

1-TEORIA DE FET's

1.1 ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre el transistor Mosfet es FALSA?

- [A] Tiene la puerta aislada mediante una fina capa de SiO_2
- [B] En la zona óhmica el transistor es equivalente a una resistencia que aumenta al aumentar $|V_{GS}|$
- [C] En la zona de saturación la corriente aumenta cuadráticamente con $|V_{GS}|$
- [D] El transistor PMOS es más lento que el NMOS.

1.2 En relación con el transistor Mosfet de acumulación de canal P, y suponiendo la tensión umbral V_T en valor absoluto, indique la afirmación FALSA:

- [A] El sustrato es de tipo N.
- [B] La formación del canal se obtiene con valores de tensión $V_{GS} < -V_T$
- [C] El transistor funciona en zona lineal u óhmica cuando se cumple $V_{DS} < V_{GS} + V_T$
- [D] Es más lento que el NMOS porque la movilidad de los huecos es menor que la de los electrones

1.3 En relación al transistor MOSFET de acumulación, indicad la afirmación FALSA:

- [A] Tiene la puerta aislada.
- [B] Es un dispositivo unipolar y simétrico.
- [C] En zona lineal, funciona como una resistencia variable dependiente de la tensión puerta-fuente V_{GS} .
- [D] En zona de saturación, la corriente presenta una dependencia lineal con la tensión puerta-fuente V_{GS} .

1.4 ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre el transistor Mosfet es FALSA?

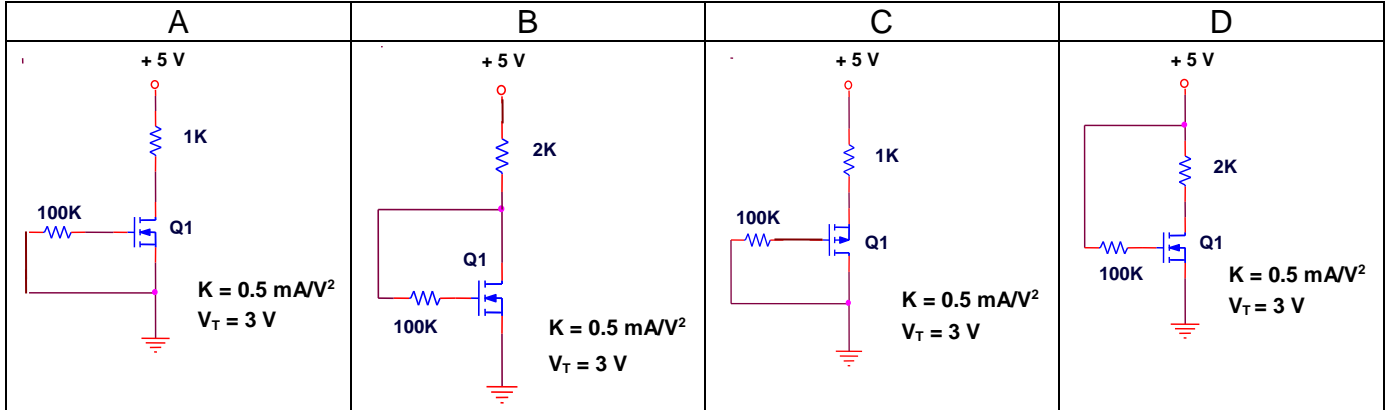
- [A] La corriente de puerta I_G es siempre cero, ya que está aislada.
- [B] Un Mosfet de canal N se encontrará saturado siempre que se cumpla que $V_{DS} < (V_{GS} - V_T)$
- [C] En la zona de saturación, I_{DS} se mantendrá constante para una V_{GS} dada, aunque varíe la V_{DS} .
- [D] En la zona óhmica y para valores reducidos de V_{DS} , el MOSFET se comporta como una resistencia dependiente de V_{GS} .

1.5 ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre el transistor MOSFET de acumulación de canal N es FALSA?

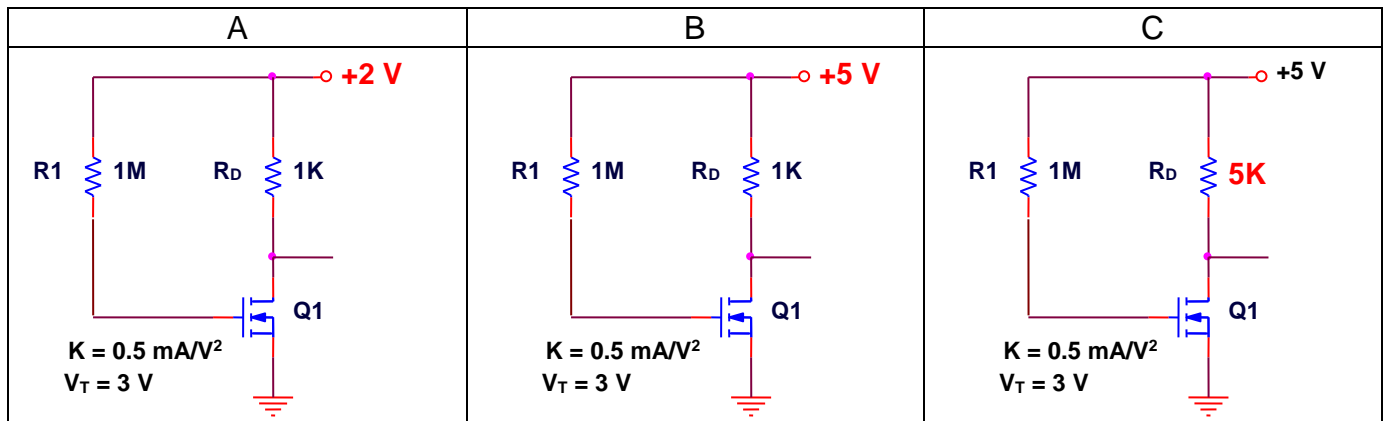
- [A] La Fuente y el Drenador son zonas semiconductoras altamente dopadas de tipo N, mientras que el Substrato es de tipo P.
- [B] La Puerta está unida a una capa muy fina de aislante, lo que justifica que la corriente por dicho terminal se considere nula ($I_G = 0$).
- [C] En un transistor MOSFET que se encuentre en conducción ($I_{DS} > 0$), si alguno de los terminales del transistor está conectado al Substrato sabremos que se trata del Drenador.
- [D] En un transistor MOSFET que se encuentre en conducción ($I_{DS} > 0$), dependiendo de la zona de funcionamiento, el dispositivo puede comportarse como una resistencia (zona lineal/óhmica) ó como una fuente de corriente (saturación).

