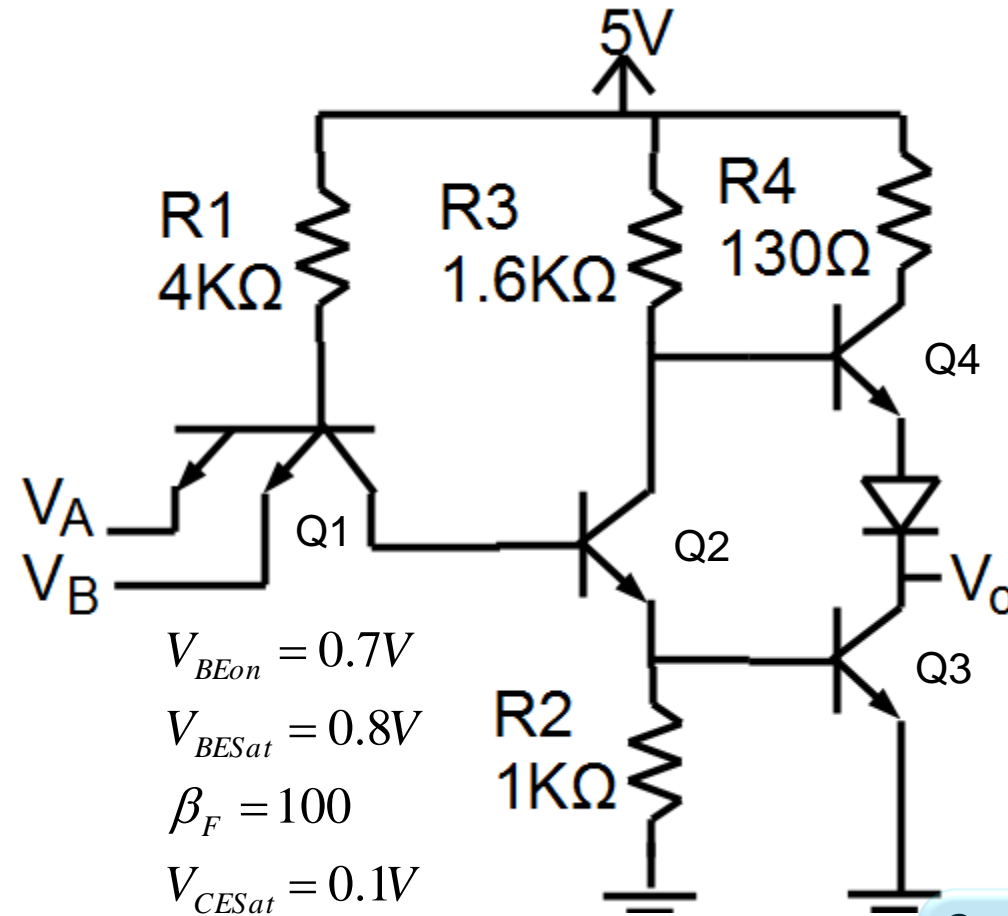
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## 7.4.1 Análisis Nand-2 TTL



El último cambio ocurre cuando Q3 SAT



$$V_o = 0.1 V$$

$$V_{CE2} = V_{B4} - V_{B3}$$

$$V_{B4} = 2V_{BEon} + 0.1$$

$$V_{B3} = 0.8V$$

$$V_{CE2} = 1.3V \Rightarrow Z. Lineal$$

$$V_{B2} = V_{BEon2} + V_{BESat3} = 1.5V$$

Para lo cual VA y VB deben valer:

$$V_i = 1.5V - V_{CESat1} = 1.4V$$

Cuando VA y VB alcanzan los 1.5V  $\rightarrow V_{CE1} = 0$

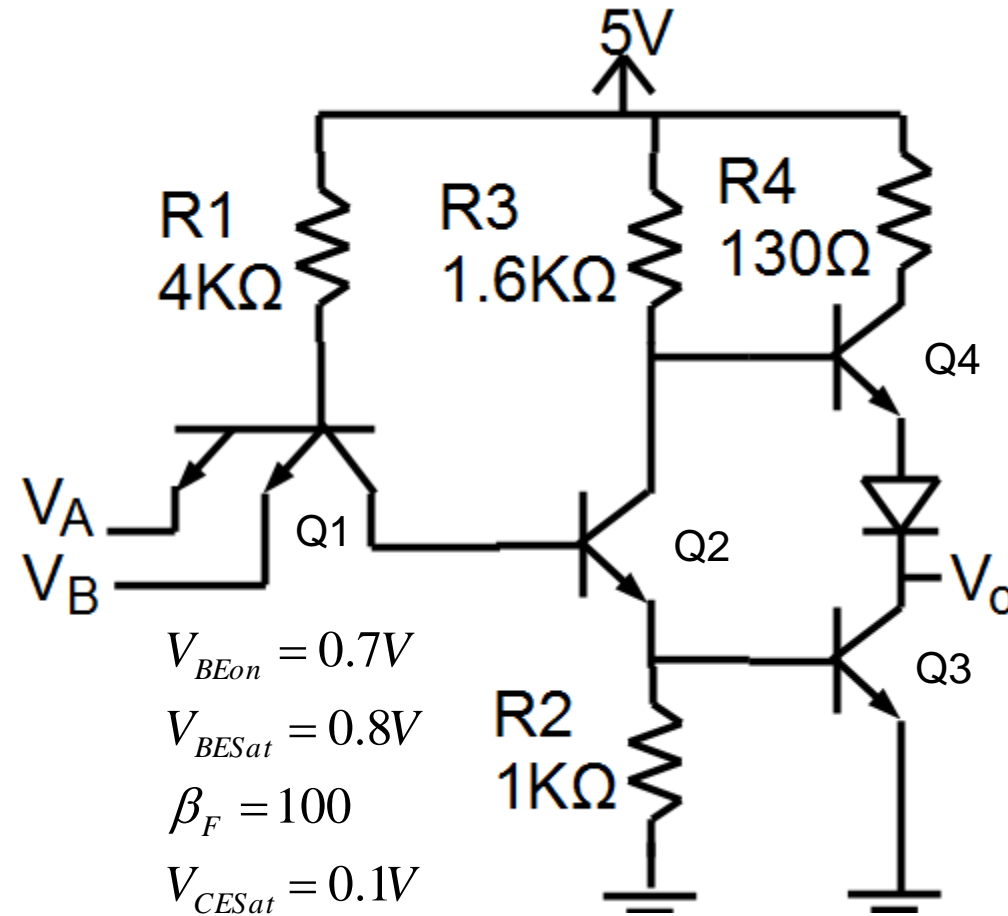
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## 7.4.1 Análisis Nand-2 TTL



Estaremos en Q1 SAT INV hasta que esté polarizada en inversa la unión  $V_{BE1}$ , sabiendo que:

$$V_{B1} = V_{BEon1} + V_{BEon2} + V_{BESat3} \rightarrow$$

$$V_{B1} = 0.7 + 0.7 + 0.8 = 2.2V$$

Eso pasará cuando:

$$V_i \geq 2.2V$$

A partir de ahí, Q1 **Z. LIN INV**

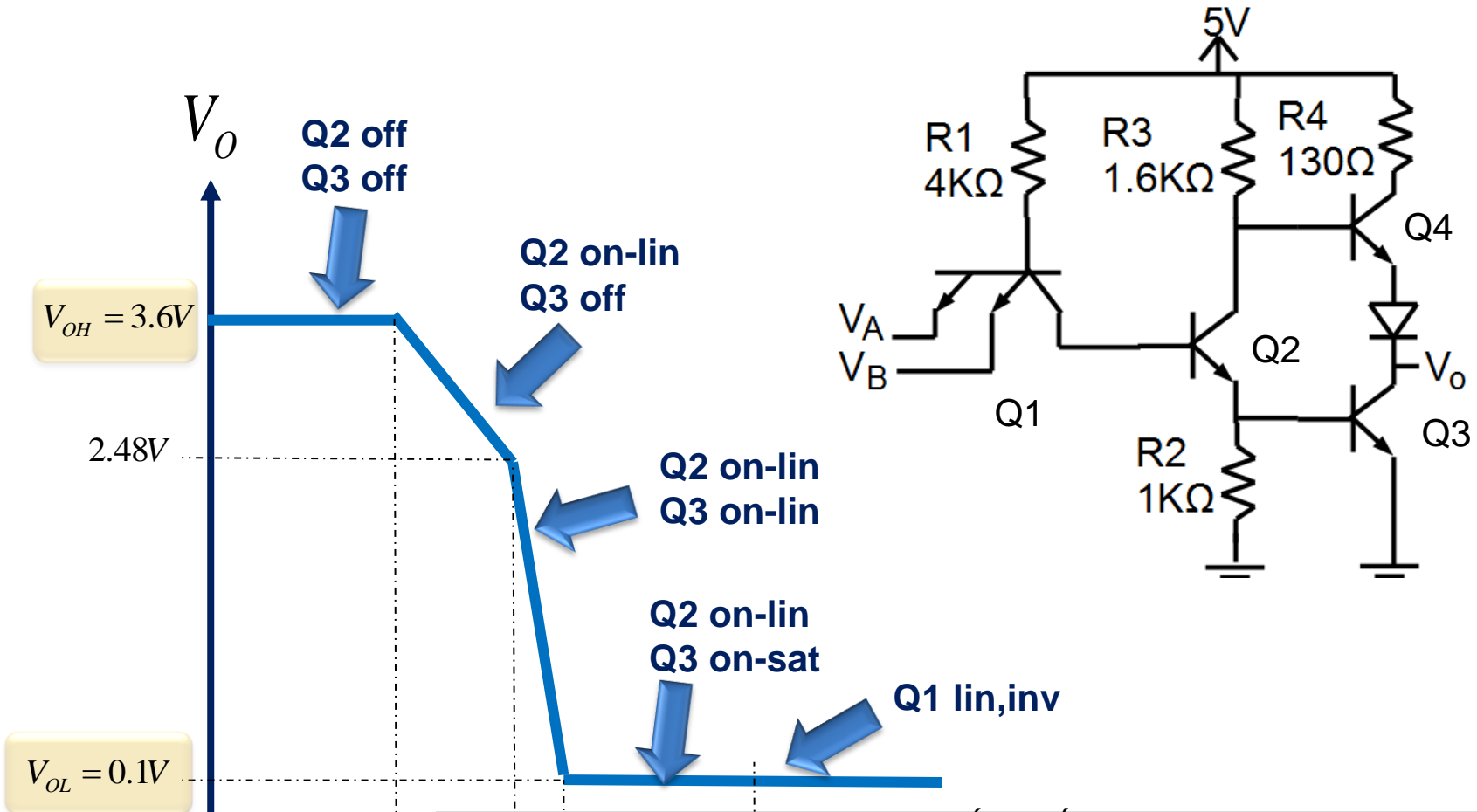
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.4.2 Curva de Transferencia Nand-2 TTL



