


TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

TEMAS 9 Y 10 (CMOS Y TTL)

EJEMPLOS RESUELTOS

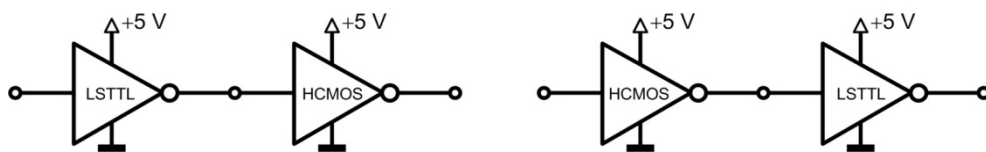
JULIO BRÉGAINS, DANIEL IGLESIA, JOSÉ LAMAS
 DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA E SISTEMAS
 FACULTADE DE INFORMÁTICA,  UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Piensa claramente

antes que profundamente (Nikola Tesla).

EJEMPLO 2 (T9):

Para los montajes indicados, apoyándose en el cuadro comparativo, justificar detalladamente la posibilidad de la conexión y en caso afirmativo, determinar márgenes de ruido y fan-out.



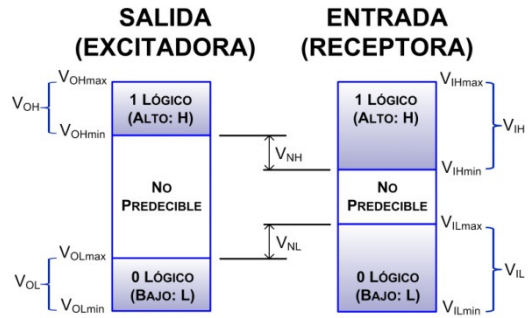
$V_{cc} = +5$ [V]	TTL	LSTTL	ALSTTL	CMOS	HCMOS	ACMOS
V_{ILmax} [V]	0,8	0,8	0,8	1,5	1,5	1,5
V_{IHmin} [V]	2	2	2	3,5	3,5	3,5
V_{OLmax} [V]	0,4	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1
V_{OHmin} [V]	2,4	2,7	2,5	4,5	4,9	4,9
I_{ILmax} [mA]	-1,6	-0,4	-0,1	-0,1 [μA]	-1 [μA]	-1 [μA]
I_{IHmax} [μA]	40	20	20	0,1	1	1
I_{OLmax} [mA]	16	8	8	0,5	4	24
I_{OHmax} [mA]	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-4	-24
Rango V_{cc} [V]	5±5%	5±5%	5±10%	3 a 15	2 a 6	3 a 5,5
P_d [mW] / 1 [MHz]	10	2	1	0,5	0,5	0,5
t_p [ns] / 50 [pF]	10	9	4	50	8	3
f_{max} [MHz]	35	45	70	12	40	125

PLANTEAMIENTO Y RESOLUCIÓN

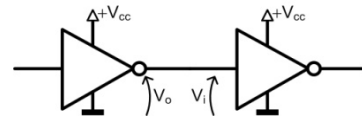
LAS CONFIGURACIONES HAN DE SER COMPATIBLES. PARA ELLO, DEBEN VERIFICARSE LAS SIGUIENTES CONDICIONES (TODAS):

- a) COMPATIBILIDADES DE LAS TENSIONES (ver figuras de la derecha):

- ✓ La V_{OHmin} (tensión mínima de estado alto) de la puerta excitadora tiene que ser mayor o igual que la V_{IHmin} (tensión mínima de estado alto) de la puerta receptora: $V_{OHmin}(exc) \geq V_{IHmin}(rec)$. Esa condición asegura que, al entregar la excitadora una señal en estado alto, la receptora la interprete con seguridad como tal. El valor $V_{NH} = V_{OHmin} - V_{IHmin}$ determina el margen de ruido¹.

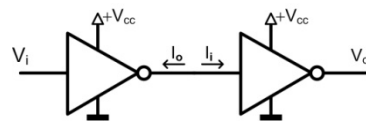


- ✓ $V_{OLmax}(excit.) \leq V_{ILmax}(recept.)$. Esa condición asegura que, al entregar la excitadora una señal en estado bajo, la receptora la interprete sin errores como tal. $V_{NL} = V_{ILmax} - V_{OLmax}$: margen de ruido nivel bajo.



b) COMPATIBILIDADES DE LAS CORRIENTES (ver figura de la derecha):

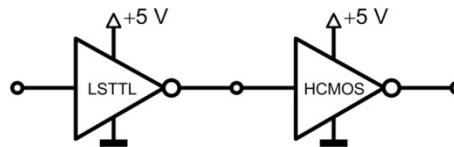
- ✓ $|I_{OHmax}(excit.)| \geq |I_{IHmax}(recept.)|$: en estado alto, la puerta excitadora entrega suficiente corriente a la receptora.
- ✓ $|I_{OLmax}(excit.)| \geq |I_{ILmax}(recept.)|$: en estado bajo, la puerta excitadora entrega suficiente corriente a la receptora.



ANALIZAMOS LAS COMPATIBILIDADES.

