

1-TEORIA DE FET's

1.1 B

1.2 C

1.3 D

1.4 B

1.5 C

2-ZONA DE FUNCIONAMIENTO

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

A	B	C	D
Corte	Saturación	PMOS Saturación	Ohmica

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

A	B	C
Corte	Saturación	Lineal

2.3 C

2.4 C

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:

A	B	C
$V_{GS} = 5V$; $I_{DS} = 1mA$; $V_{DS}=2V$; Zona límite entre lineal y sat	$V_{GS} = 0V$ por tanto en corte	$V_{GS} = 4V$; $I_{DS} = 0.4mA$; $V_{DS}=3V$; Zona Saturación

Apartado A

V_i	V_{GS}	I_{DS}	V_{DS}	Zona
2V	2V	0mA	12V	Corte
3V	3V	0mA	12V	Corte
3.5V	3.5V	0.062mA	11.38V	Saturación
4V	4V	0.250mA	9.5V	Saturación
4.5V	4.5V	0.562mA	6.375V	Saturación
5V	5V	1mA	2V	Entre Sat y Ohm

3.2 D

3.3 B

3.4 C

3.5 Dado el circuito de la figura:

[A] $V_D = 10V \times 4k / (6k+4k) = 4V$

[B] $V_{GS}=4V$; $I_{DS}=4mA$; $V_{DS}=6V$

[C] $R_4 = 2K$

3.6

PREGUNTAS	RESPUESTAS
1. Indica el tipo de transistor:	NMOS
2. Valor de V_T	3V
3. Valor de K.	0.5 mA/V ²
4. Calcula el valor de V_{GS} en el circuito.	5V
5. Calcula el valor de I_D en el circuito.	2mA
6. Calcula el valor de V_{DS} en el circuito.	6V
7. ¿Cuál es el valor límite de R_3 a partir del que el MOSFET entraría en la zona óhmica?.	4k Ω

3.7 C

3.8 B

3.9

V_i	V_{GS}	I_{DS}	V_{DS}	Zona
5V	0V	0mA	-5V	Corte
4V	-1V	0mA	-5V	Entre corte y sat
3V	-2V	0.5mA	-4.5V	Saturación
2V	-3V	2mA	-3V	Saturación
0V*	-5V	3.87mA	-1.125V	Ohmica

*Resultados en PSpice, analíticamente pueden diferir

4-RECTA DE CARGA

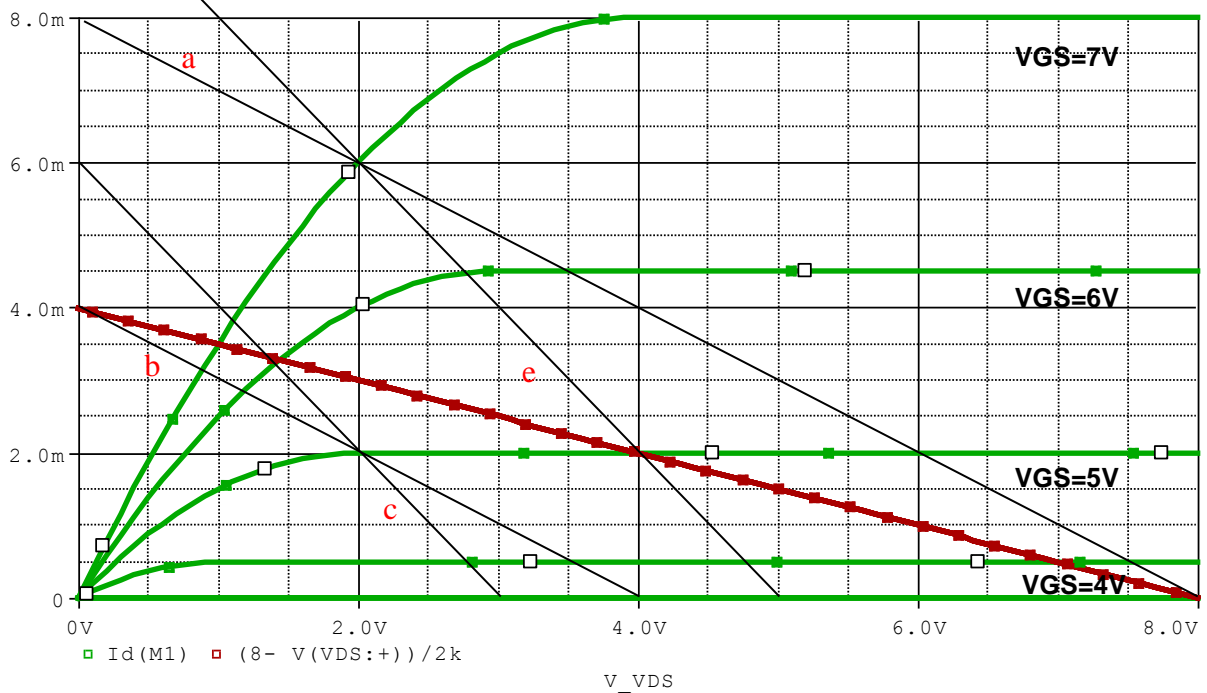
4.1 La figura incluye tanto las curvas características de un transistor NMOS como la recta de carga del correspondiente circuito de polarización. Rellene la siguiente tabla.