2-ZONA DE FUNCIONAMIENTO

2.1 Indicar la región de funcionamiento de los transistores MOSFET de los siguientes circuitos:



2.2 Indicar la región de funcionamiento de los transistores MOSFET de los siguientes circuitos:



2.3 ¿Cuál de los siguientes transistores funciona en saturación? Suponed para todos ellos:
 $K = 0.25 \text{ mA/V}^2$, $|V_T| = 1 \text{ V}$:

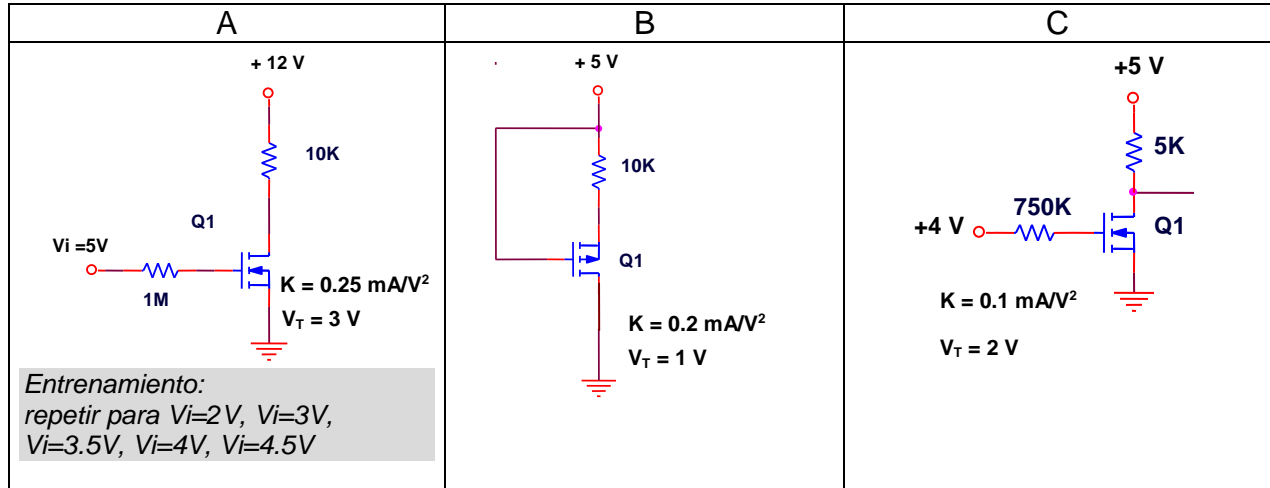
- [A] NMOS: $V_{DS} = 5 \text{ V}$, $V_{GS} = 0 \text{ V}$
- [B] PMOS: $V_{DS} = -1 \text{ V}$, $V_{GS} = -3 \text{ V}$
- [C] PMOS: $V_{DS} = -4 \text{ V}$, $V_{GS} = -4 \text{ V}$
- [D] NMOS: $V_{DS} = 5 \text{ V}$, $V_{GS} = 7 \text{ V}$

2.4 En la zona de saturación de un MOSFET de acumulación de canal P podemos afirmar que:

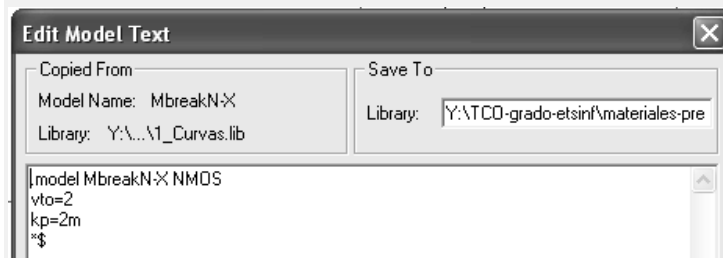
- [A] V_{GS} es negativa, V_{DS} es positiva e I_{DS} es negativa
- [B] V_{GS} es positiva, V_{DS} es positiva e I_{DS} es negativa
- [C] V_{GS} es negativa, V_{DS} es negativa e I_{DS} es negativa
- [D] I_{DS} es siempre cero pues en este tipo de transistores no se puede formar el canal.

3- PUNTO DE TRABAJO

3.1 Analizar el punto de trabajo Q (V_{GS} , I_{DS} , V_{DS}) de los transistores MOSFET en los siguientes circuitos:



Además del análisis teórico, simule con PSpice los tres circuitos. Utilice los componentes: **VDC**, **EGND**, **r**, **MbreakN3** y **MbreakP3**. Haga doble clic en el mosfet y fije $L = 1\mu$, $W = 2\mu$.



Para especificar V_T y K , hacemos clic primero en el símbolo del NMOS (se pone de color rojo), y luego en el menú **Edit/Model/Edit Instance Model (Text)**. Insertamos dos líneas para **vto** y **kp**. V_T coincide con V_{to} , y K está relacionada con K_p por la expresión: $K = (W/L) K_p/2$. Con los valores anteriores de L y W , $K = K_p$.

PMOS: la k_p es negativa, es decir, $K_p = -K$, y se debe poner la fuente **S** arriba, con **CTRL-R** y **CTRL-F**

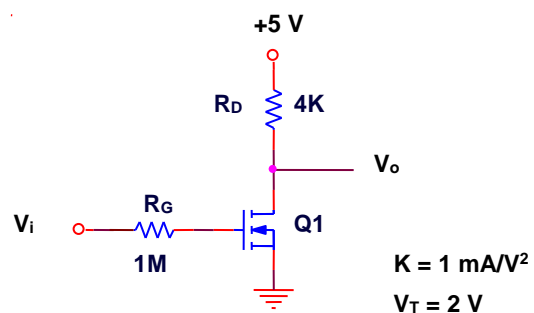
Haga una simulación del punto de operación (**Analysis/Setup/Bias Point Detail**).

A continuación, utilice el comando **Analysis/simulate (F11)** para iniciar la simulación y active los botones **V** e **I** para visualizar las corrientes y tensiones en el circuito.

Este tipo de simulación es especialmente indicada para el análisis estático de cualquier circuito, y nos permite observar que ocurre cuando variamos tensiones, resistencias, o constantes del transistor. Se recomienda simular otros circuitos del boletín.

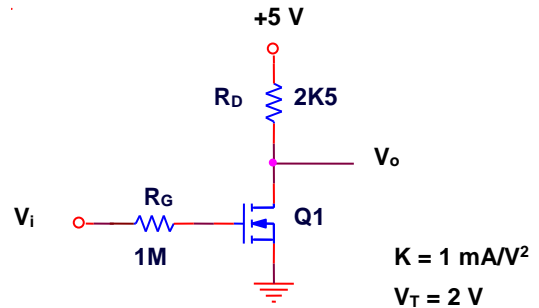
3.2 A la vista del circuito de la figura, determinad la tensión de entrada para que la salida sea de 4V.

- [A] $V_i = 1.5V$
- [B] $V_i = 2V$
- [C] $V_i = 2.25V$
- [D] $V_i = 2.5V$



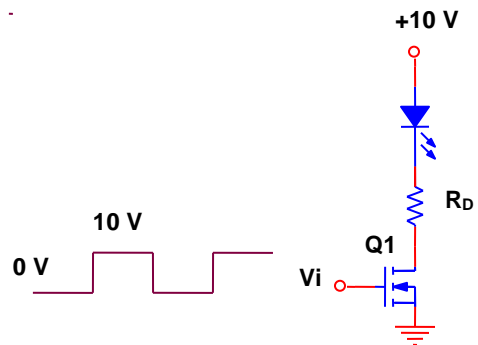
3.3 En el circuito de la figura, ¿qué valor de V_i hará que el transistor se encuentre en el límite entre la zona de saturación y la óhmica?

- [A] $V_i = 3.54$ V.
- [B] $V_i = 3.23$ V.
- [C] $V_i = 2.86$ V.
- [D] Ninguno. Si el transistor conduce, estará siempre saturado.



3.4 En el circuito de la figura, indique el valor de R_D para que se ilumine el LED con una corriente I_{LED} de valor 20mA. Suponga que cuando el MOSFET conduce, lo hace en zona lineal u óhmica.