Configuración LSTTL (excitadora) → HCMOS (receptora)

$V_{cc} = +5 [V]$	LSTTL	HCMOS
$V_{ILmax} [V]$	0,8	1,5
$V_{IHmin} [V]$	2	3,5
$V_{OLmax} [V]$	0,5	0,1
$V_{OHmin} [V]$	2,7	4,9
$I_{ILmax} [mA]$	-0,4	-1 [μA]
$I_{IHmax} [\mu A]$	20	1
$I_{OLmax} [\mu A]$	8	4
$I_{OHmax} [mA]$	-0,4	-4



$$V_{OHmin}(exc.) \geq V_{IHmin}(rec.) \Rightarrow V_{OHmin}(LSTTL) \geq V_{IHmin}(HCMOS) \Rightarrow 2,7 \geq 3,5 \Rightarrow \text{Falso (porque } 2,7 < 3,5) \quad (\text{EjsT0910. 1})$$

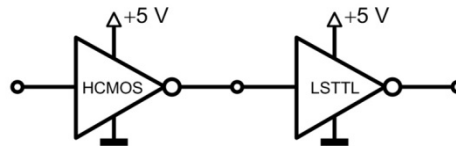
La primera condición ya no se cumple, por tanto no es necesario analizar las demás.

CONCLUSIÓN: una puerta LSTTL no es compatible como excitadora de una puerta HCMOS, porque podría haber una tensión en nivel alto a la salida de la puerta LSTTL que podría ser interpretada como nivel bajo a la entrada de la puerta HCMOS.

Configuración HCMOS (excitadora) → LSTTL (receptora)

¹ Supongamos que a la salida de la puerta excitadora se entrega un voltaje V_{OHmin} (el mínimo que se considera alto) y que a ella se incorpora un ruido externo V_R negativo, entonces, la puerta receptora tendrá a su entrada un valor $V_i = V_{OHmin} - V_R$. Para que este voltaje sea interpretado como una entrada a nivel alto, tiene que ser $V_i > V_{IHmin} \Rightarrow V_{OHmin} - V_R > V_{IHmin} \Rightarrow V_{OHmin} - V_{IHmin} > V_R$. Pero $V_{OHmin} - V_{IHmin} = V_{NH} \Rightarrow V_{NH} > V_R$, es decir, V_R tiene que ser menor que V_{NH} . Ése es el concepto de V_{NH} como margen de ruido.





Del extracto de tabla anterior, observamos:

$$V_{OHmin}(HCMOS) \geq V_{IHmin}(LSTTL) \Rightarrow 4,9 \geq 2 \Rightarrow \text{Se cumple}$$

$$V_{OLmax}(HCMOS) \leq V_{ILmax}(LSTTL) \Rightarrow 0,1 \leq 0,8 \Rightarrow \text{Se cumple}$$

(EjsT0910. 2)

$$|I_{OHmax}(HCMOS)| \geq |I_{IHmax}(LSTTL)| \Rightarrow |-4 \cdot 10^{-3}| \geq |20 \cdot 10^{-6}| \Rightarrow \text{Se cumple}$$

$$|I_{OLmax}(HCMOS)| \geq |I_{ILmax}(LSTTL)| \Rightarrow |4 \cdot 10^{-3}| \geq |-0,4 \cdot 10^{-3}| \Rightarrow \text{Se cumple}$$

CONCLUSIÓN: una puerta HCMOS es compatible como excitadora de una puerta LSTTL.

Como son compatibles, determinamos márgenes de ruido y fan-out.

DETERMINACIÓN DE MÁRGENES DE RUIDO:

MARGEN DE RUIDO EN ESTADO ALTO:

$$\begin{aligned} V_{NH} &= V_{OHmin}(exc.) - V_{IHmin}(rec.) = V_{OHmin}(HCMOS) - V_{IHmin}(LSTTL) \Rightarrow \\ &\Rightarrow V_{NH} = 4,9 [V] - 2 [V] = 2,9 [V] \end{aligned} \quad (EjsT0910. 3)$$

MARGEN DE RUIDO EN ESTADO BAJO:

$$\begin{aligned} V_{NL} &= V_{ILmax}(rec.) - V_{OLmax}(exc.) = V_{ILmax}(LSTTL) - V_{OLmax}(HCMOS) \Rightarrow \\ &\Rightarrow V_{NL} = 0,8 [V] - 0,1 [V] = 0,7 [V] \end{aligned} \quad (EjsT0910. 4)$$

¿QUÉ SIGNIFICAN ESTOS RESULTADOS? (ver pie de página anterior)

$V_{NL} = 0,7 [V]$ indica que un ruido externo mayor podría provocar que un nivel bajo a la salida de la puerta excitadora fuese interpretado como nivel alto por la puerta receptora. Por ejemplo, supongamos que la salida de la puerta alimentadora está a nivel bajo máximo $V_s = V_{OLmax} = 0,1[V]$, y que un ruido externo positivo de $0,8 [V]$ (es decir, mayor que $V_{NL}=0,7 [V]$) se suma a este valor, entonces, la puerta receptora tendrá a la entrada $V_i = V_s + V_R = 0,1[V] + 0,8[V] = 0,9[V]$, pero este valor es mayor que $V_{ILmax} = 0,8[V]$. Entonces el nivel bajo entregado a la entrada sobrepasa el nivel bajo máximo "reconocible" por dicha entrada, pudiéndose interpretarse como un nivel alto.

$V_{HL} = 2,9 [V]$ indica que un ruido externo de magnitud mayor (pero negativo) que éste podría provocar que un nivel alto a la salida de la puerta excitadora fuese interpretado como nivel bajo por la puerta receptora. Un ejemplo análogo al indicado para V_{NL} podría especificarse para comprender mejor su significado.