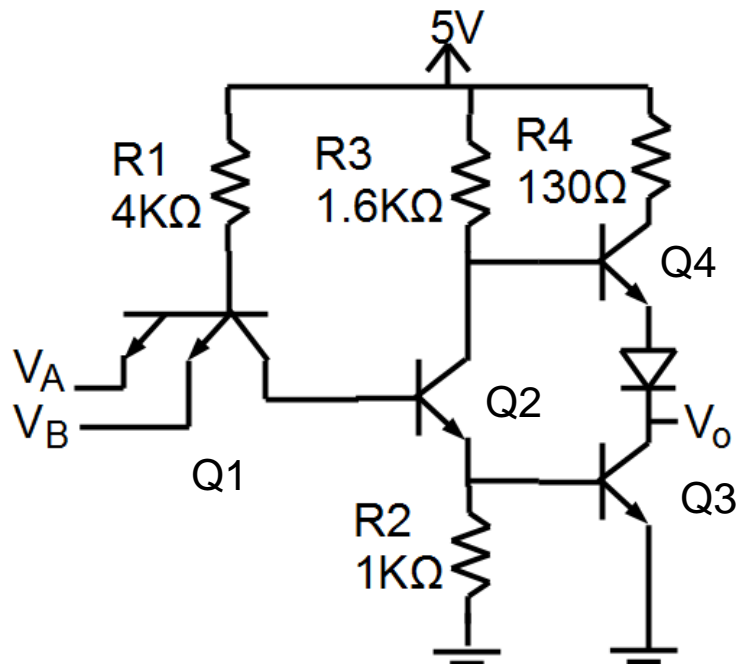
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## 7.4.2 Curva de Transferencia Nand-2 TTL



$$NM_H \equiv V_{OH} - V_{IH} = 3.6 - 1.4 = 2.2 V$$

$$NM_L \equiv V_{IL} - V_{OL} = 0.6 - 0.1 = 0.5 V$$

$$NM \equiv \text{Min}(NM_H, NM_L) = 0.5 V$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## 7.4.2 Resumen TTL y RTL

- $VOH < VDD$  (Nand-2)
- $VOL > 0$
- Consumo de potencia (con salida estable)
- Existencia de Fan-Out
- Circuitos muy rápidos (I elevadas)

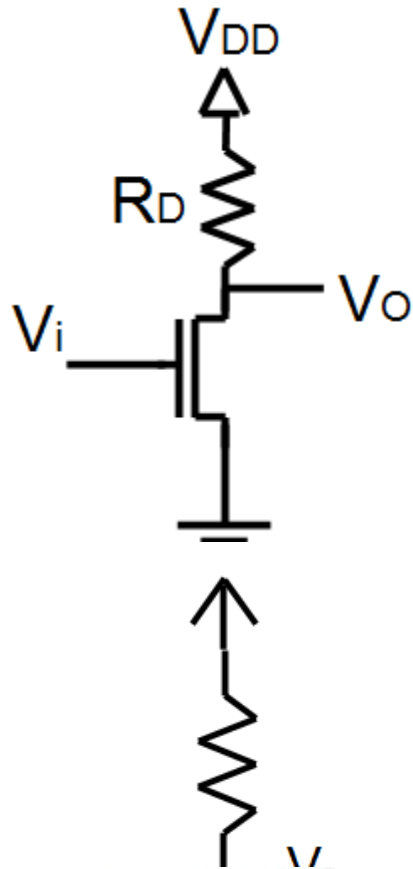
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## 7.5 Familia NMOS. Inversor



Compuesta por Resistencias y Transistores NMOS

Normalmente, son transistores NMOS de enriquecimiento, pero no siempre

Son más sencillos de fabricar que las familias bipolares

Fan-Out infinito ( $I_G=0$ )

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

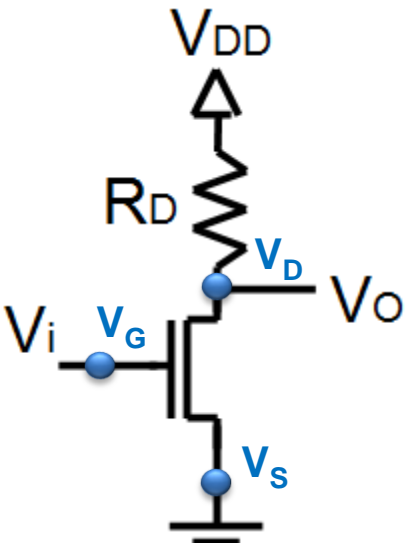
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

# 7.5 Familia NMOS. Inversor

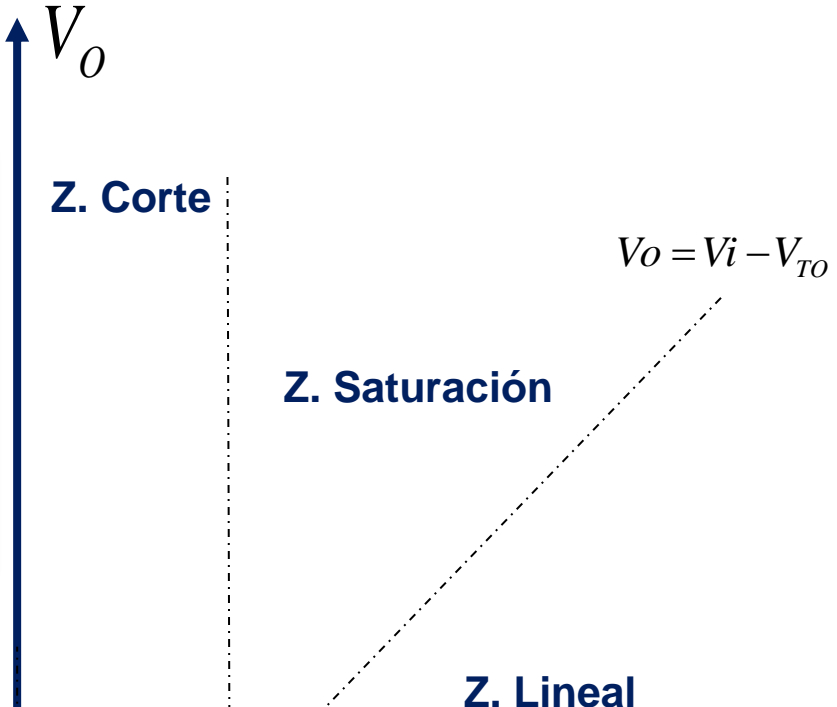
El transistor NMOS puede pasar por todas sus zonas de operación dependiendo de los valores de  $V_i$  y  $V_o$



$$\left. \begin{array}{l} V_{GS} > V_{TO} \\ V_i > V_{TO} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Transistor ON}$$
  

$$\left. \begin{array}{l} V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TO} \\ V_o \geq V_i - V_{TO} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Transistor SAT}$$
  

$$\left. \begin{array}{l} V_{DS} \leq V_{GS} - V_{TO} \\ V_o \leq V_i - V_{TO} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Transistor LIN}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

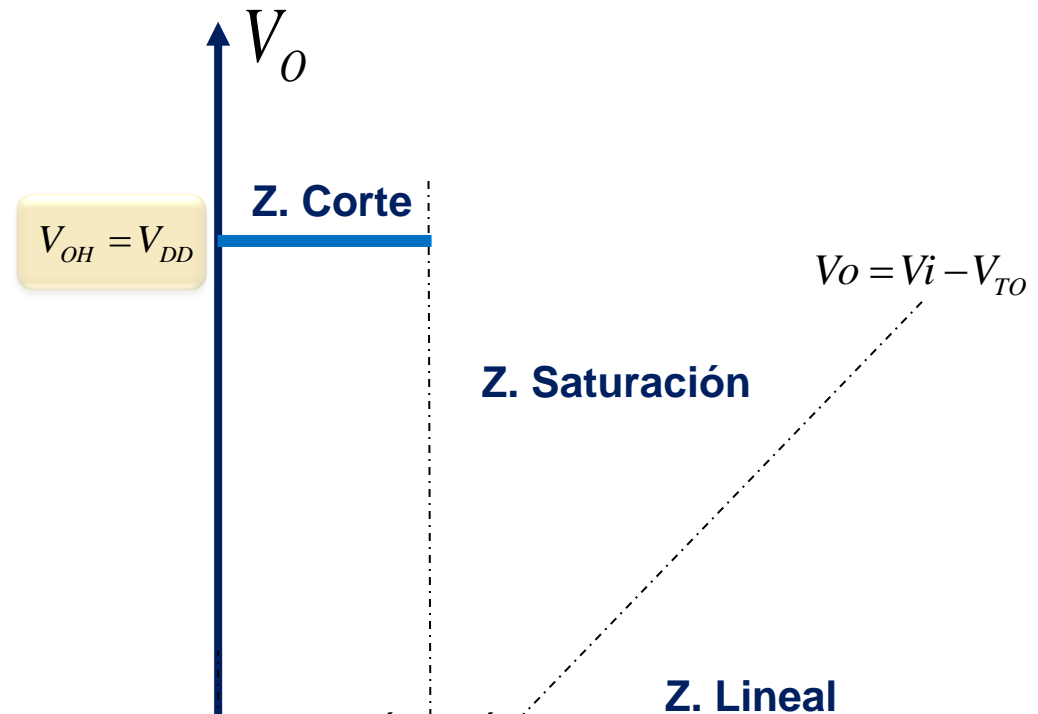
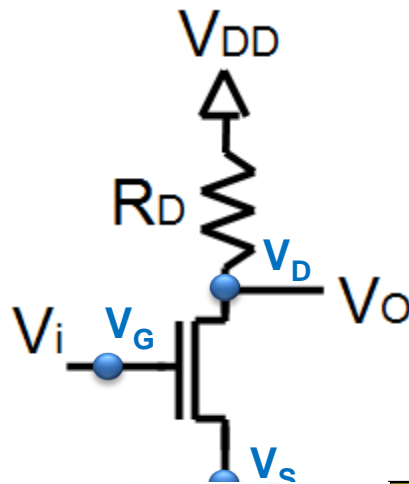
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