- [A] $R_D = 500$ k Ω
 - [B] $R_D = 500$ Ω
 - [C] $R_D = 353$ Ω
 - [D] $R_D = 2.2$ k Ω
- Datos LED:**
 $I_{LED} = 20$ mA
 $V_{LED} = 1.7$ V
- Datos Mosfet:**
 $V_T = 2$ V
 $K = 1$ mA/V²
 Zona lineal $\rightarrow I_{DS} = 2K (V_{GS} - V_T)V_{DS}$



3.5 Dado el circuito de la figura:

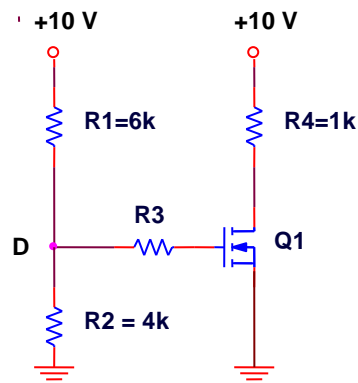
Transistor:

Sat: $I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$

Óhmica: $I_{DS} = 2K (V_{GS} - V_T)V_{DS}$

$V_T = 2$ V

$K = 1$ mA/V²



- [A] Calcule la tensión en el punto D
- [B] Calcule el punto de trabajo Q (V_{GS} , I_{DS} , V_{DS})
- [C] Recalcule el valor de la resistencia R_4 para situar el punto de trabajo del circuito del apartado A en el límite entre saturación y zona óhmica

3.6 El transistor MOS empleado en el circuito de la figura B tiene una curva característica como la mostrada en la figura A. A la vista de ello, se pide:

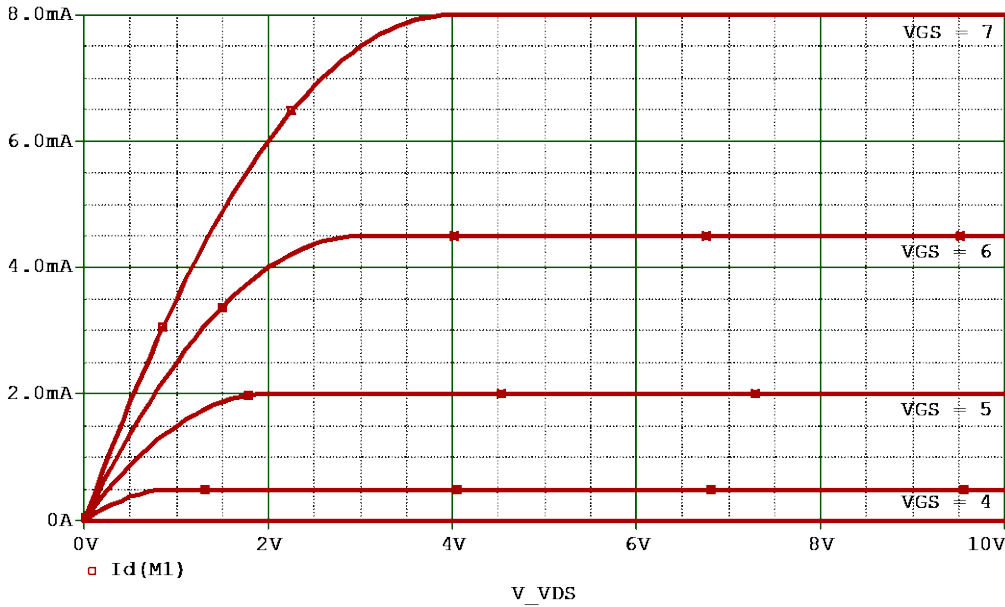


Figura A

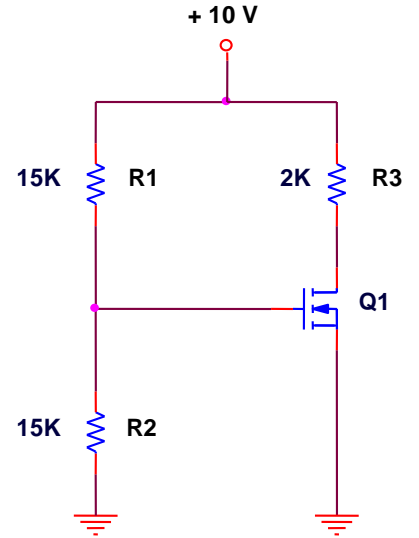


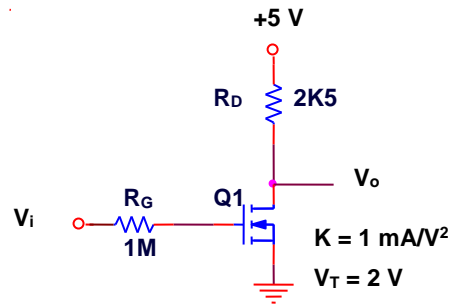
Figura B

PREGUNTAS	RESPUESTAS
1. Indica el tipo de transistor:	
2. Valor de V_T	V
3. Valor de K.	mA/V^2
4. Dibuja la recta de carga. Valor de $I_{D\text{Smax}}$	mA
5. Calcula el valor de V_{GS} en el circuito.	V
6. Calcula el valor de I_D en el circuito.	mA
7. Calcula el valor de V_{DS} en el circuito.	V
8. ¿Cuál es el valor límite de R_3 a partir del que el MOSFET entraría en la zona óhmica?.	$\text{k}\Omega$

Además del análisis teórico, simule con PSpice el circuito, véase indicaciones el ejercicio 3.1. Para generar las curvas de drenador como aparecen en la figura, véase la práctica 4. Utilice los componentes: **VDC**, **EGND**, **r**, **MbreakN3** realice una simulación del punto de trabajo (**Bias Point Detail**).

3.7 Determine el punto de trabajo Q (V_{DS} , I_{DS}) del transistor de la figura cuando $V_i = 3V$

- [A] $V_{DS} = 1.5 V$, $I_{DS} = 1.4 mA$.
- [B] $V_{DS} = 3 V$, $I_{DS} = 0.8 mA$.
- [C] $V_{DS} = 2.5 V$, $I_{DS} = 1 mA$.
- [D] $V_{DS} = 0.2 V$, $I_{DS} = 1.92 mA$.



Además del análisis teórico, simule con PSpice el circuito. Utilice los componentes: **VDC**, **EGND**, **r**, **MbreakN3**. Haga doble clic en el mosfet y fije **L = 1u**, **W = 2u**. Para especificar VT y K véase ejercicio 3.1. **Vo** es sólo un rótulo, no coloque ninguna **VDC** en ese punto.

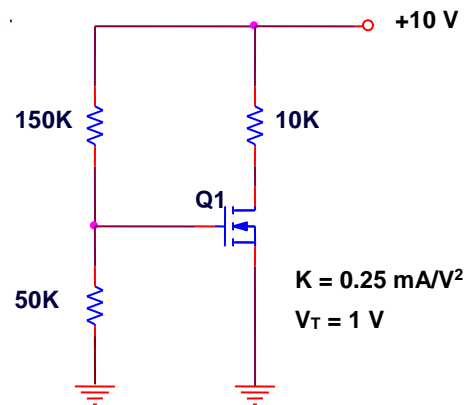
Especifícad una simulación DC Sweep en Analysis/Setup. Vamos a generar la curva de transferencia $V_o = f(V_i)$ del circuito. Para ello seleccionaremos V_i como variable de barrido, y definiremos una variación entre 0 y 5V con incrementos de 0.01V.

A continuación, utilícese el comando Analysis/simúlate (F11) para iniciar la simulación. Se activa PROBE y con Trace/Add trace (Insert) se selecciona la tensión de salida. La salida está en el drenador del transistor, por lo que una forma de especificarla es $V(M1:d)$, donde M1 sería el nombre del transistor.

Este tipo de simulación es especialmente indicada para inversores y puertas, donde tenemos entradas y salidas. Se recomienda simular otros circuitos del boletín. Como referencia, se puede ver práctica 4 y 5.