DETERMINACIÓN DEL FAN-OUT:

Para hallar el fan-out, primero debemos calcular los cocientes N_L y N_H :

$$N_L = E \left\{ \frac{|I_{OLmax}(HCMOS)|}{|I_{ILmax}(LSTTL)|} \right\} = E \left\{ \frac{|4 \cdot 10^{-3}|}{|-0,4 \cdot 10^{-3}|} \right\} = E \left\{ \frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,4 \cdot 10^{-3}} \right\} = 10 \quad (EjsT0910. 5)$$

$$N_H = E \left\{ \frac{|I_{OHmax}(HCMOS)|}{|I_{IHmax}(LSTTL)|} \right\} = E \left\{ \frac{|-4 \cdot 10^{-3}|}{|20 \cdot 10^{-6}|} \right\} = E \left\{ \frac{4 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-6}} \right\} = 200$$

En esta fórmula, $E\{\}$ significa “valor entero de lo encerrado entre corchetes” (en este caso particular los cocientes ya dan como resultado valores enteros)^{II}.

¿QUÉ SIGNIFICAN ESTOS RESULTADOS?

$N_L = 10 \rightarrow$ En estado bajo, la corriente entregada por la puerta alimentadora (HCMOS) es 10 veces la corriente consumida por la puerta receptora (LSTTL). En otras palabras: en estado bajo, una puerta HCMOS puede alimentar hasta 10 puertas LSTTL.

Análogamente,

$N_H = 200 \rightarrow$ En estado alto, una puerta HCMOS puede alimentar hasta 200 puertas LSTTL.

El fan-out es el menor valor de estos dos (es decir, el mínimo), puesto que es el peor caso:

$$\text{fan-out} = \min[N_L, N_H] = \min[10, 200] = 10 \quad (\text{EjsT0910. 6})$$

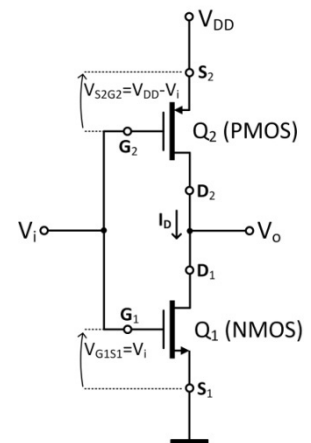
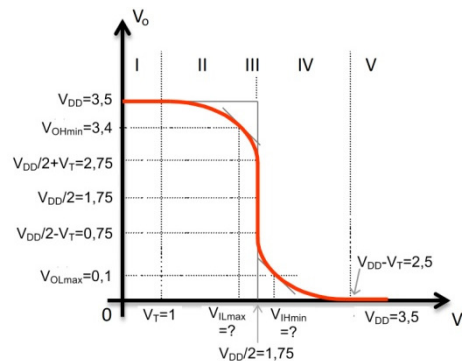
ESTE EJEMPLO NO REQUIERE RESUMEN.

EJEMPLO 4 (T9):

- a) Obtener y representar la característica la transferencia $V_o = f(V_i)$ de un inversor CMOS alimentado a $V_{DD} = +3,5$ [V], si los transistores presentan una constante de transconductancia $k = 10$ [mA/V²] y una tensión umbral $|V_T| = 1$ [V]. Considerar, para esta curva inicial, $I_o = 0$. NOTA: No es necesario calcular los puntos de transición para $dV_o / dV_i = -1$.
- b) Determinar el valor de V_{ILmax} , para el que la salida toma el valor $V_{OHmin} = 3,4$ [V] con una $I_{OHmax} = -1$ [mA].
- c) Determinar el valor de V_{IHmin} , para el que la salida toma el valor $V_{OLmax} = 0,1$ [V] con una $I_{OLmax} = 1$ [mA].
- d) De acuerdo a los cálculos anteriores, obtener los márgenes de ruido.

PLANTEAMIENTO Y RESOLUCIÓN

INICIALMENTE REPRESENTAMOS EL CIRCUITO DE UN INVERSOR CMOS CON LA CARACTERÍSTICA DE TRANSFERENCIA (TENSIÓN DE ENTRADA V_o EN FUNCIÓN DE LA TENSIÓN DE SALIDA V_i), EN LA QUE SE INDICAN LAS 5 REGIONES DE FUNCIONAMIENTO.



^{II} Por ejemplo, si tuviésemos un cociente de corrientes igual a 12,24 $\Rightarrow E\{12,24\} = 12$.



- a) CALCULAMOS EL VALOR DE TENSIÓN DE ENTRADA MÁXIMA EN ESTADO BAJO V_{iLmax} , CONSIDERANDO QUE A LA SALIDA SE OBTIENE UNA TENSIÓN MÍNIMA DE ESTADO ALTO V_{OHmin} Y UNA CORRIENTE I_{OHmax} DADAS.

Establecemos los estados de los transistores en cada una de las regiones (esto se obtiene analizando apropiadamente el funcionamiento del circuito en el rango $0 \leq V_i \leq V_{DD}$):

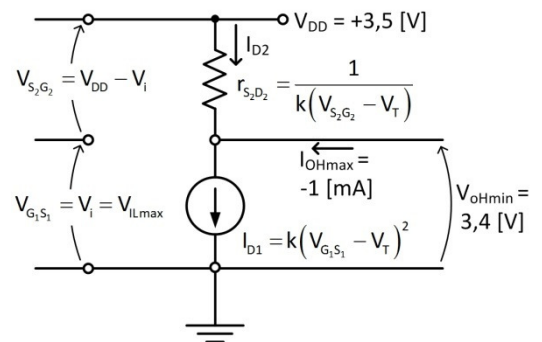
REGIÓN	RANGO V_i	ESTADO Q_1	ESTADO Q_2
I	$0 \leq V_i < V_T$	CORTE	ÓHMICA
II	$V_T \leq V_i < V_{DD} / 2$	SATURACIÓN	ÓHMICA
III	$V_i = V_{DD} / 2$	SATURACIÓN	SATURACIÓN
IV	$V_{DD} / 2 < V_i \leq V_{DD} - V_T$	ÓHMICA	SATURACIÓN
V	$V_{DD} - V_T < V_i \leq V_{DD}$	ÓHMICA	CORTE

TABLA 1

Nótese que la columna **ESTADO Q_1** es la reflexión vertical (respecto de la fila **REGIÓN III**) respecto de la columna **ESTADO Q_2** . En otras palabras, el orden de estados de Q_1 es: **CORTE, SAT., SAT., OHM., OHM.**, mientras que el de Q_2 es el inverso^{III}.