# 7.5.1 Función de Transferencia del Inversor NMOS

$$V_i < V_T \Rightarrow$$

Transistor OFF  $\Rightarrow$

$$I_D = 0 \Rightarrow V_O = V_{DD}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

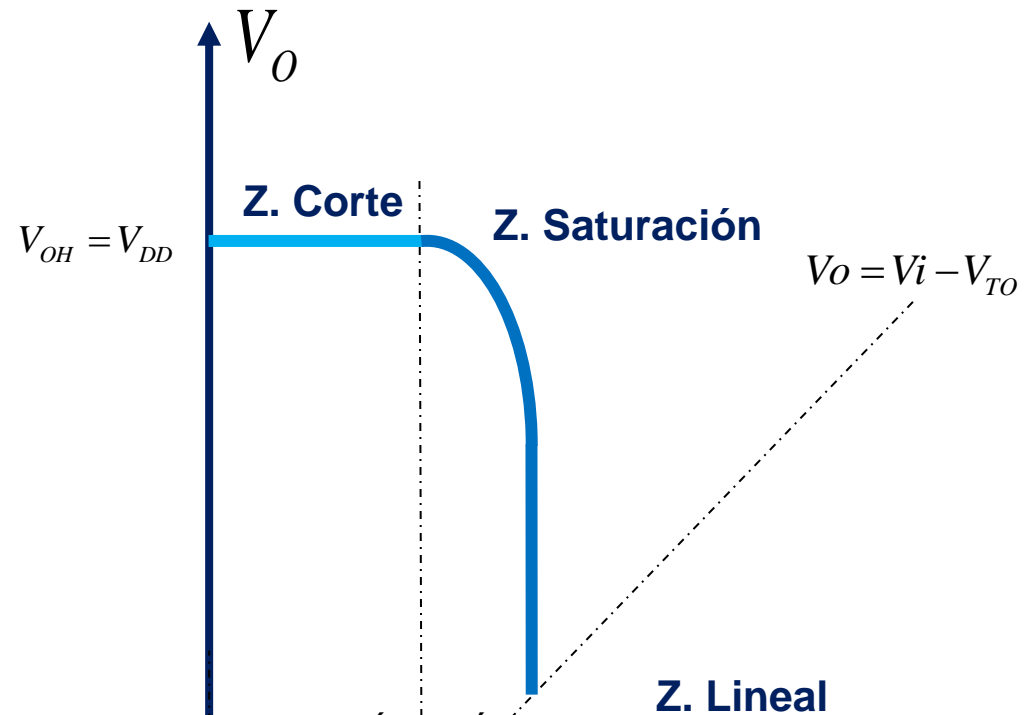
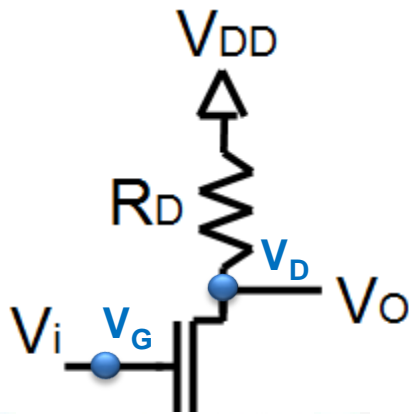
# 7.5.1 Función de Transferencia del Inversor NMOS

$$V_i > V_T \Rightarrow$$

Transistor ON

Si  $V_o > V_i - V_T \Rightarrow$  Transistor SAT

$$I_R = I_D \Rightarrow \frac{V_{DD} - V_o}{R_D} = \frac{\beta_n}{2} (V_i - V_T)^2$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

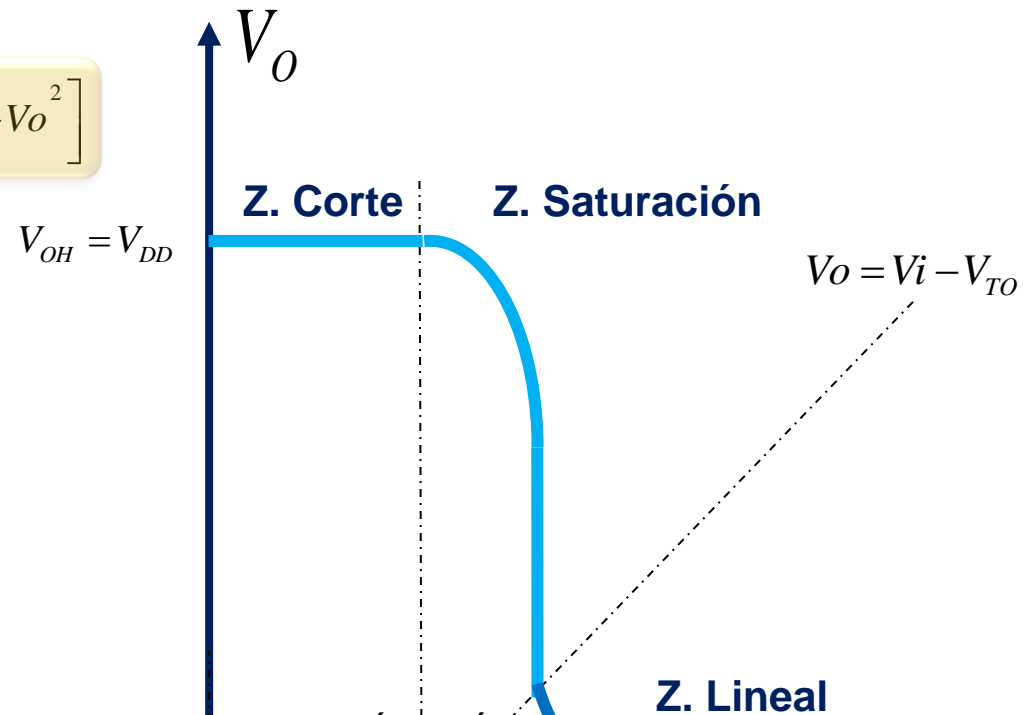
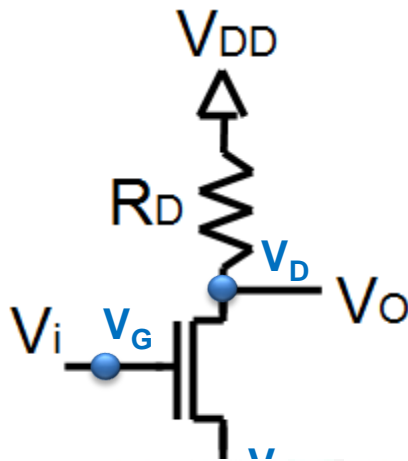
# 7.5.1 Función de Transferencia del Inversor NMOS

$$V_i > V_T \Rightarrow$$

Transistor ON

Si  $V_o < V_i - V_T \Rightarrow$  Transistor LIN

$$I_R = I_D \Rightarrow \frac{V_{DD} - V_o}{R_D} = \frac{\beta_n}{2} \left[ 2(V_i - V_T) \cdot V_o - V_o^2 \right]$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

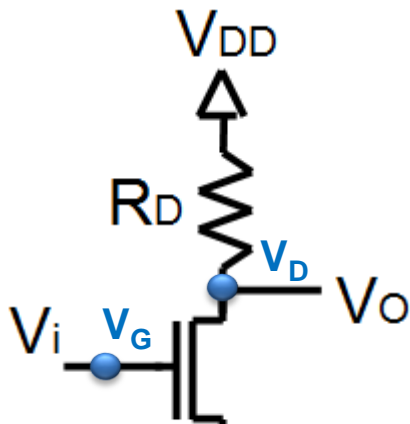
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

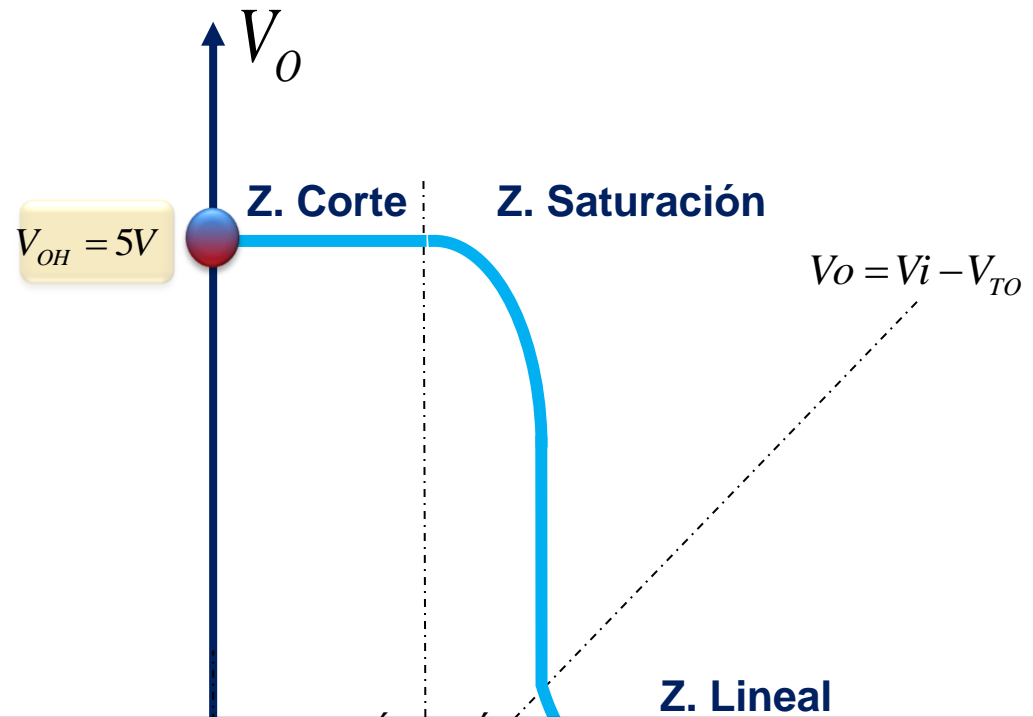
# 7.5.2 Ejemplo de Cálculo de Puntos característicos de la curva de transferencia del Inversor NMOS

Un inversor NMOS tiene:

- $R_D = 10 \text{ k}\Omega$
- $\beta_n = 500 \mu\text{A/V}^2$
- $V_{TO} = 1 \text{ V}$
- $V_{DD} = 5 \text{ V}$