3.8 El punto de trabajo del transistor de la figura es:

- [A] $V_{GS} = 2.5 V$, $V_{DS} = 5 V$, $I_{DS} = 1 mA$.
- [B] $V_{GS} = 2.5 V$, $V_{DS} = 4.4 V$, $I_{DS} = 0.56 mA$.
- [C] $V_{GS} = 5 V$, $V_{DS} = 4.5 V$, $I_{DS} = 1.5 mA$.
- [D] $V_{GS} = 1 V$, $V_{DS} = 10 V$, $I_{DS} = 0 mA$.

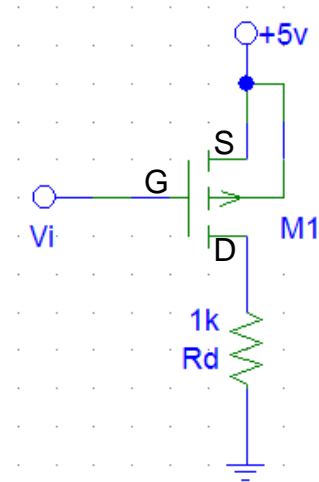


3.9 Indique la respuesta CORRECTA sobre la polarización del transistor PMOS del circuito.

- [A] Si $V_i = 0$ el transistor está en corte.
- [B] Si $V_i = 2V$ el transistor está en saturación
- [C] Si $V_i = 2V$ el transistor está en óhmica.
- [D] Con $V_i = 2V$, la $V_{GS} = 2V$

Datos: $V_T = 1V$, $K = 0.5 \text{ mA/V}^2$

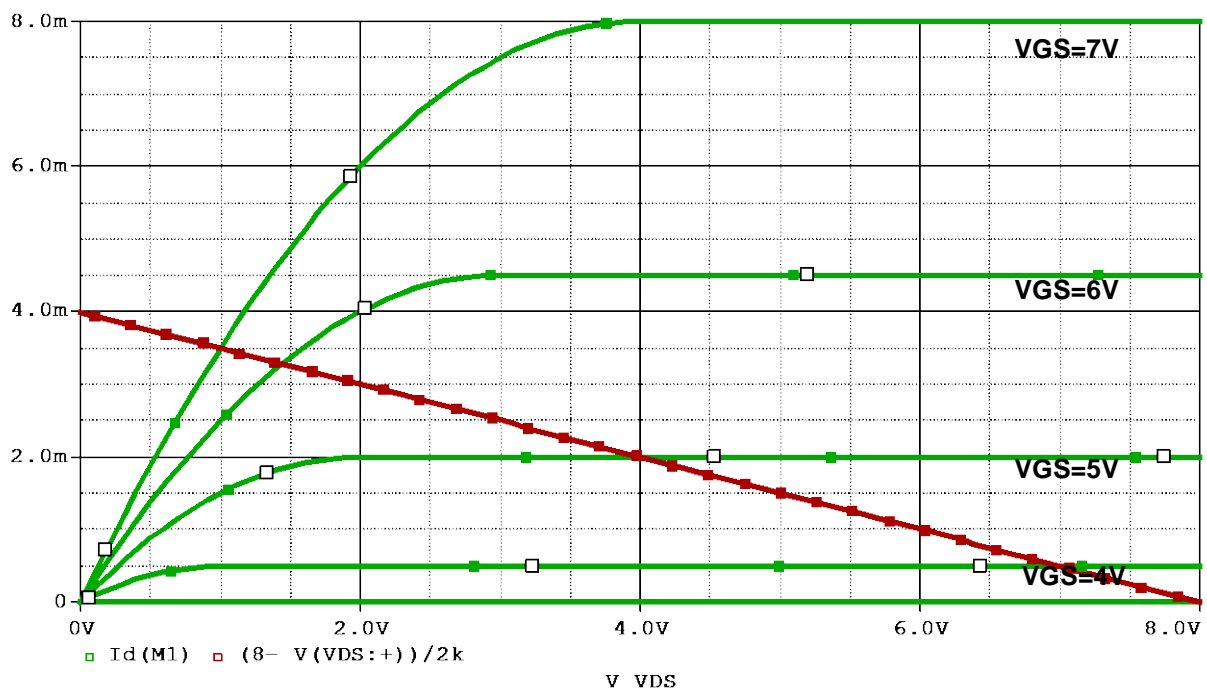
Entrenamiento: Obtener el punto Q para los siguientes valores de V_i : 5V, 4V, 3V, 0V, anote en qué zona está en cada caso



4-RECTA DE CARGA

4.1 La figura incluye tanto las curvas características de un transistor y la recta de carga del correspondiente circuito de polarización. Rellene la siguiente tabla.

PREGUNTAS	RESPUESTAS
1. Indica el tipo de transistor:	
2. Valor de V_T	(Volts)
3. Valor de K.	(mA/V ²)
4. Calcula el valor de V_{DD} en el circuito.	(Volts)
5. Calcula el valor de R_D en el circuito.	(k Ω)
6. Determine V_{DS} e I_{DS} e indique la zona para $V_{GS} = 5V$	(Volts)
7. Determine V_{DS} e I_{DS} e indique la zona para $V_{GS} = 6V$	(k Ω)



4.2 A partir de la gráfica del ejercicio anterior

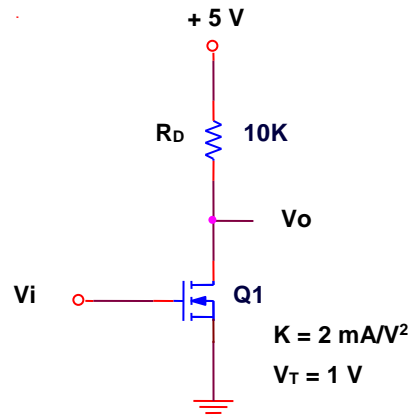
- Si $V_{GS} = 7V$, ¿qué valor de R_D hace que V_{DS} sea 2V?
- Si $V_{GS} = 5V$, y $R_D = 1k$, ¿qué V_{DD} hace que el mosfet esté entre óhmica y saturación?
- Si $V_{DD} = 3V$, y $R_D = 0.5k$, ¿a partir de qué V_{GS} se alcanza una $I_{DS} = 2mA$?
- Si $V_{DD} = 3V$, y $V_{GS} = 6V$, ¿se puede conseguir la saturación para algún valor de R_D ?
- [conmutación] Si $V_{DD} = 5V$, y $R_D = 0.5k$, ¿podría funcionar el circuito como un inversor con una tensión de control de $V_{GS} = 0V$ para "0" y $V_{GS} = 5V$ para "1"? ¿Qué valdría la salida (V_{DS}) para cada caso?
- Para el caso de la recta de carga dibujada, ¿qué potencia disipa el Mosfet y la resistencia para $V_{GS} = 5V$? ¿y para $V_{GS} = 4V$?

5-CONMUTACIÓN

5.1 Indicad los niveles de tensión de salida en el inversor lógico de la figura si V_i es una onda cuadrada con valores 0V y 5V. Usad la expresión aproximada para la zona óhmica del transistor: $I_{DS} \approx 2K(V_{GS}-V_T)V_{DS}$.

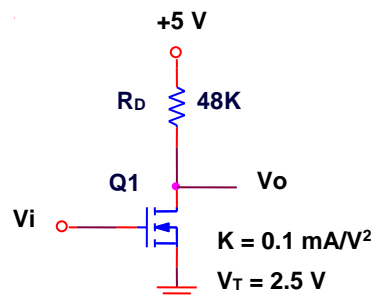
- [A] 5 V y 1 V
- [B] 5 V y 0.03 V
- [C] 5 V y 0.5 V
- [D] 2.5 V y 0.5 V

Entrenamiento:
 Obtener V_o con $V_i=5V$ para los siguientes valores de R_D :
 5k, 2k, 1k, 0.5k
 ¿Qué tendencia tiene V_o ?