Como la característica de transferencia dada anteriormente se ha obtenido considerando $I_o = 0$, ya no resultará completamente adecuada para el caso de este problema, en el que hay que considerar valores de I_{OHmax} e I_{OLmax} diferentes de cero. Para analizar el comportamiento, sin embargo, es posible utilizar dicha gráfica como ayuda para establecer los estados de los transistores Q_1 y Q_2 .

Considerando dicha gráfica, y de la tabla vemos que V_{OHmin} se obtiene cuando el funcionamiento del circuito se halla en la **REGIÓN II** $\Rightarrow Q_1$ está saturado y Q_2 se halla en zona óhmica. Reemplazando Q_1 y Q_2 por sus circuitos equivalentes, tenemos:



Por tanto:

$$I_{D2} + I_{OHmax} = I_{D1} \Rightarrow \frac{V_{DD} - V_{OHmin}}{r_{D2S2}} + I_{OHmax} = k(V_{G1S1} - V_T)^2 \tag{EjsT0910. 7}$$

Pero $r_{D2S2} = 1 / [k (V_{S2G2} - V_T)]$, $V_{S2G2} = V_{DD} - V_i$ y $V_{G1S1} = V_i$, entonces:

$$\begin{aligned} \frac{V_{DD} - V_{OHmin}}{1/[k(V_{DD} - V_i - V_T)]} + I_{OHmax} &= k(V_i - V_T)^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow k(V_{DD} - V_i - V_T)(V_{DD} - V_{OHmin}) + I_{OHmax} &= k(V_i - V_T)^2 \end{aligned} \tag{EjsT0910. 8}$$

Reemplazando los valores datos establecidos en el enunciado, podemos obtener los posibles valores de V_i (trabajando con las corrientes en miliamperios y las tensiones en voltios):

$$\begin{aligned} 10(3,5 - V_i - 1)(3,5 - 3,4) - 1 &= 10(V_i - 1)^2 \Rightarrow 10V_i^2 - 19V_i + 8,5 = 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow V_i &= \frac{19 \pm \sqrt{(-19)^2 - 4 \cdot 10 \cdot 8,5}}{2 \cdot 10} \Rightarrow V_{i,1} = 1,18[V]; V_{i,2} = 0,72[V] \end{aligned} \tag{EjsT0910. 9}$$

^{III} Si se analiza en detalle, se ve que esto sucede porque el circuito es simétrico respecto del eje horizontal que pasa por las conexiones V_i y V_o , y porque el análisis resulta ser simétrico cuando la tensión de entrada se mantiene dentro del rango $0 \leq V_i \leq V_{DD}$.



Como Q_1 está en estado de saturación, tiene que cumplirse $V_{G1S1} > V_T$, y como $V_{G1S1} = V_i \Rightarrow$ debemos elegir $V_{i,1} = 1,18 [V] > V_T$ como respuesta.

Por tanto:

$$V_{iLmax} = 1,18 [V]$$

$$I_{D1} = k(V_i - V_T)^2 = 10 \left[\frac{mA}{V^2} \right] (1,18[V] - 1[V])^2 \Rightarrow I_{D1} = 0,324 [mA]$$

$$r_{S2D2} = \frac{1}{k(V_{DD} - V_i - V_T)} = \left\{ \frac{10}{1000} \left[\frac{A}{V^2} \right] (3,5[V] - 1,18[V] - 1[V]) \right\}^{-1} \Rightarrow r_{S2D2} = 75,76 [\Omega] \quad (EjsT0910. 10)$$

$$I_{D2} = I_{D1} - I_{OHmax} = 0,324 [mA] - (-1 [mA]) \Rightarrow I_{D2} = 1,324 [mA]$$

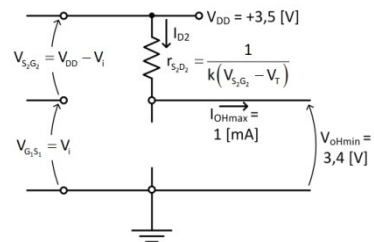
$$V_{S2D2} = I_{D2} \cdot r_{S2D2} = 1,324 [mA] \cdot 75,76 [\Omega] \Rightarrow V_{S2D2} = 100,31 [mV] \cong 0,1 [V]$$

PREGUNTA: Como la característica de transferencia presentada no se ajusta completamente cuando $I_o \neq 0$, ¿Por qué no suponer Q_1 y Q_2 en otros estados, y calcular los parámetros requeridos?

Consideremos los otros estados. Veremos que, al verificar, obtendremos resultados incorrectos.

Q1 CORTE, Q2 CORTE \Rightarrow Puesto que $V_{G1S1} = V_i$ y $V_{S2G2} = V_{DD} - V_i$, no es posible que ambos estén en corte con $0 \leq V_i \leq V_{DD}$, ya que, en todo momento, $V_{G1S1} + V_{S2G2} = V_{DD} > 2V_T$. Es decir, al menos uno de ellos está en conducción cuando el otro está en corte.