$V_{OH}$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



# 7.5.2 Ejemplo de Cálculo de Puntos característicos de la curva de transferencia del Inversor NMOS

$$\underline{V_{OL}}$$

$$V_i = V_{DD}$$

$$V_i > V_T \Rightarrow$$

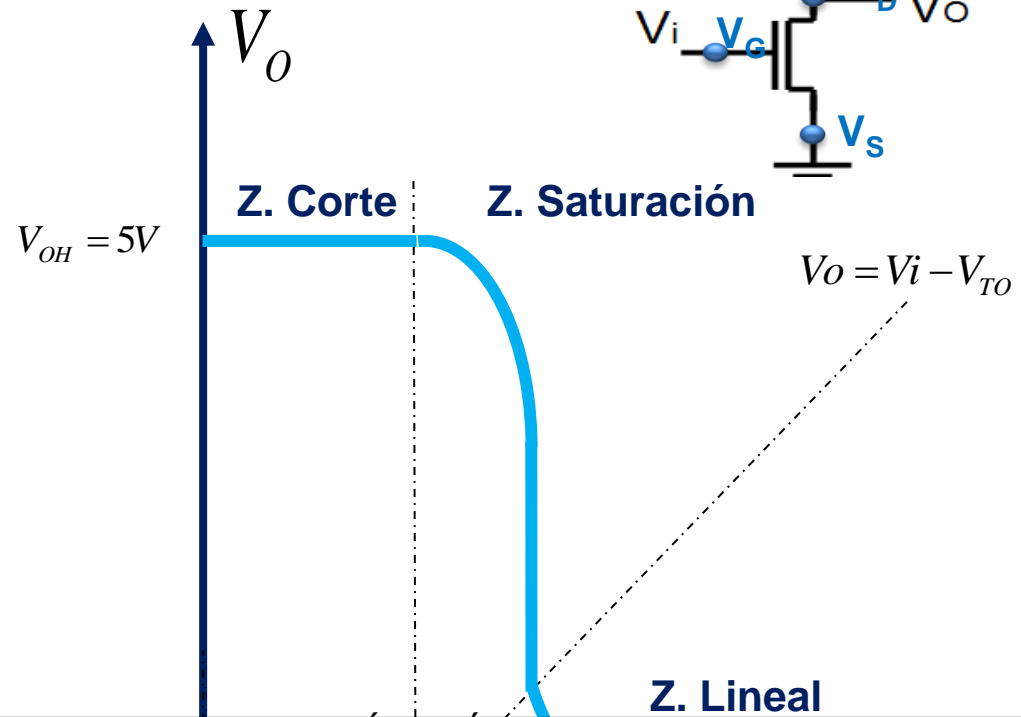
Transistor ON

Si  $V_o < V_i - V_T \Rightarrow$  Transistor LIN

$$I_R = I_D \Rightarrow \frac{V_{DD} - V_o}{R_D} = \frac{\beta_n}{2} \left[ 2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

$$\frac{V_{DD} - V_o}{R_D} = \frac{\beta_n}{2} \left[ 2(V_{DD} - V_T)V_o - V_o^2 \right]$$

$$\frac{5 - V_o}{10} = 0.25 \frac{mA}{V^2} \left[ 2(5 - 1)V_o - V_o^2 \right]$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.5.2 Ejemplo de Cálculo de Puntos característicos de la curva de transferencia del Inversor NMOS

$$\underline{V_{IH}}$$

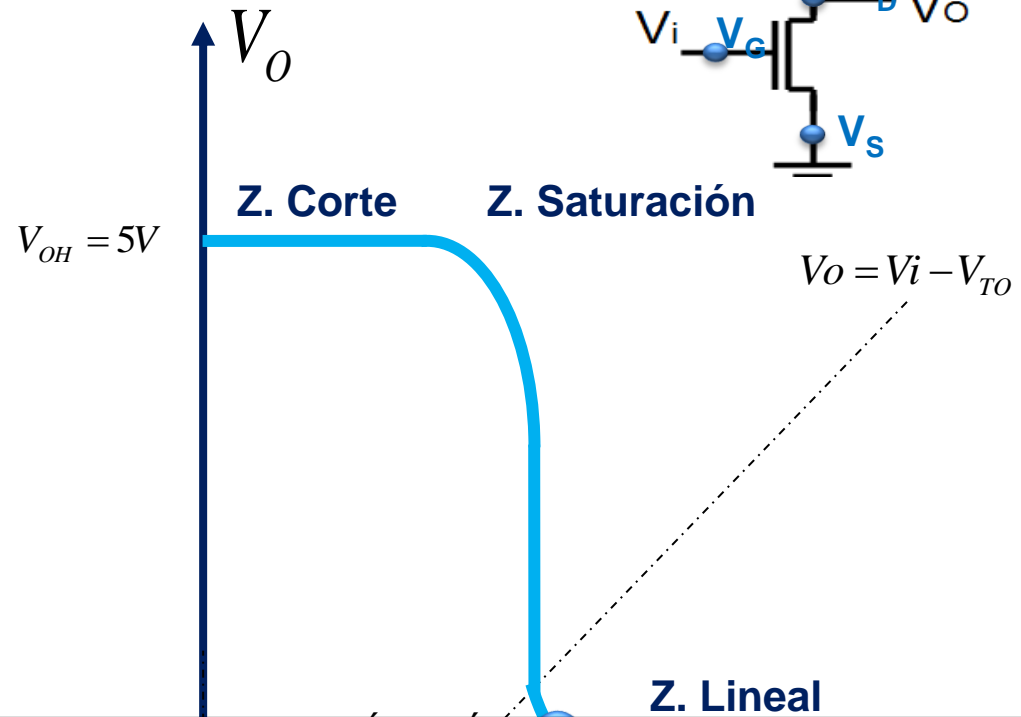
Si  $V_o < V_i - V_T \Rightarrow$  Transistor LIN

$$I_R = I_D \Rightarrow \frac{V_{DD} - V_o}{R_D} = \frac{\beta_n}{2} \left[ 2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

$$\frac{V_{DD} - V_o}{R_D} = \frac{\beta_n}{2} \left[ 2(V_i - V_T)V_o - V_o^2 \right]$$

$$\frac{5 - V_o}{10} = 0.25 \frac{mA}{V^2} \left[ 2(V_i - 1)V_o - V_o^2 \right] \quad (A)$$

$$\frac{dV_o}{dV_i} = -1 \quad (B)$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# 7.5.2 Ejemplo de Cálculo de Puntos característicos de la curva de transferencia del Inversor NMOS

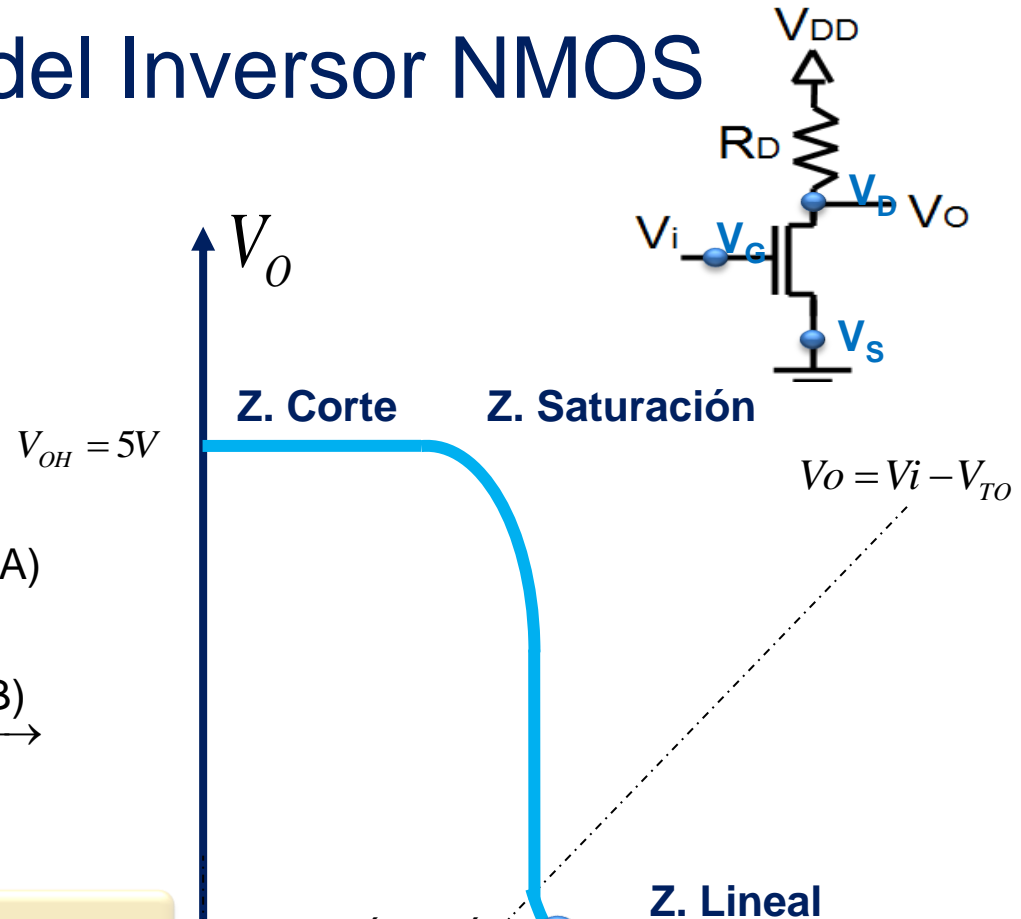
$$\underline{V_{IH}}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{5-V_o}{10} &= 0.25 \frac{mA}{V^2} \left[ 2(V_i-1)V_o - V_o^2 \right] \quad (A) \\ \frac{dV_o}{dV_i} &= -1 \quad (B) \end{aligned} \right\}$$