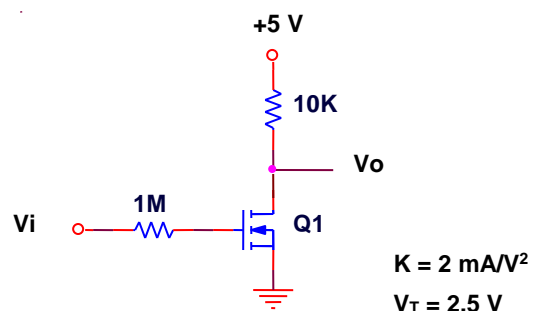
5.2 Indicad los niveles de tensión mínima y máxima de la salida V_s en el inversor lógico de la figura si V_i es una onda cuadrada con valores mínimo y máximo de 0V y 5V. [Suponed que en la zona óhmica la $R_{DS(ON)}$ equivalente del MOSFET se puede aproximar por: $R_{DS(ON)} \approx 1/(2K(V_{GS}-V_T))$]

- [A] 5V y 0.05V
- [B] 5V y 0.2V
- [C] 5V y 0.5V
- [D] 2.5V y 0.5V



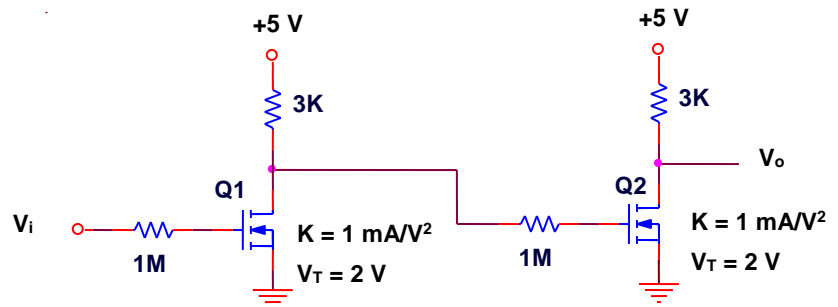
5.3 A partir del siguiente circuito inversor NMOS:

- [A] Obtener la R_{on} equivalente del transistor con una entrada a nivel alto ($V_i = 5V$). Utilizar la expresión simplificada de la zona óhmica.
- [B] Obtener V_{gs} , I_{ds} , V_{ds} y V_o con una entrada a "1"
- [C] Obtener V_{gs} , I_{ds} , V_{ds} y V_o con una entrada a "0" ($V_i = 0V$)
- [D] Se quiere mejorar la tensión de salida a nivel bajo, de modo que sea menor o igual que **0.01V**. Calcular el nuevo valor de la resistencia de drenador.
- [E] Obtener el rango de valores en V_i que el inversor considera como "0". Considerar $V_{OHmin} = 4.5V$ y la R obtenida en [D].
- [F] Obtener el rango de valores en V_i que el inversor considera como "1". Considerar $V_{OLmax} = 0.5V$ y la R obtenida en [D].



5.4 Dada la siguiente puerta no inversora, construida a partir de dos circuitos inversores NMOS idénticos, indique los valores obtenidos en la salida frente a una entrada consistente en un tren de pulsos con 0V a nivel bajo y 5V a nivel alto. (Utilice la expresión aproximada para la zona óhmica: $I_{DS}=2K(V_{GS}-V_T)V_{DS}$)

- [A] 0V y 5V.
 [B] 0.26V y 5V.
 [C] 0.35V y 5V.
 [D] 0.1V y 5.5V.

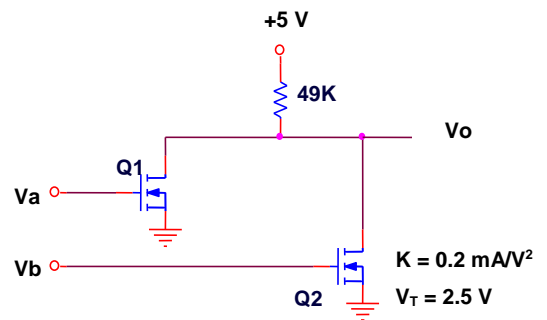
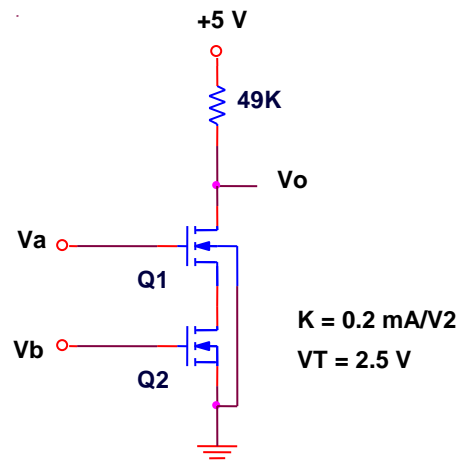


5.5 Los siguientes circuitos son puertas lógicas NMOS de dos entradas.

Nota: para el circuito de la derecha hacer los cálculos para uno o dos transistores conduciendo. Utilizar la expresión simplificada de la región óhmica para obtener la R_{DSon} .

[A] ¿De que puertas lógicas se trata?

[B] Calcular la tensión en V_o para cada estado de salida. Considerar en las entradas 5V para nivel alto y 0V para nivel bajo.



Además del análisis teórico, simule con PSpice los dos circuitos. Utilice los componentes: **VDC**, **EGND**, **r**, **MbreakN**. Haga doble clic en el mosfet y fije $L = 1\mu$, $W = 2\mu$. Para especificar V_T y K véase ejercicio 3.1. V_o es solo un rótulo, no coloque ninguna **VDC** en ese punto.

Sustituiremos la fuente **VDC** de entrada (V_a y V_b) por una fuente de tipo **VPULSE**. Especificad los siguientes parámetros:

$V1 = 0V$ (nivel bajo)	$TF = 2n$ (tiempo del flanco de bajada)
$V2 = 5V$ (nivel alto)	$PW = 40n$ (duración del nivel alto)
$TD = 10n$ para V_a y $30n$ para V_b (tiempo inicial)	$PER = 100n$ (duración del período)
$TR = 2n$ (tiempo del flanco de subida)	No cambiar el resto de parámetros

Situad sendos marcadores de tensión (Voltage/Level Marker) en la entrada y en la salida.

Seleccionad una simulación de tipo Transient y desactivar la tipo DC Sweep, mediante el menu Analysis/Setup/Transient.

En la ventana de Transient indicad un Print step = 1n, Final time=120n.

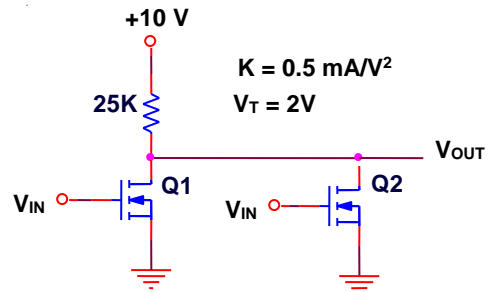
Simular y observar todas las combinaciones de entrada y los valores de salida.

Este tipo de simulación es especialmente indicada para inversores y puertas, donde tenemos entradas y salidas. Se recomienda simular otros circuitos del boletín. Se puede observar tiempos de retardo en las transiciones. Véase práctica 5.

5.6 Sabiendo que la tensión de entrada (V_{IN}) es de 10 V para ambos transistores, indique cuál de las siguientes afirmaciones es **CIERTA** con respecto a la tensión de salida (V_{OUT}).