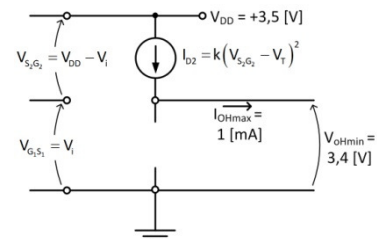
Q1 CORTE, Q2 ÓHMICA \Rightarrow Del circuito vemos que: $I_{D2} = I_{OHmax}$;
 $r_{S2D2} = (V_{DD} - V_{OHmin}) / I_{D2} = 1 / [k(V_{S2G2} - V_T)]$; $V_{S2G2} = V_{DD} - V_i \Rightarrow$
 $\Rightarrow V_i = V_{DD} - \{ I_{OHmax} / [k(V_{DD} - V_{OHmin})] \} - V_T = 1,5 [V]$



Pero este valor de $V_i = V_{G1S1}$, es mayor que V_T , por tanto, Q_1 conduce, no puede estar en corte.

Nótese en el circuito que se considera $I_{OHmax} = 1 [mA]$ (positiva) pero con sentido contrario al establecido en la figura anterior, lo cual es equivalente.

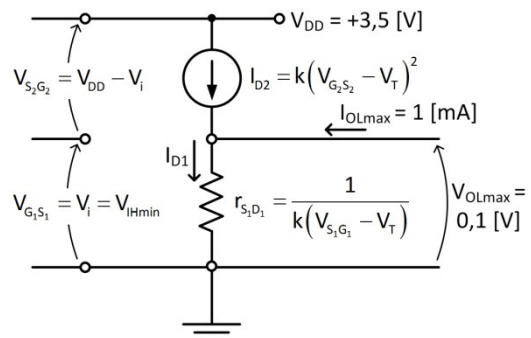
Q1 CORTE, Q2 SATURACIÓN \Rightarrow Del circuito vemos que: $I_{D2} = I_{OHmax} =$
 $= k(V_{S2G2} - V_T)^2$; $V_{S2G2} = V_{DD} - V_i \Rightarrow$
 $\Rightarrow 1 = 10 (3,5 - V_i - 1)^2 \Rightarrow V_i = V_{G1S1} = 2,49 > V_T$.



Por tanto, Q_1 también conduce, no puede estar en corte.

b) CALCULAMOS EL VALOR DE TENSIÓN DE ENTRADA MÍNIMA EN ESTADO ALTO V_{IHmin} , CONSIDERANDO QUE A LA SALIDA SE OBTIENE UNA TENSIÓN MÁXIMA DE ESTADO BAJO V_{OLmax} Y UNA CORRIENTE I_{OLmax} DADAS.

De la gráfica correspondiente a la característica de transferencia y de la tabla vemos que V_{OHmin} se obtiene cuando el funcionamiento del circuito se halla en la **REGIÓN IV** $\Rightarrow Q_1$ está en zona óhmica y Q_2 se halla saturado (lo opuesto al circuito de la **REGIÓN II**). Reemplazando Q_1 y Q_2 por sus circuitos equivalentes, obtenemos la figura:



Por tanto:

$$I_{D2} + I_{OLmax} = I_{D1} \Rightarrow k(V_{S2G2} - V_T)^2 + I_{OLmax} = \frac{V_{OLmax}}{r_{D1S1}} = V_{OLmax} k(V_{G1S1} - V_T) \quad (EjsT0910. 11)$$



Nuevamente, considerando $V_{S2G2} = V_{DD} - V_i$, $V_{G1S1} = V_i$, y reemplazando los datos del enunciado (corrientes en [mA], tensiones en [V]), nos queda una ecuación de segundo grado para V_i :

$$k(V_{DD} - V_i - V_T)^2 + I_{OLmax} = V_{OLmax} (V_i - V_T)k \Rightarrow 10(3,5 - V_i - 1)^2 + 1 = 0,1(V_i - 1)10$$

$$\Rightarrow 10V_i^2 - 51V_i + 64,5 = 0 \Rightarrow V_{i,1} = 2,78[V]; V_{i,2} = 2,32[V]$$
 (EjsT0910. 12)

$V_{S2G2} = V_{DD} - V_i \Rightarrow$ Para $V_{i,1} \Rightarrow V_{S2G2} = 3,5 [V] - 2,78 [V] = 0,72 < V_T$, por tanto Q_2 estaría en corte.
Para $V_{i,2} \Rightarrow V_{S2G2} = 3,5 [V] - 2,32 [V] = 1,18 [V] > V_T$ que corresponde a Q_2 conduciendo. Así:

$$V_{IHmin} = 2,32 [V]$$

$$I_{D2} = k(V_{DD} - V_i - V_T)^2 = 10 \left[\frac{mA}{V^2} \right] (3,5 [V] - 2,32[V] - 1[V])^2 \Rightarrow I_{D2} = 0,324 [mA]$$
 (EjsT0910. 13)
$$r_{D1S1} = \frac{1}{k(V_i - V_T)} = \left\{ \frac{10}{1000} \left[\frac{A}{V^2} \right] (2,32[V] - 1[V]) \right\}^{-1} \Rightarrow r_{D1S1} = 75,76 [\Omega]$$

$$I_{D1} = I_{D2} + I_{OLmax} = 0,324 [mA] + 1 [mA] \Rightarrow I_{D1} = 1,324 [mA]$$

c) CALCULAMOS LOS MARGENES DE RUIDO UTILIZANDO LAS FÓRMULAS (EjsT0910. 3) Y (EjsT0910. 4):