Para utilizar esto, derivamos los 2 lados de (A) respecto a  $V_i$  quedando:

$$\frac{-1}{10} \frac{dV_o}{dV_i} = 0.25 \left[ 2V_o + 2(V_i-1) \frac{dV_o}{dV_i} - 2V_o \frac{dV_o}{dV_i} \right] \rightarrow (B)$$

$$\frac{1}{10} = 0.25 [2V_o - 2(V_i-1) + 2V_o] \quad (C)$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.5.2 Ejemplo de Cálculo de Puntos característicos de la curva de transferencia del Inversor NMOS

$$\underline{V_{IL}}$$

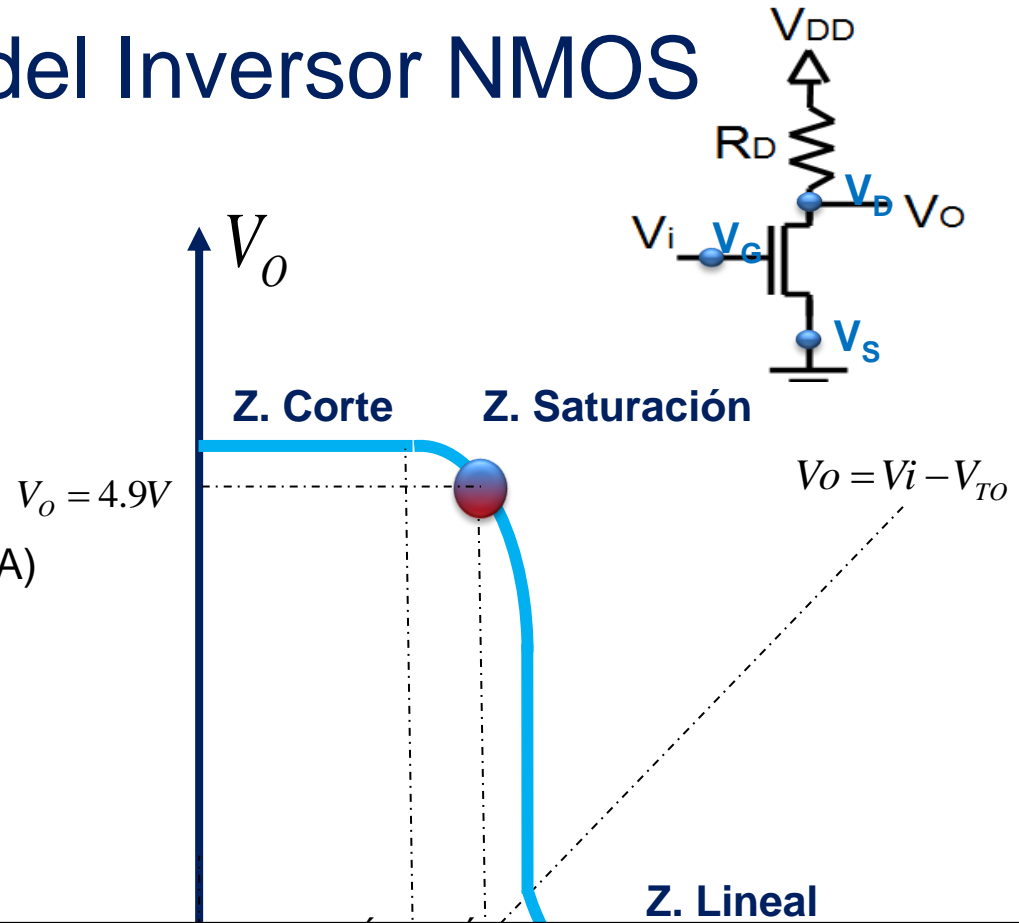
$$\frac{5 - V_o}{10} = \frac{\beta n}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = 0.25 \frac{mA}{V^2} (V_i - 1)^2 \quad (A)$$

$$\frac{dV_o}{dV_i} = -1 \quad (B)$$

Para utilizar esto, derivamos los 2 lados de (A) respecto a  $V_i$  quedando:

$$\frac{-1 dV_o}{10 dV_i} = \rightarrow (B)$$

$$\frac{1}{10} = 0.5(V_i - 1) \quad (C)$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.5.2 Ejemplo de Cálculo de Puntos característicos de la curva de transferencia del Inversor NMOS

$$\underline{V_{th}}$$

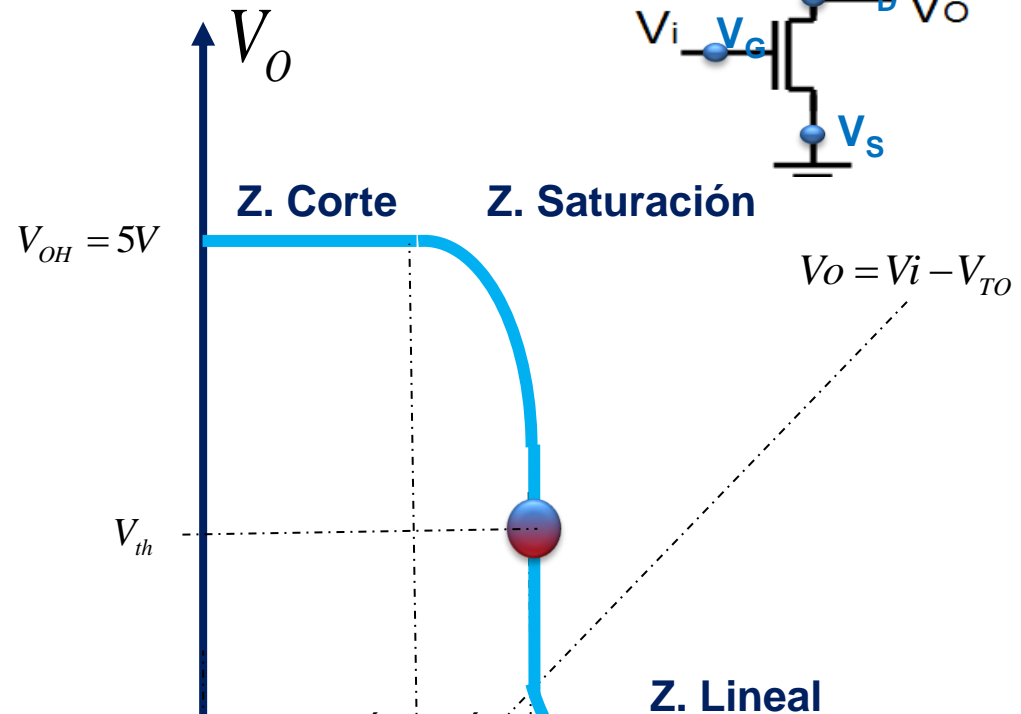
$$\frac{5 - V_O}{10} = \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = 0.25 \frac{mA}{V^2} (V_i - 1)^2 \Rightarrow$$

$$\frac{5 - V_{th}}{10} = 0.25 \frac{mA}{V^2} (V_{th} - 1)^2$$

Resolvemos la ec. de segundo grado quedando:

$$V_{th} = 2.08V$$

¡¡Comprobar Zona SAT!!



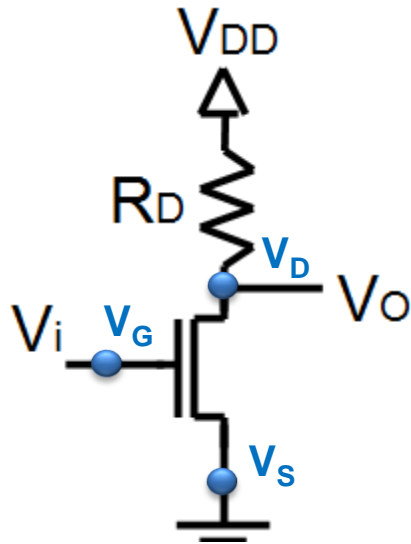
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## 7.5.3 Márgenes de Ruido del Inversor NMOS



$$NM_H \equiv V_{OH} - V_{IH} = 5 - 2.43 = 2.57 \text{ V}$$

$$NM_L \equiv V_{IL} - V_{OL} = 1.2 - 0.25 = 0.95 \text{ V}$$

$$NM \equiv \text{Min}(NM_H, NM_L) = 0.95 \text{ V}$$

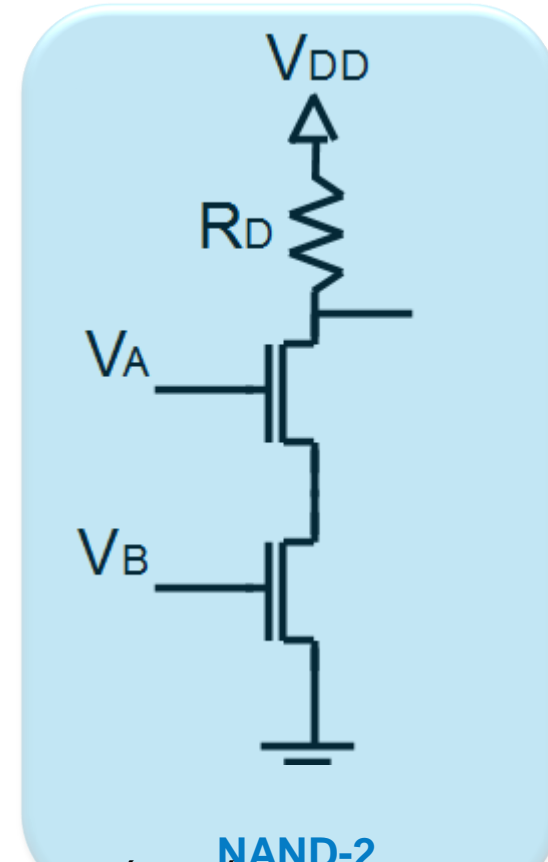
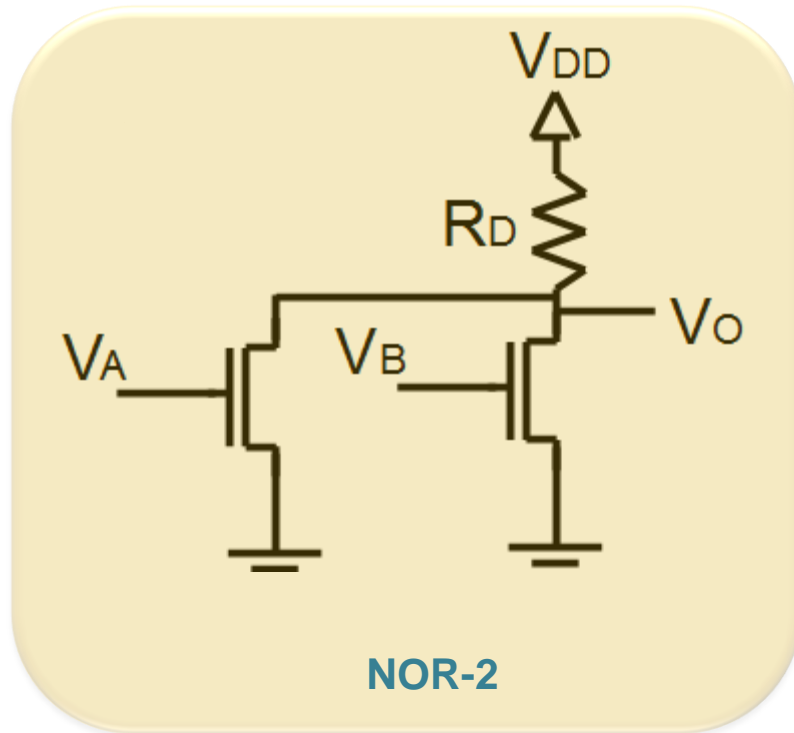
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## 7.5.4 NAND-2 y NOR-2 NMOS