PREGUNTAS	RESPUESTAS
1. Indica el tipo de transistor:	NMOS
2. Valor de V_T	3 (Volts)
3. Valor de K.	0,5 (mA/V ²)
4. Calcula el valor de V_{DD} en el circuito.	8 (Volts)
5. Calcula el valor de R_D en el circuito.	2 (k Ω)
6. Determine V_{DS} e I_{DS} e indique la zona para $V_{GS} = 5V$	$V_{DS} = 4V$ $I_{DS} = 2mA$ Zona saturación
7. Determine V_{DS} e I_{DS} e indique la zona para $V_{GS} = 6V$	$V_{DS} = 1.4V$ $I_{DS} = 3.25mA$ Zona lineal

4.2 A partir de la gráfica del ejercicio anterior

a) Si $V_{GS} = 7V$, ¿qué valor de R_D hace que V_{DS} sea $2V$?	1k Ω
b) Si $V_{GS} = 5V$, y $R_D=1k$, ¿que V_{DD} hace que el mosfet esté entre óhmica y saturación?	4V
c) Si $V_{DD} = 3V$, y $R_D=0.5k$, ¿a partir de qué V_{GS} se alcanza una $I_{DS} = 2mA$?	5V
d) Si $V_{DD} = 3V$, y $V_{GS} = 6V$, ¿se puede conseguir la saturación para algún valor de R_D ?	No
e) [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?	No, 4V (0) 5V (1)
f) Para el caso de la recta de carga dibujada, ¿qué potencia disipa el Mosfet y la resistencia para $V_{GS} = 5V$? ¿y para $V_{GS} = 4V$?	

Para $V_{GS} = 5V$, $P_{MOSFET} = 4V \times 2mA = 8mW$, $P_R = 4V \times 2mA = 8mW$
 Para $V_{GS} = 4V$, $P_{MOSFET} = 7V \times 0.5mA = 3.5mW$, $P_R = 1V \times 0.5mA = 0.5mW$



5-CONMUTACIÓN

5.1 B

R_D	V_o	Zona
10k	0.03V	Óhmica
5k	0.06V	Óhmica
2k	0.15V	Óhmica
1k	0.3V	Óhmica
0.5k	0.6V	Óhmica

5.2 B

5.3

[A] $R(on) = 0.1K$

[B] $V_{GS} = 5V$, $I_{DS} = 0.49mA$, $V_{DS} = 0.049V$, $V_o = 0.049V$

- [C] $V_{GS} = 0V$, $I_{DS} = 0mA$, $V_{DS} = V_o = 5V$
 [D] $R_D = 49.9k$
 [E] $0 \leq V_i \leq 2.57 \rightarrow 4.5 \leq V_o \leq 5$
 [F] $2.71 \leq V_i \leq 5 \rightarrow 0.01 \leq V_o \leq 0.5$

5.4 B

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

[A] NAND y NOR

[B] NAND:

NOR:

Va	Vb	Vo
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Va	Vb	Vo
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

5.6 B

5.7

Cuando $V_c = 10V \rightarrow V_{GS} = 0V \rightarrow$ PMOS cortado $\rightarrow V_o = 0V$ A) $R_{(on)} = 0.0001k$ B) $K = 625mA/V^2$

5.8

 $R_D = 250 - 25 = 225K$ K del transistor = $5 \mu A/V^2$ 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.a) R_D altas:ventajas: disminuyen el consumo a nivel bajo, V_{OL} más cercano a $0V$ desventajas: mayor área, mayor retardo $L \rightarrow H$ b) R_D bajas: lo contrario

Así pues se trata de obtener un compromiso entre los diferentes factores, a menos que se quiera potenciar especialmente alguno de ellos. En los chips de procesadores y memorias, las R_D se implementan mediante transistores que funcionan como resistencias y ocupan menos espacio que las resistencias convencionales integradas (se verá en el tema 5: tecnología CMOS).