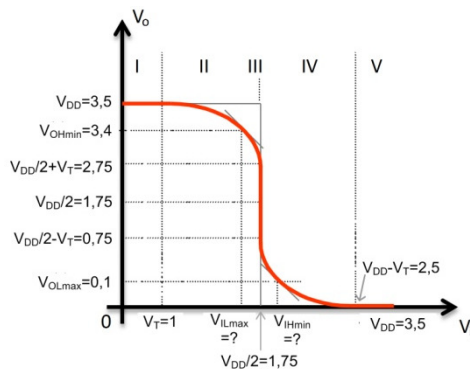
MARGEN DE RUIDO EN ESTADO ALTO:

$$V_{NH} = V_{OHmin}(exc.) - V_{IHmin}(rec.) \Rightarrow V_{NH} = 3,4 [V] - 2,32 [V] = 1,08 [V]$$
 (EjsT0910. 14)

MARGEN DE RUIDO EN ESTADO BAJO:

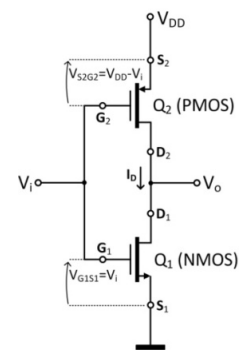
$$V_{NL} = V_{ILmax}(rec.) - V_{OLmax}(exc.) \Rightarrow V_{NL} = 1,18 [V] - 0,1 [V] = 1,08 [V]$$
 (EjsT0910. 15)

RESUMEN EJEMPLO 4 (T9):



DATOS:

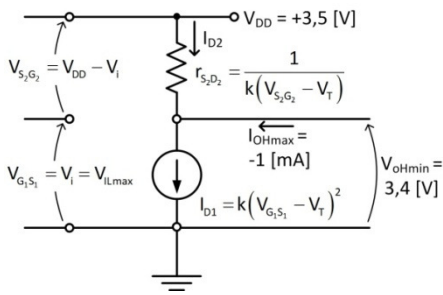
V_{DD} = Tensión de alimentación = 3,5 [V];
 CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSISTORES Q_1 y Q_2 :
 $k_1 = k_2 = k$ = Const. de transcond. = 10 [mA/V²];
 $|V_{T1}| = |V_{T2}| = |V_T|$ = Tensión umbral = 1 [V];
 TENSIONES Y CORRIENTES DEL CIRCUITO:
 V_{OHmin} = Tensión de salida mínima, estado alto = 3,4 [V];
 I_{OHmax} = Corriente de salida máxima, estado alto = -1 [mA];
 V_{OLmax} = Tensión de salida máxima, estado bajo = 0,1 [V];
 I_{OLmax} = Corriente de salida máxima, estado bajo = 1 [mA];



INCÓGNITAS:

V_{ILmax} = Tensión de entrada máx., estado bajo = ?;
 V_{IHmin} = Tensión de entrada mín., estado alto = ?;
 V_{NL} = Margen de ruido, estado bajo = ?;
 V_{NH} = Margen de ruido, estado alto = ?;

a) **TENSIÓN DE ENTRADA MÁXIMA EN ESTADO BAJO V_{ILmax}** : Suponemos Q_1 Saturado, Q_2 en Zona Óhmica (las otras configuraciones dan resultados erróneos).



Por ley de nudos y ley de Ohm $I_{D2} + I_{OHmax} = I_{D1}$, y además, como $r_{S2D2} = 1 / [k(V_{S2G2} - V_T)]$; $V_{S2G2} = V_{DD} - V_i$; $V_{G1S1} = V_i$:

$$\frac{V_{DD} - V_{OHmin}}{1/[k(V_{DD} - V_i - V_T)]} + I_{OHmax} = k(V_i - V_T)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k(V_{DD} - V_i - V_T)(V_{DD} - V_{OHmin}) + I_{OHmax} = k(V_i - V_T)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10(3,5 - V_i - 1)(3,5 - 3,4) - 1 = 10(V_i - 1)^2 \Rightarrow 10V_i^2 - 19V_i + 8,5 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{i,1} = 1,18[V]; V_{i,2} = 0,72[V]$$

Para que se cumpla $V_{G1S1} = V_i > V_T \Rightarrow$ Elegimos $V_i = V_{ILmax} = 1,18 [V]$. Por tanto:

$$V_{ILmax} = 1,18 [V]$$

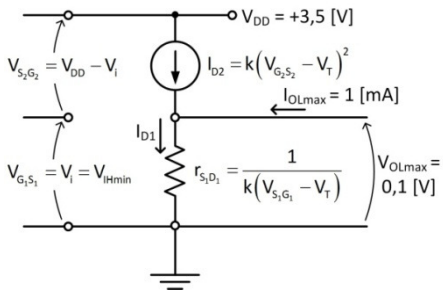
$$I_{D1} = k(V_i - V_T)^2 = 10 \left[\frac{mA}{V^2} \right] (1,18[V] - 1[V])^2 \Rightarrow I_{D1} = 0,324[mA]$$

$$r_{S2D2} = \frac{1}{k(V_{DD} - V_i - V_T)} = \left\{ \frac{10}{1000} \left[\frac{A}{V^2} \right] (3,5[V] - 1,18[V] - 1[V]) \right\}^{-1} \Rightarrow r_{S2D2} = 75,76[\Omega]$$

$$I_{D2} = I_{D1} - I_{OHmax} = 0,324[mA] - (-1[mA]) \Rightarrow I_{D2} = 1,324[mA]$$

$$V_{S2D2} = I_{D2} \cdot r_{S2D2} = 1,324[mA] \cdot 75,76[\Omega] \Rightarrow V_{S2D2} = 100,31[mV] \cong 0,1[V]$$

b) **TENSIÓN DE ENTRADA MÍNIMA EN ESTADO ALTO V_{IHmin}** : Suponemos Q_1 en Zona Óhmica y Q_2 Saturado (las otras configuraciones dan resultados erróneos).