Nota: En zona óhmica utilice la expresión $I_{DS} = 2K(V_{GS} - V_T) V_{DS}$, y en zona de saturación $I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$.

- [A] Ambos transistores están cortados, por lo que $V_{OUT} \approx 0.025V$ (por corrientes de fuga).
- [B] Ambos transistores conducen, por lo que $V_{OUT} \approx 0.025 V$.
- [C] En este circuito, los transistores forman una AND cableada por lo que $V_{OUT} \approx 10 V$ (un “1” lógico).
- [D] No es aconsejable realizar la conexión indicada, el valor de la salida queda indeterminado.

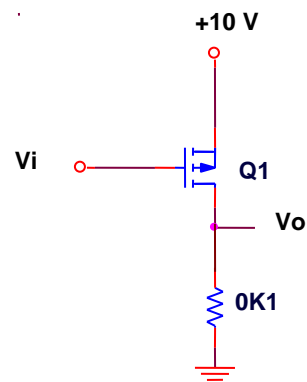


5.7 Dado el interruptor de la figura, con una señal de control V_e que es una onda cuadrada variando entre 0 y V_{DD} , se pregunta lo siguiente:

[A] Considerando el transistor como una resistencia variable controlada por voltaje, calcular su resistencia cuando está cerrado para que el valor de la tensión en sus extremos sea 0.01 V.

[B] Si la V_T del transistor es de 2 V, encontrar el valor de K del transistor. Para ello considerar que en la zona óhmica (o también denominada zona lineal) el valor de la corriente I_{DS} puede aproximarse por la siguiente expresión:

$$I_{SD} \approx K [2 (V_{GS} + V_T) V_{DS}].$$



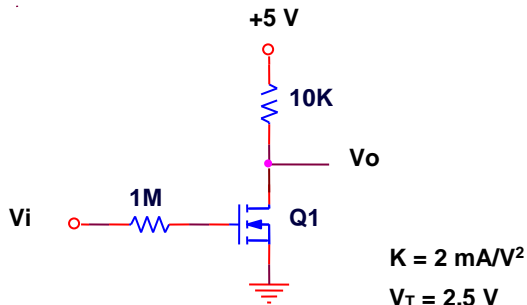
5.8 Diseñar un inversor NMOS con resistencia de pull-up R_D que cumpla los siguientes requisitos:

- Potencia estática consumida en estado de salida bajo = 0.10 mW
- $V_{OL} = 0.5 V$
- $V_{OH} = V_{DD} = 5 V$
- Transistor: $V_T = 1 V$

Calcular R_D y la K del transistor.

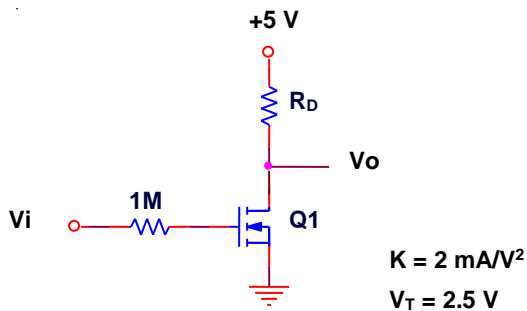
5.9 Indica cómo afecta el valor de R_D en los parámetros consumo, área ocupada, niveles lógicos y velocidad, de los circuitos lógicos NMOS.

- 5.10 A partir del siguiente circuito inversor NMOS. Calcule los valores límite de la tensión de entrada V_i que hacen que el transistor de la figura trabaje en conmutación: V_i entre corte y sat, y V_i entre sat. y óhmica. Nota: en este segundo punto, se recomienda usar la ecuación de saturación.

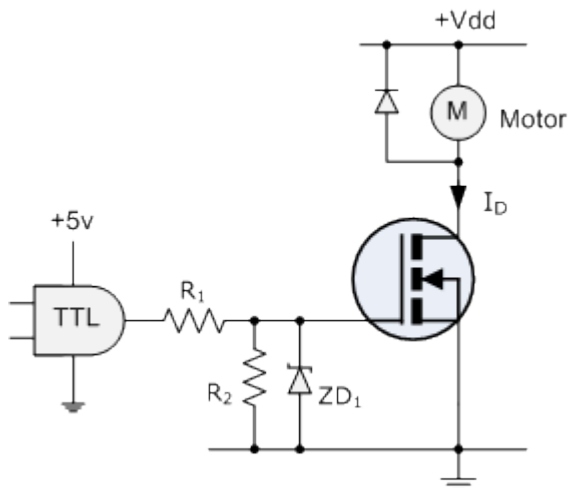


Entrenamiento: Repetir para los siguientes valores de R_D : 8k, 6k, 4k, 2k ¿Qué tendencia tiene V_i ?

- 5.11 A partir del siguiente circuito inversor NMOS. Calcule el valor de R_D , para que se alcance la zona óhmica desde saturación con un valor de $V_i = 4\text{V}$. Nota: se recomienda usar la ecuación de saturación.

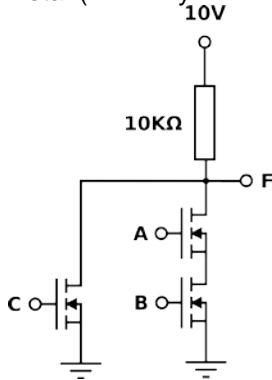


- 5.12 En un pequeño robot se quiere controlar los motores de las ruedas con un circuito de lógica TTL con niveles de 0V y 5V. Como el motor consume más corriente de la que es capaz de suministrar las puertas, se diseña el siguiente circuito de potencia con un mosfet. El motor es de 12V y consume 60mA. R_1 , R_2 y el diodo Zener ZD_1 componen un circuito de protección (opcional), por lo que a la puerta del mosfet llegan 0V y 5V y no afecta a nuestros cálculos ya que $I_G = 0$. ¿Qué salida de la puerta pone en marcha el motor?. Calcule la R_{ON} del mosfet. Calcule la potencia disipada por el motor y por el mosfet cuando la salida TTL es 0V y cuando es 5V. Datos: $V_T = 1 \text{ V}$, $K = 5 \text{ mA/V}^2$, $V_{dd} = 13.5\text{V}$



5.13 Considere el siguiente circuito e indique cuál de las siguientes afirmaciones es CIERTA. (Mayo 2012)

Nota: ($V_T=1V$ y $K=1mA/V^2$)

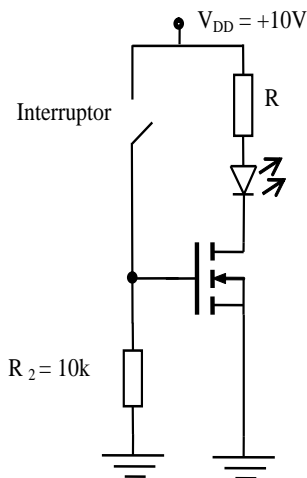




- [A] La función lógica es: $F(A,B,C)=(A+B) \cdot C$
- [B] Se trata de una puerta EXOR de tres entradas.
- [C] La función lógica es: $F(A,B,C)=A+(B \cdot C)$
- [D] Si las entradas son $C=0V$, $B=10V$ y $A=0V$, la salida F es 10V.

5.14 El siguiente circuito enciende un LED con un interruptor. Rellene la tabla y calcule la resistencia R para que el LED presente una luminosidad adecuada. Justifique la respuesta. (**Nota:** Se recomienda sustituir el transistor por la resistencia equivalente de zona lineal, R_{on} . Verifique posteriormente que el transistor funciona en zona lineal). (Junio 2012).