Cartagena99

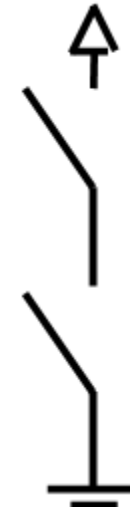
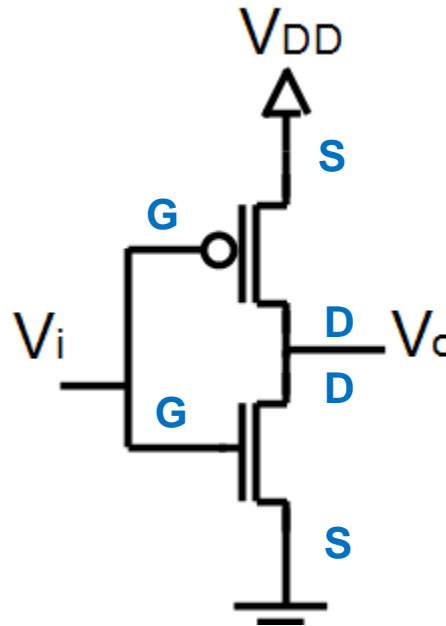
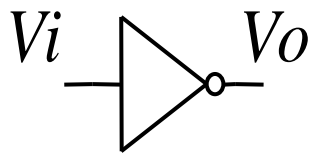
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.6 Familia CMOS

## 7.6.1 Inversor CMOS



$V_i \uparrow \rightarrow$  NMOS ON, PMOS OFF  $\rightarrow V_o \downarrow$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



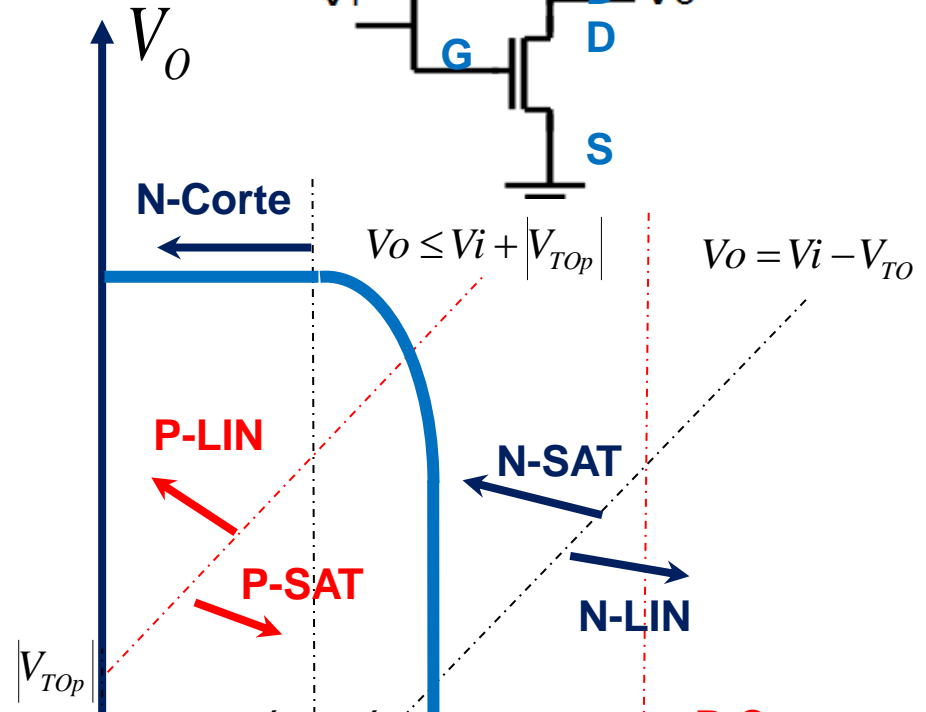
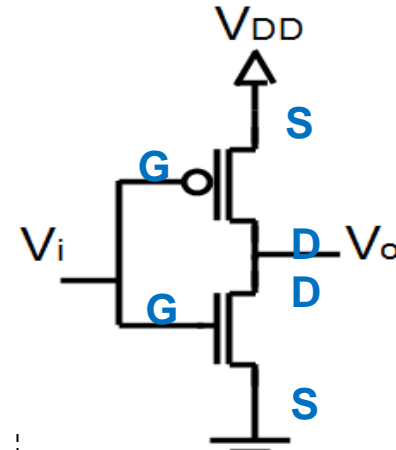
# 7.6.1 Función de Transferencia del Inversor CMOS

$$\left. \begin{array}{l} V_{GSn} > V_{TO_n} \\ V_i > V_{TO} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Transistor N ON}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{SGp} > |V_{TOp}| \\ V_{DD} - V_i > |V_{TOp}| \\ V_i < V_{DD} - |V_{TOp}| \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Transistor P ON}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{DSn} \geq V_{GSn} - V_{TO_n} \\ V_o \geq V_i - V_{TO} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Transistor N SAT}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{SDp} \geq V_{SGp} - |V_{TOp}| \\ V_{DD} - V_o \geq V_{DD} - V_i - |V_{TOp}| \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Transistor P SAT}$$



**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.6.1 Ejemplo de Cálculo de los puntos característicos de la función de transferencia del inversor CMOS

Un inversor CMOS tiene:

$$\beta_n = \beta_p$$

$$V_{TOn} = 0.8 \text{ V}$$

$$V_{TOp} = -0.8 \text{ V}$$

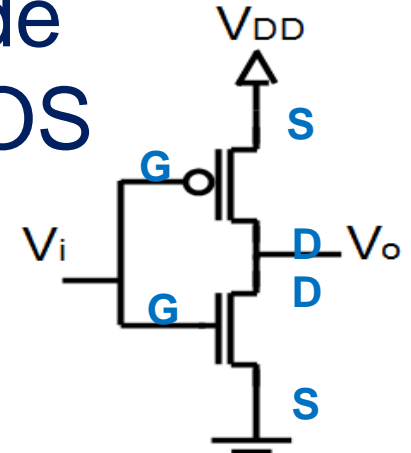
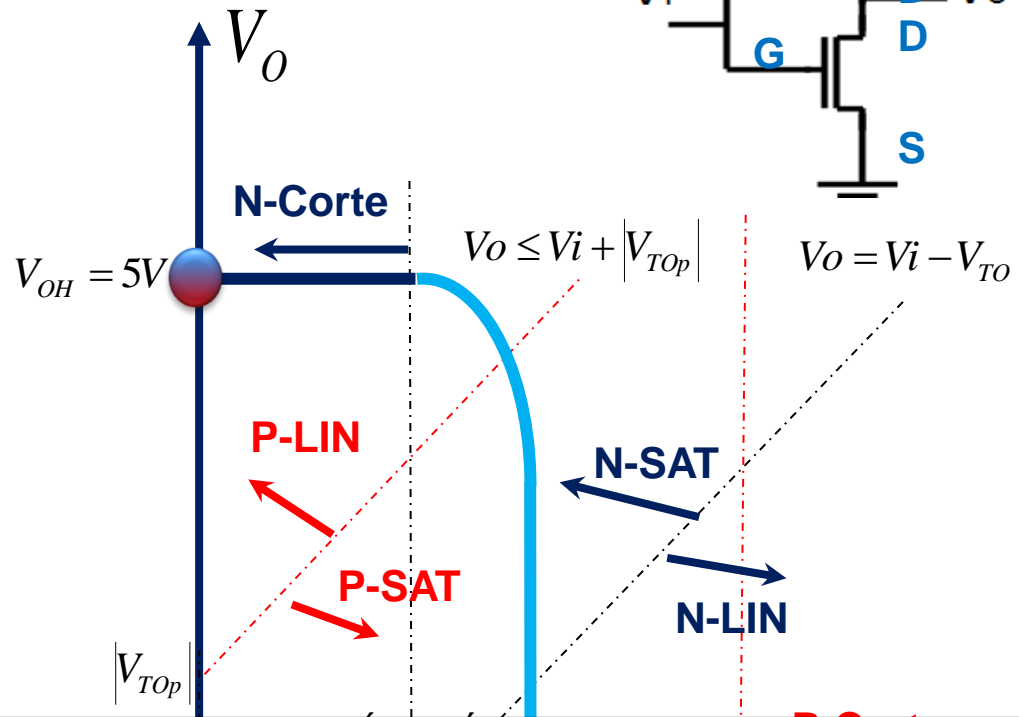
$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$V_{OH}$$

$$V_i = 0 \Rightarrow \begin{cases} NMOS \text{ OFF} \\ PMOS \text{ LIN} \end{cases}$$

$$I_P = I_N = 0$$

$$I_P = \frac{\beta_p}{2} [2(V_{SGp} - |V_{TOp}|)V_{SD} - V_{SD}^2] = 0$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Luego  $V_{OH} = V_O = 5 \text{ V}$