Por ley de nudos y ley de Ohm $I_{D2} + I_{OLmax} = I_{D1}$, y además, como $r_{S1D1} = 1 / [k(V_{G1S1} - V_T)]$; $V_{S2G2} = V_{DD} - V_i$; $V_{G1S1} = V_i$:

$$k(V_{S2G2} - V_T)^2 + I_{OLmax} = \frac{V_{OLmax}}{1/k(V_{G1S1} - V_T)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k(V_{DD} - V_i - V_T)^2 + I_{OLmax} = V_{OLmax} (V_i - V_T) k \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10(3,5 - V_i - 1)^2 + 1 = 0,1(V_i - 1)10$$

$$\Rightarrow 10V_i^2 - 51V_i + 64,5 = 0 \Rightarrow V_{i,1} = 2,78[V]; V_{i,2} = 2,32[V]$$

Para que se cumpla $V_{S2G2} = V_{DD} - V_i > V_T$ debemos seleccionar $V_i = V_{IHmin} = 2,32 [V]$. Así:

$$V_{IHmin} = 2,32 [V]$$

$$I_{D2} = k(V_{DD} - V_i - V_T)^2 = 10 \left[\frac{mA}{V^2} \right] (3,5[V] - 2,32[V] - 1[V])^2 \Rightarrow I_{D2} = 0,324[mA]$$

$$r_{D1S1} = \frac{1}{k(V_i - V_T)} = \left\{ \frac{10}{1000} \left[\frac{A}{V^2} \right] (2,32[V] - 1[V]) \right\}^{-1} \Rightarrow r_{D1S1} = 75,76[\Omega]$$

$$I_{D1} = I_{D2} + I_{OLmax} = 0,324[mA] + 1[mA] \Rightarrow I_{D1} = 1,324[mA]$$



c) MÁRGENES DE RUIDO V_{NH} , V_{NL} EN ESTADOS ALTO Y BAJO, RESPECTIVAMENTE:

MARGEN DE RUIDO EN ESTADO ALTO:

$$V_{NH} = V_{OHmin}(exc.) - V_{IHmin}(rec.) \Rightarrow V_{NH} = 3,4 [V] - 2,32 [V] = 1,08 [V]$$

MARGEN DE RUIDO EN ESTADO BAJO:

$$V_{NL} = V_{ILmax}(rec.) - V_{OLmax}(exc.) \Rightarrow V_{NL} = 1,18 [V] - 0,1 [V] = 1,08 [V]$$

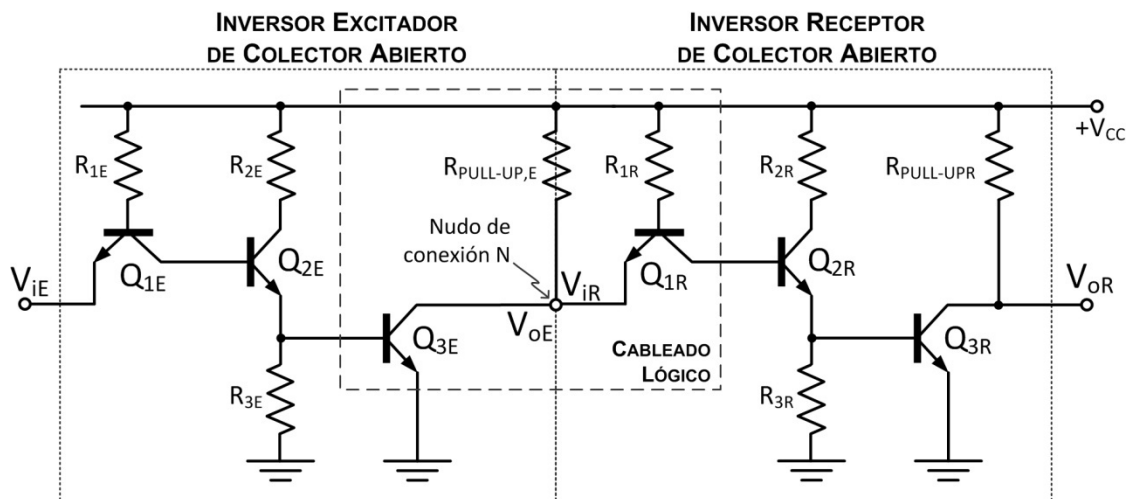
EJEMPLO 3 (T10):

Dados los siguientes datos de una puerta TTL en colector abierto: $V_{cc} = +5 [V]$, $V_{ILmax} = 0,8 [V]$, $V_{IHmin} = 2 [V]$, $I_{OLmax} = 16 [mA]$, $I_{ILmax} = -1 [mA]$, $I_{IHmax} = 40 [\mu A]$, se pide determinar para una interconexión de puertas que excitan una única entrada de una puerta (todas de este mismo tipo):

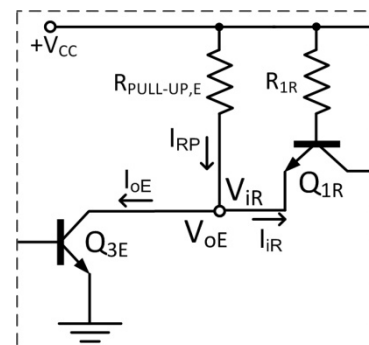
- Valor de $R_{PULL-UP}$ mínimo.
- Valor de $R_{PULL-UP}$ máximo.