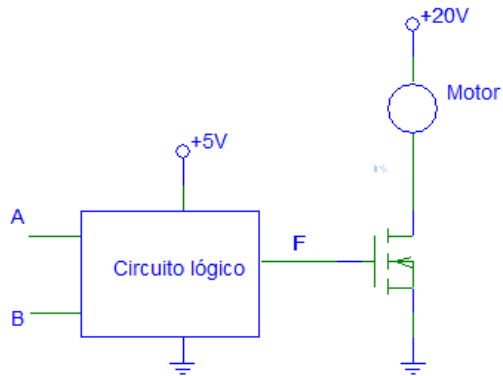
Datos LED: $I_{LED}= 10mA$, $V_{LED}=1.5V$

Datos Mosfet: $V_T=3V$, $K=1mA/V^2$



Interruptor	V_{GS}	I_{DS}	LED (encendido/apagado)
Abierto 			
Cerrado 			

5.15 Para controlar el funcionamiento de un motor por parte del circuito lógico anterior, se diseña el siguiente esquema. El motor funciona con 18V y 60mA. El transistor Mosfet $V_T = 1\text{ V}$, $K = 3.78\text{ mA/V}^2$



Rellene la siguiente tabla (justifique los cálculos):

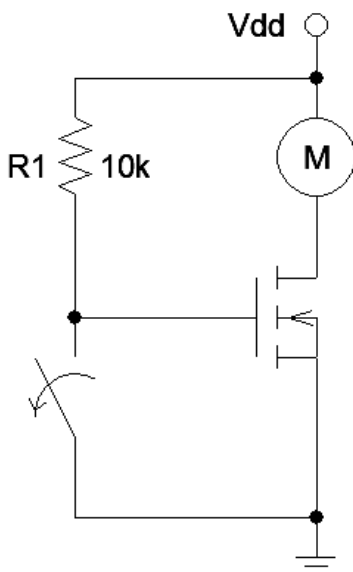
F	Motor (marcha/paro)	Potencia disipada motor (mW)	Potencia disipada transistor (mW)
"0"			
"1"			

Indique el valor de R_{on} del transistor:

5.16 Se quiere utilizar un Mosfet para controlar un pequeño motor eléctrico con un interruptor de control como muestra la figura. Para ello, se sustituye la resistencia R_D por el motor y $V_{dd} = 8\text{ V}$. El motor funciona con 7.5V y 2mA. El Mosfet conduce en zona óhmica. Rellene la siguiente tabla, justificando analíticamente las respuestas.

El transistor Mosfet $V_T = 4\text{ V}$, $K = 0.5\text{ mA/V}^2$

Para que el motor se ponga en marcha, ¿cómo debe estar el interruptor de control? (abierto o cerrado): _____
Justifique la respuesta

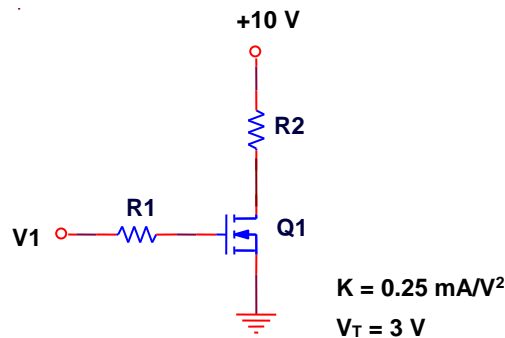


V_{DS}	V
I_{DS}	mA
R_{ON} (Mosfet)	kΩ
Potencia consumida por el motor: $P_{MOTOR} = V_{motor} I_{motor}$	mW
Potencia consumida por el Mosfet: $P_{MOSFET} = V_{DS} I_{DS}$	mW

6-PROBLEMAS

6.1 El siguiente circuito de la figura utiliza un MOSFET cuyos datos se muestran. Sabiendo que $R_2=10\text{k}\Omega$, $R_1=1\text{M}\Omega$, se pide:

Nota: En zona óhmica utilice la expresión: $I_{DS} = 2K(V_{GS} - V_T) V_{DS}$, y en zona de saturación: $I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$.



[A] Calcule el punto de trabajo del transistor cuando la tensión de entrada sea $V_1=4\text{V}$.

Respuesta:

$V_{GSQ} =$	$V_{DSQ} =$	$I_{DSQ} =$
-------------	-------------	-------------

[B] Calcule el punto de trabajo del transistor cuando la tensión de entrada sea $V_1=6\text{V}$.

Respuesta:

$V_{GSQ} =$	$V_{DSQ} =$	$I_{DSQ} =$
-------------	-------------	-------------

6.2 Se quiere diseñar una **puerta NOR de 3 entradas**, con transistores NMOS y los elementos adicionales necesarios:

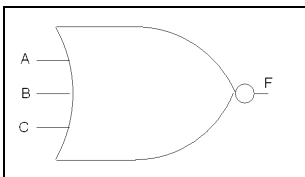
Datos para los transistores NMOS: $K=0.5 \text{ mA/V}^2$, $V_T=3\text{V}$

Tensión de alimentación de la puerta lógica: $V_{DD} = 5\text{V}$

Supón los siguientes valores digitales de entrada: "0" = 0V, "1" = 5V

Nota : En zona óhmica utiliza la expresión: $I_{DS} \approx 2K(V_{GS} - V_T) V_{DS}$, y en zona de saturación: $I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$

a) Dibuja el circuito con transistores e indica la tabla de verdad (con "1"s y "0"s) de la puerta.



b) Calcula la tensión en F cuando $A=B=C=$ "0".

- Justifica la zona de funcionamiento de los transistores.
- Justifica la tensión en F.
- Justifica las corrientes en los transistores.

c) Calcula la tensión en F cuando $A=$ "1", $B=C=$ "0". Considera una $R_D = 4\text{k}$.

- Justifica la zona de funcionamiento de los transistores
- Justifica la tensión en F
- Justifica las corrientes en los transistores

d) Diseña R_D para que $V_{OL} \leq 0.25\text{V}$.

Supón inicialmente un solo transistor conduciendo.

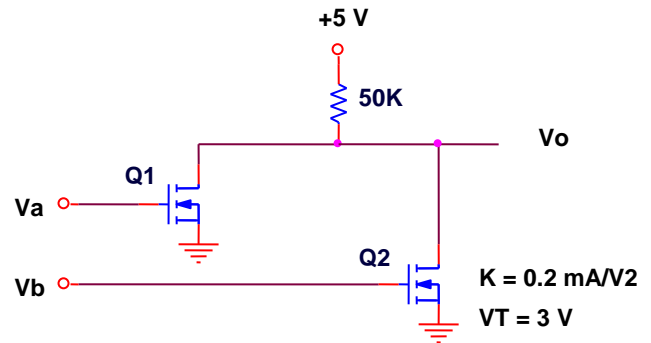
¿Cómo varía V_{OL} cuando conduce más de un transistor? Calcula las nuevas V_{OL}

6.3 El circuito de la figura es una sencilla puerta lógica basada en transistores Mosfet, se pide:

Datos:

Sat: $I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$

Óhmica: $I_{DS} = 2K (V_{GS} - V_T)V_{DS}$



- [A] Calcule el valor de la tensión de salida V_o cuando $V_a = 3.5 \text{ V}$ y $V_b = 0.5 \text{ V}$, así como el estado de cada transistor (Justifíquese).