# 7.6.1 Ejemplo de Cálculo de los puntos característicos de la función de transferencia del inversor CMOS

$$\underline{V_{OL}}$$

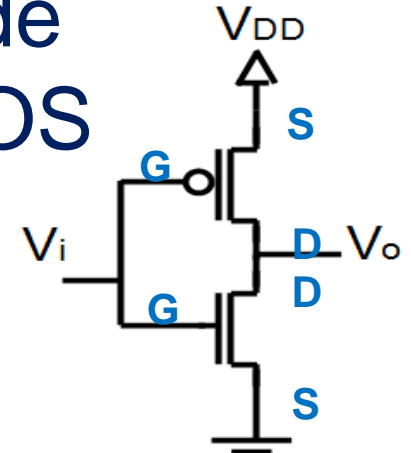
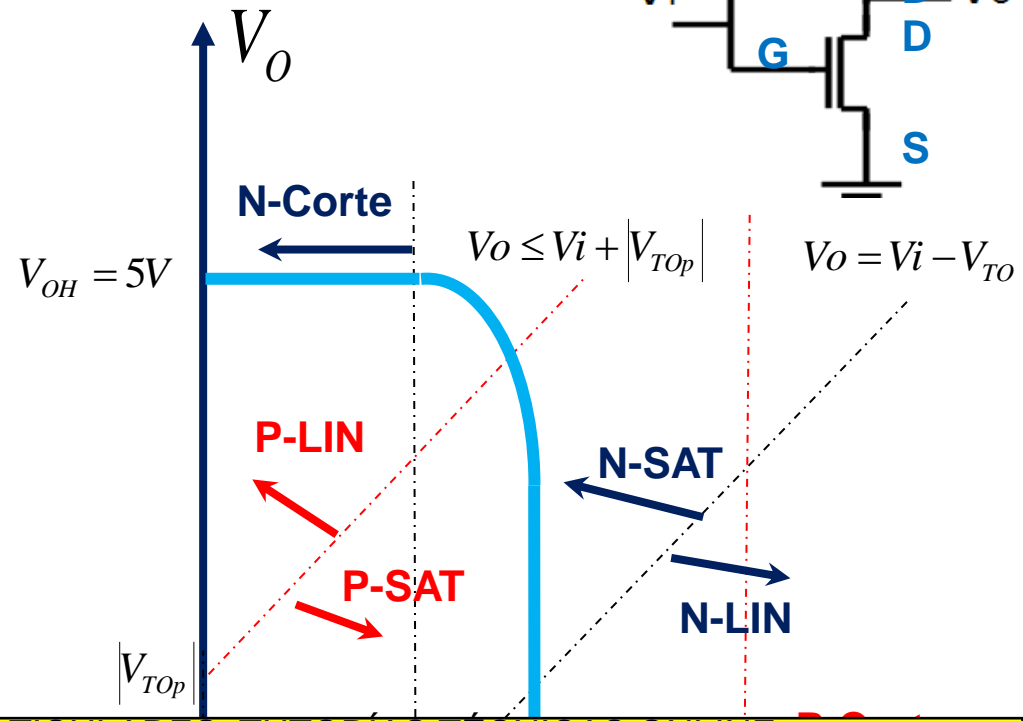
$$V_i = 5V \Rightarrow \begin{cases} NMOS \text{ LIN} \\ PMOS \text{ OFF} \end{cases}$$

$$I_N = I_P = 0$$

$$I_N = \frac{\beta_n}{2} \left[ 2(V_{GSn} - V_{TO_n})V_{DS} - V_{DS}^2 \right] = 0$$

La ecuación anterior admite como solución  $V_{DSp} = V_o = 0$

Entonces  $V_{OL} = V_o = 0V$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# 7.6.1 Ejemplo de Cálculo de los puntos característicos de la función de transferencia del inversor CMOS

$$\underline{V_{IH}}$$

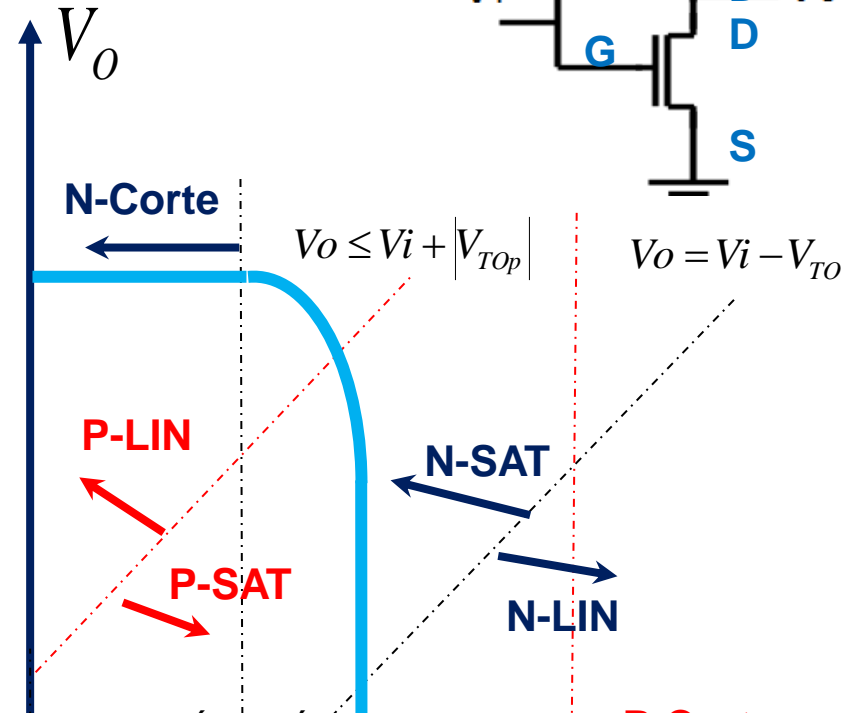
Suponemos  $\begin{cases} NMOS\ LIN \\ PMOS\ SAT \end{cases} I_N = I_P$

$$I_N = \frac{\beta_n}{2} \left[ 2(V_{GSn} - V_{TON})V_{DS} - V_{DS}^2 \right] = \frac{\beta_p}{2} (V_{SGp} - |V_{TOP}|)^2 = I_P$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\beta_n}{2} \left[ 2(V_i - V_{TON})V_O - V_O^2 \right] &= \frac{\beta_p}{2} (V_{DD} - V_i - |V_{TOP}|)^2 \quad (A) \\ \frac{dV_O}{dV_i} &= -1 \quad (B) \end{aligned} \right\}$$

Para utilizar esto, derivamos los 2 lados de (A) respecto a  $V_i$  quedando:

$$2V_O - 2(V_i - V_{TON}) \frac{dV_O}{dV_i} - 2V_O \frac{dV_O}{dV_i} = -2(V_{DD} - V_i - |V_{TOP}|) \xrightarrow{(B)}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

¡Comprobar Zonas!!

# 7.6.1 Ejemplo de Cálculo de los puntos característicos de la función de transferencia del inversor CMOS

$$\frac{V_{IL}}{V_{IH}}$$

Suponemos  $\begin{cases} NMOS SAT \\ PMOS LIN \end{cases} I_N = I_P$

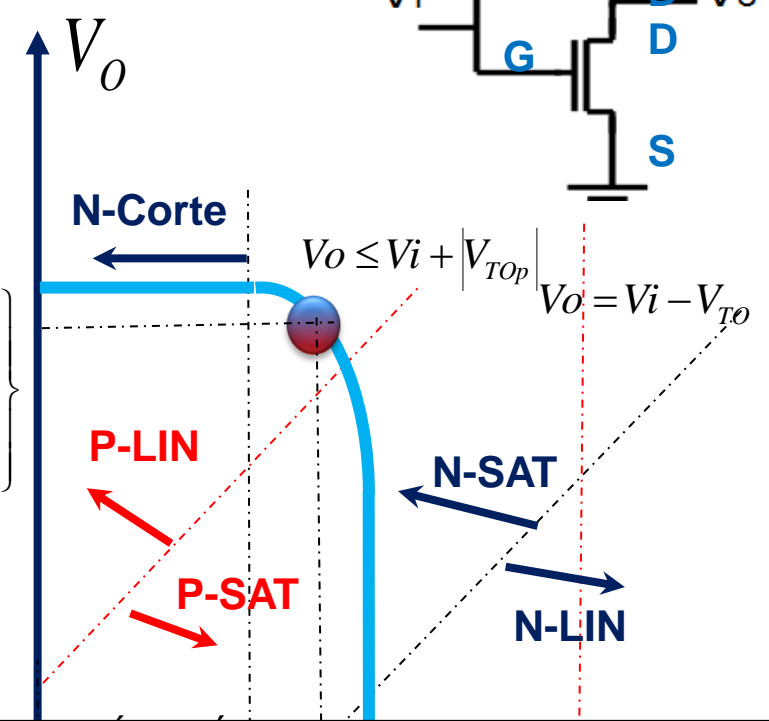
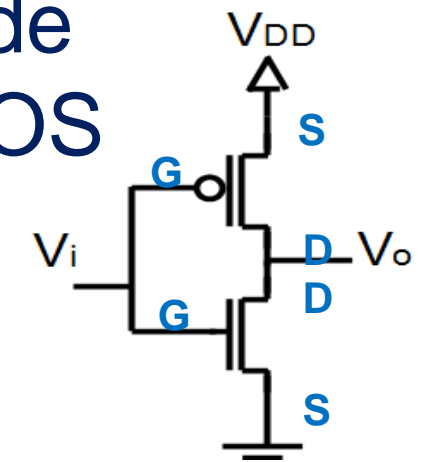
$$I_N = \frac{\beta_n}{2} (V_{GSn} - V_{TOIn})^2 = \frac{\beta_p}{2} [2(V_{SGp} - |V_{TOP}|)V_{SD} - V_{SD}^2] = I_P$$

$$\frac{\beta_n}{2} (V_i - V_{TOIn})^2 = \frac{\beta_p}{2} [2(V_{DD} - V_i - |V_{TOP}|)(V_{DD} - V_o) - (V_{DD} - V_o)^2] \quad (A)$$

$$\frac{dV_o}{dV_i} = -1 \quad (B)$$

Para utilizar esto, derivamos los 2 lados de (A) respecto a  $V_i$  quedando:

$$2(V_i - V_{TOIn}) = -2(V_{DD} - V_o) - 2(V_{DD} - V_i - |V_{TOP}|) \frac{dV_o}{dV_i} + \frac{dV_o}{dV_i} \quad (B)$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 7.6.1 Ejemplo de Cálculo de los puntos característicos de la función de transferencia del inversor CMOS