5.10

 V_i entre corte y sat = $2.5V$ V_i entre sat. y óhmica = 2.9756

5.11

 $R_D = 0.777k$



5.12

¿Qué salida de la puerta pone en marcha el motor? 5V
 $R_{on} = 0.025k$

	Salida TTL = 0V	Salida TTL = 5V
V_{GS}	0V	5V
P_{mosfet}	0mW	90mW
P_{motor}	0mW	720mW

5.13 (Mayo 2012) D

5.14 (Junio 2012).

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

5.15 (Mayo 2015).

Rellene la siguiente tabla (justifique los cálculos):

F	Motor (marcha/paro)	Potencia disipada motor (mW)	Potencia disipada transistor (mW)
“0”	paro	0	0
“1”	marcha	1080mW	120mW

Indique el valor de R_{on} del transistor:

$R_{on} = 33\Omega$

5.16 (Junio 2015).

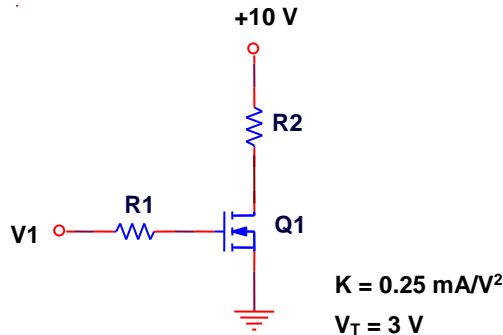
Para que el motor se ponga en marcha, ¿cómo debe estar el interruptor de control? (abierto o cerrado): ABIERTO

V_{DS}	0.5 V
I_{DS}	2mA
R_{ON} (Mosfet)	0.25k Ω
Potencia consumida por el motor: $P_{MOTOR} = V_{motor} I_{motor}$	15 mW
Potencia consumida por el Mosfet: $P_{MOSFET} = V_{DS} I_{DS}$	1 mW

6-PROBLEMAS

6.1 El siguiente circuito de la figura utiliza un MOSFET cuyos datos se muestran. Sabiendo que $R_2=10k\Omega$, $R_1=1M\Omega$, 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] (0.5p) Calcule el punto de trabajo del transistor cuando la tensión de entrada sea $V_1=4V$.

Respuesta:

$V_{GSQ} = 4V$	$V_{DSQ} = 7.5V$	$I_{DSQ} = 0.25mA$
----------------	------------------	--------------------

[B] (0.5p) Calcule el punto de trabajo del transistor cuando la tensión de entrada sea $V_1=6V$.

Respuesta:

$V_{GSQ} = 6V$	$V_{DSQ} = 0.625V$	$I_{DSQ} = 0.9375mA$
----------------	--------------------	----------------------

[C] (0.5p) Calcule la potencia disipada por la resistencia R_2 en el apartado anterior. Justifique los cálculos.

Respuesta:

$W_{R2} = 8.78 mW$

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

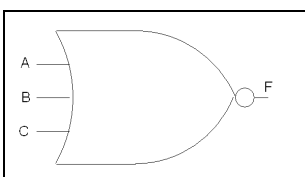
Datos para los transistores NMOS: $K=0.5 \text{ mA/V}^2$, $V_T=3V$

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

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. **[0.5P]**



b) Calcula la tensión en F cuando A=B=C="0". **[0.5P]**

- 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 $R_D = 4k$. **[0.5P]**

- 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 $V_{OL} \leq 0.25V$. **[0.5P]**

Supón inicialmente un solo transistor conduciendo.