$V_o =$	
Zona M1:	
Zona M2:	

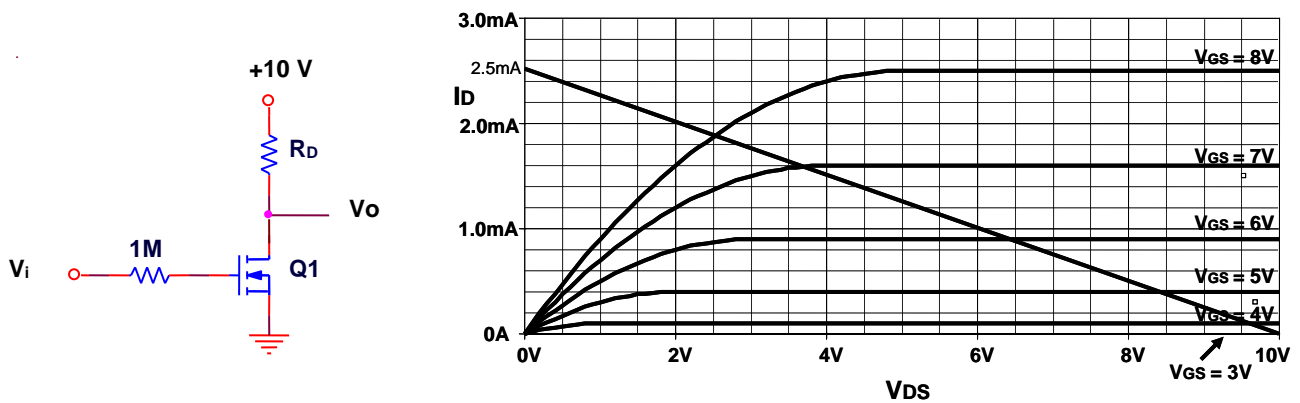
- [B] Si $V_b = 0 \text{ V}$ y la salida $V_o = 0.2 \text{ V}$, ¿Cuál será el valor de la entrada V_a que produce dicha tensión de salida? (Supóngase transistor M1 en zona óhmica, y calcúlese el valor de la resistencia equivalente $R_{DS(on)}$ del transistor)

$R_{DS(on)} =$	
$V_a =$	

- [C] Como ya se ha mencionado, el circuito corresponde a una puerta lógica. Indica cuál es la función lógica de la salida V_o en función de las entradas V_a y V_b , así como la familia lógica a la que pertenece.

Función lógica:	
Indique la Familia: (TTL, CMOS, NMOS o PMOS)	

6.4 A la vista del circuito con transistor de la figura y la gráfica adjunta con la recta de carga, se pide:



Ecuación en zona saturación: $I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$

Ecuación en zona óhmica: $I_{DS} = K [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$

Ecuación en zona ohmica simplificada: $I_{DS} = 2K (V_{GS} - V_T) V_{DS}$

[A] Obtenga e indique el valor de los parámetros V_T y K del MOSFET, a la vista de los datos suministrados en el enunciado y la gráfica adjunta.

[B] ¿Cuál es el valor de la resistencia R_D del circuito? Justifique la respuesta. (Sugerencia: utilice la recta de carga)

[C] Obténgase analíticamente el valor de la corriente de drenador I_{DS} para una $V_i = 6.5V$ e indique sobre la gráfica el punto de trabajo. ¿En qué zona de trabajo se encuentra el transistor? Justifique la respuesta e indique los valores del punto de trabajo (I_{DQ} , V_{DSQ} y V_{GSQ})

[D] Indique los valores límite de la tensión de entrada V_i que hacen que el transistor de la figura trabaje en conmutación ($V_i(\text{corte})$ y $V_i(\text{ohmica})$). Justifique la respuesta.

6.5 Dado el siguiente circuito:

Datos:

$R_1 = 1\text{ K}\Omega$

$V_1 = 10\text{ V}$

MOSFET:

$K = 0.01\text{ mA/V}^2$

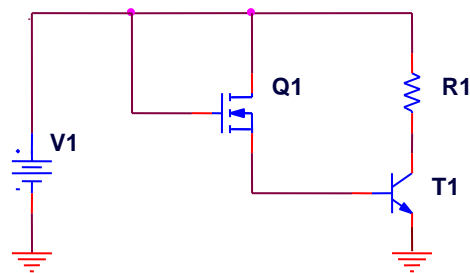
$V_T = 4.3\text{ V}$

Bipolar :

$V_{BE(ON)} = 0.7\text{ V}$

$V_{CE(SAT)} = 0.2\text{ V}$

$\beta = 20$

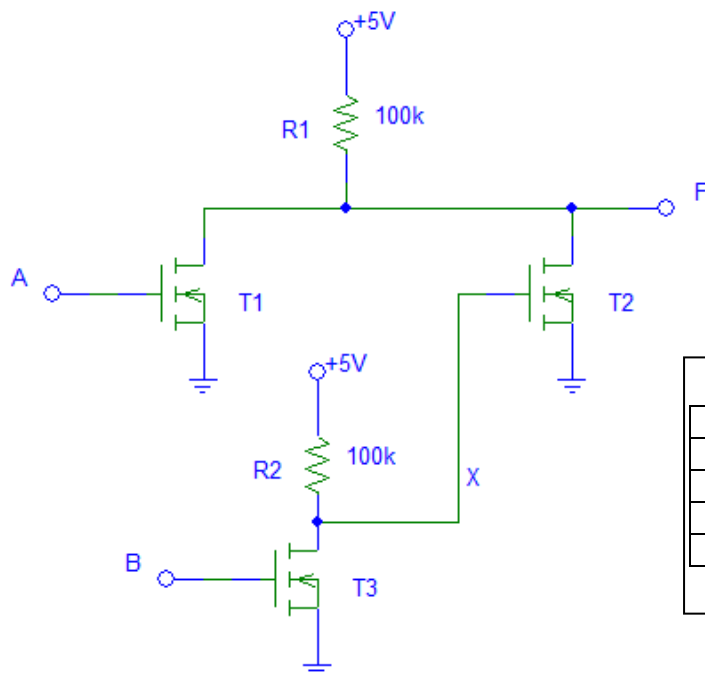


[A] Calcule la tensión con respecto a masa que aparece en el colector del transistor bipolar. Justifique el valor obtenido.

[B] Si se sustituye el transistor MOSFET por una resistencia R_2 , de manera que el punto de trabajo del transistor bipolar fuese como en el apartado anterior. ¿Cuál sería el valor de la resistencia?

6.6 El circuito digital de la figura, diseñado con transistores MOSFET, tiene entradas A y B, y salida F.

Nota: En zona óhmica utilice la expresión aproximada $R_{ON} \approx 1/(2K(V_{GS} - V_T))$



Parámetros
transistores:
 $V_T = 0.5 \text{ V}$
 $K = 0.1 \text{ mA/V}^2$

[A] (0.5 Puntos) Rellene la siguiente tabla de verdad e indique la expresión lógica de F en función de las entradas A y B.

A	B	X	F
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

[B] Suponga que $A = 0V$ ("0" lógico) y $B = 5V$ ("1" lógico).

Nota: como el circuito es digital, los transistores funcionan en conmutación, entre corte y zona lineal (Ron).

- Dibuje el circuito eléctrico equivalente (sustituya cada transistor por R_{on} o un interruptor abierto) y efectúe los cálculos para rellenar la tabla siguiente.

Ron (kΩ)	Zona T1	Zona T2	Zona T3	V _X (Volt)	V _F (Volt)	Consumo estático (mA)	Consumo estático (mW)

[C] Suponga que $A = 5V$ ("1" lógico) y $B = 0V$ ("0" lógico).

- Dibuje el circuito eléctrico equivalente (sustituya cada transistor por R_{on} o un interruptor abierto) y efectúe los cálculos para rellenar la tabla siguiente.

Ron (kΩ)	Zona T1	Zona T2	Zona T3	V _X (Volt)	V _F (Volt)	Consumo estático (mA)	Consumo estático (mW)