$$\underline{V_{th}}$$

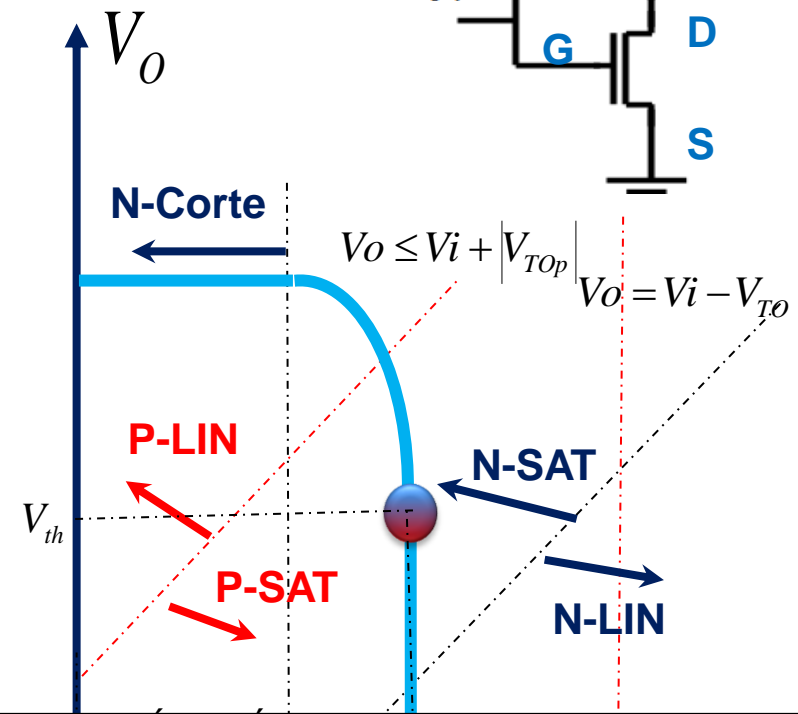
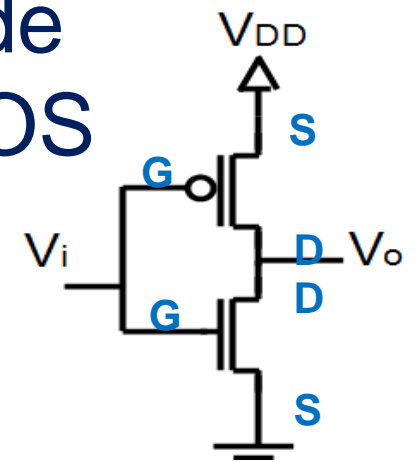
Suponemos  $\begin{cases} NMOS SAT \\ PMOS SAT \end{cases} I_N = I_P$

$$I_N = \frac{\beta_n}{2} (V_{GSn} - V_{TON})^2 = \frac{\beta_p}{2} (V_{SGp} - |V_{TOP}|)^2 = I_P$$

$$\frac{\beta_n}{2} (V_i - V_{TON})^2 = \frac{\beta_p}{2} (V_{DD} - V_i - |V_{TOP}|)^2$$

De donde:

$$V_{th} = \frac{V_{TON} + \sqrt{\frac{\beta_n}{\beta_p} (V_{DD} - |V_{TOP}|)}}{1 + \sqrt{\frac{\beta_n}{\beta_p}}}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

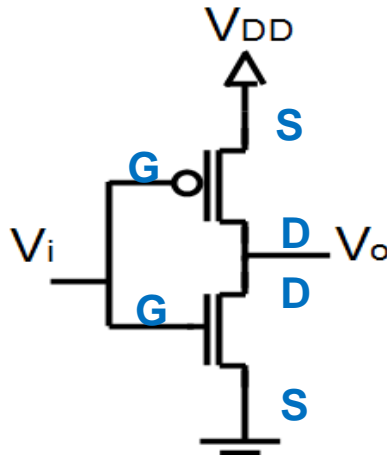
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



$$V_{th} = 2.5V$$

¡Comprobar Zonas!!

# 7.6.2 Márgenes de ruido del inversor CMOS



$$NM_H \equiv V_{OH} - V_{IH} = 5 - 2.925 = 2.075 \text{ V}$$

$$NM_L \equiv V_{IL} - V_{OL} = 2.075 - 0 = 2.075 \text{ V}$$

$$NM \equiv \text{Min}(NM_H, NM_L) = 2.075 \text{ V}$$

En este ejemplo son iguales porque:

$$\left. \begin{array}{l} \beta_n = \beta_p \\ V_{TON} = |V_{TOP}| \end{array} \right\}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.6.2 Conclusiones sobre la función de transferencia del inversor CMOS

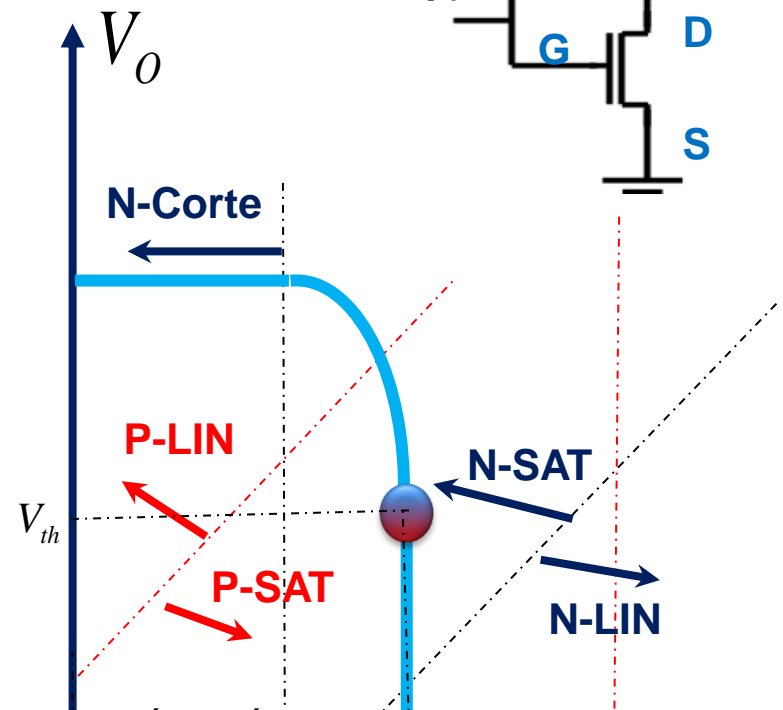
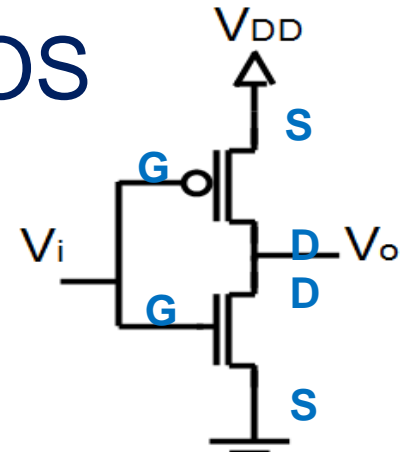
## Potencia

Con entradas  $V_i = 0$  o  $V_i = V_{DD} \rightarrow P=0$

$V_{OH}$  y  $V_{OL}$

Son respectivamente  $V_{DD}$  y  $0$  V.

$I = 0$  en los extremos



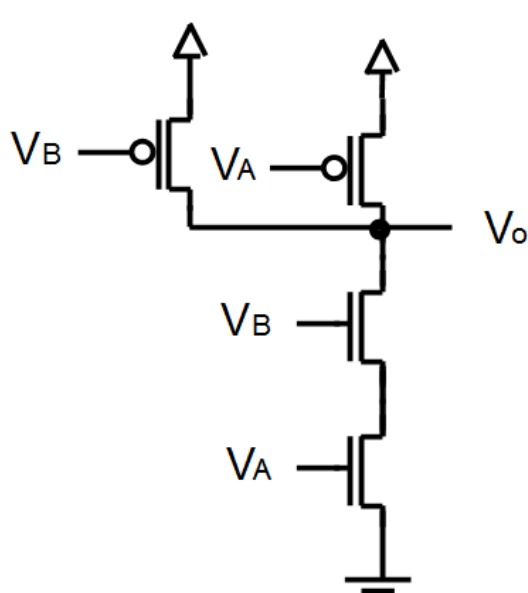
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

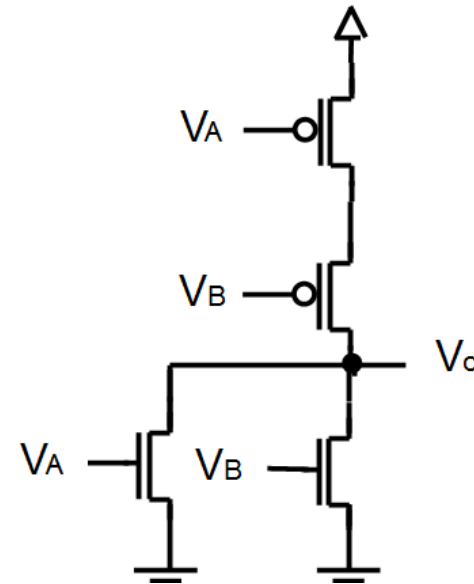
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



## 7.6.3 Funciones Canónicas CMOS



NAND-2



NOR-2

Operador AND → Transistores N en serie  
Transistores P en paralelo

Cartagena99

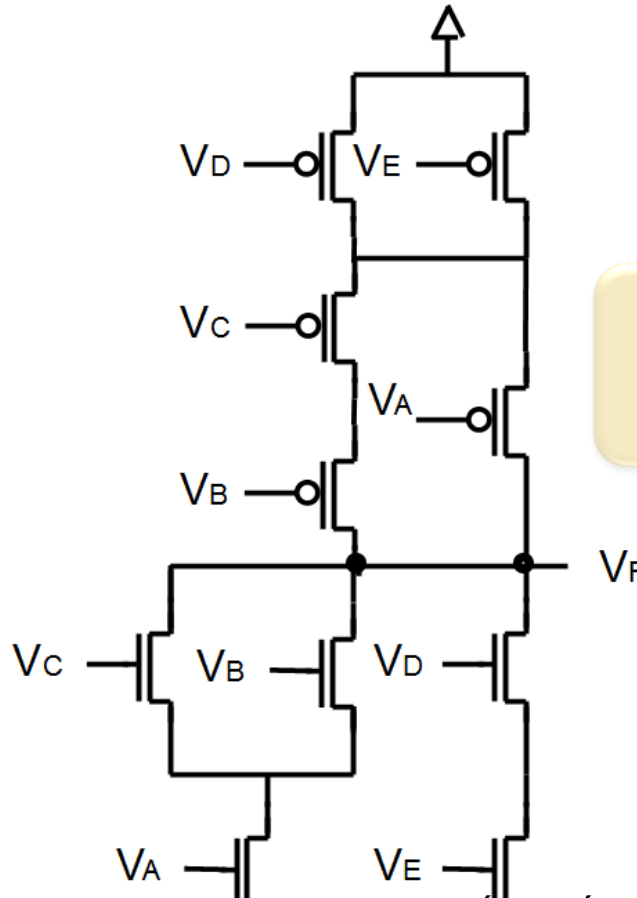
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 7.6.3 Funciones Canónicas CMOS

$$F = \overline{A(B + C) + DE}$$



Parte PMOS  
DUAL de la NMOS

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 - - -  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.