PLANTEAMIENTO Y RESOLUCIÓN (INCOMPLETO)

DIBUJAMOS LA CONFIGURACIÓN ADECUADA: INVERSOR EXCITADOR CONECTADO A UN INVERSOR RECEPTOR, AMBOS CON COLECTOR ABIERTO:



Para establecer los valores máximo y mínimo de $R_{PULL-UP}$, analizaremos la etapa de cableado lógico (colector de Q_{3E} de salida del excitador conectado al emisor de Q_{1R} de entrada del receptor), encerrada con línea de guiones en la figura anterior:



¿CÓMO ESTABLECEMOS LAS CONDICIONES PARA OBTENER $R_{PULL-UP,E_{max}}$ Y $R_{PULL-UP,E_{min}}$?

Por la $R_{PULL-UP,E}$ circulará una corriente que se combinará con las I_{OE} e I_{IR} . Esta resistencia recibe el nombre de "PULL-UP" porque su función es justamente "empujar" el voltaje del colector hacia "arriba": $R_{PULL-UP}$ está conectada a $+V_{CC}$ (si estuviese conectada a masa, se denominaría $R_{PULL-DOWN}$).

Como son dos puertas, tendremos dos casos en el nudo N: estado bajo y estado alto.

$R_{PULL-UP,E_{min}}$ estará limitada por la máxima corriente que puede suministrar la puerta excitadora a nivel bajo ($I_{OL_{max}}$), y la tensión más alta que admite la receptora a nivel bajo ($V_{iL_{max}}$). De modo que, en ESTADO BAJO obtenemos la $R_{PULL-UP,E_{min}}$.

$R_{PULL-UP,E_{max}}$ estará limitada por la mínima tensión a nivel alto ($V_{iH_{min}}$) debido a la caída de tensión que producen las corrientes de entrada $I_{iL_{max}}$ de la puerta receptora. I_{OH} se considera igual a cero (no se da en el enunciado) porque la salida es de colector abierto (no hay Q_4). De modo que, en ESTADO ALTO obtenemos la $R_{PULL-UP,E_{max}}$.

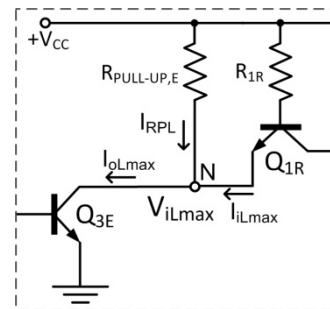
a) ANALIZANDO LA PORCIÓN DEL CIRCUITO EN ESTADO BAJO HALLAMOS LA $R_{PULL-UP,E_{min}}$:

$I_{OL_{max}} = 16$ [mA], $V_{iL_{max}} = 0,8$ [V], $I_{iL_{max}} = -1$ [mA] (es decir, 1 [mA] hacia el nudo N, ver figura de la derecha). Aplicando ley de nudos a N, y ley de Ohm sobre $R_{PULL-UP,E_{min}}$, tenemos:

$$I_{RPL} = I_{OL_{max}} - I_{iL_{max}} = \frac{V_{cc} - V_{iL_{max}}}{R_{PULL-UP,E_{min}}} \Rightarrow R_{PULL-UP,E_{min}} = \frac{V_{cc} - V_{iL_{max}}}{I_{OL_{max}} - I_{iL_{max}}}$$

$$\Rightarrow R_{PULL-UP,E_{min}} = \frac{5 [V] - 0,8 [V]}{16 [mA] - 1 [mA]} \Rightarrow \boxed{R_{PULL-UP,E_{min}} = 0,28 [k\Omega]}$$

(EjsT0910. 16)



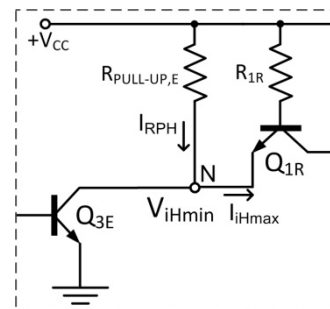
b) ANALIZANDO LA PORCIÓN DEL CIRCUITO EN ESTADO ALTO HALLAMOS LA $R_{PULL-UP,E_{max}}$:

$I_{iH_{max}} = 40$ [μ A] (es decir, 40 [μ A] desde el nudo N, ver figura de la derecha), $V_{iH_{min}} = 2$ [V]. Aplicando ley de nudos a N, y ley de Ohm sobre $R_{PULL-UP,E_{max}}$, tenemos:

$$I_{RPH} = I_{iH_{max}} = \frac{V_{cc} - V_{iH_{min}}}{R_{PULL-UP,E_{max}}} \Rightarrow R_{PULL-UP,E_{max}} = \frac{V_{cc} - V_{iH_{min}}}{I_{iH_{max}}}$$

$$\Rightarrow R_{PULL-UP,E_{max}} = \frac{5 [V] - 2 [V]}{0,04 [mA]} \Rightarrow \boxed{R_{PULL-UP,E_{max}} = 75 [k\Omega]}$$

(EjsT0910. 17)



ESTE EJEMPLO NO REQUIERE RESUMEN.