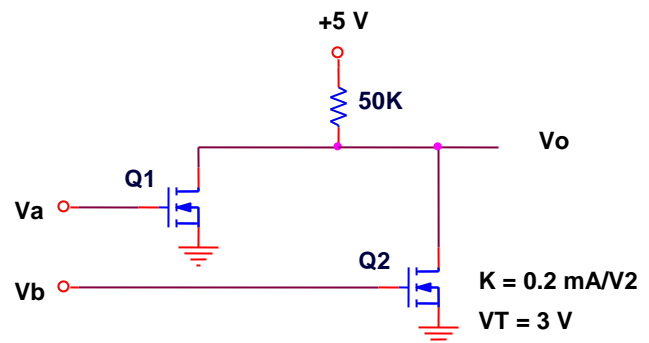
¿Cómo varía V_{OL} cuando conduce más de un transistor? Calcula las nuevas V_{OL}

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 $V_a = 3.5V$ y $V_b = 0.5V$, así como el estado de cada transistor (Justifíquese).

$V_o =$	2.5V
Zona M1:	SAT
Zona M2:	CORTE

[B] Si $V_b = 0V$ y la salida $V_o = 0.2V$, ¿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)

TCO – Tema 2 – El Transistor FET

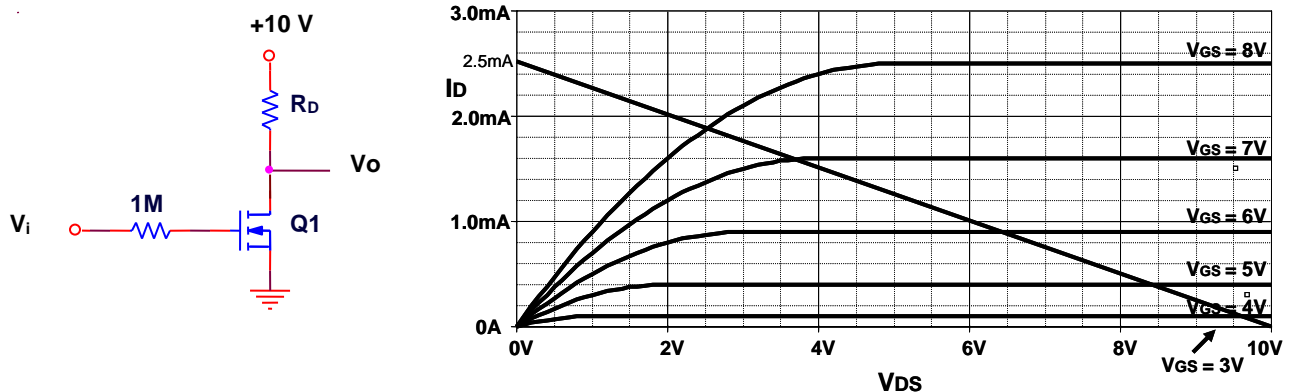
$R_{DS(on)} =$	2.08K Ω
$V_a =$	4.2V

[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.

V_a	V_b	V_o
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Función lógica:	NOR
Indique la Familia: (TTL, CMOS, NMOS o PMOS)	NMOS

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.

$V_T = 3$, que es cuando V_{GS} está en el eje X

Tomando la curva para por ejemplo $V_{GS} = 7$, tenemos la ecuación de saturación:

$$1.6\text{mA} = K * (4\text{V} - 3\text{V})^2 \rightarrow K = 1.6 / 16 = 0.1\text{mA} / \text{V}^2$$

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

Corte en Eje X $\rightarrow V_{DD} = 10\text{V}$

Corte en Eje Y $\rightarrow 2.5\text{mA} = 10\text{V} / R_D \rightarrow R_D = 4\text{k}$

[C] Obténgase analíticamente el valor de la corriente de drenador I_{DS} para una $V_i = 6.5\text{V}$ 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})

$V_{GS} = V_i = 6.5\text{V}$

Supongamos SAT: $I_{DS} = 0.1 * (6.5\text{V} - 3\text{V})^2 = 1.225\text{mA}$

$V_{DS} = 10\text{V} - R_D * I_{DS} = 10 - 4 * 1.225\text{mA} = 5.1\text{V}$

Comprobemos la saturación: $V_{DS} > V_{GS} - V_T$: $5.1\text{V} > 6.5\text{V} - 3\text{V} \rightarrow$ Está saturado

[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.

Como V_T es 3, el valor límite entre corte y lineal es $V_{GS} = V_T = 3\text{V}$

Para límite entre línea y sat: $V_{DS} = V_{GS} - V_T$ [1]

En Saturación $I_{DS} = 0.1 * (V_{GS} - 3\text{V})^2$ [2]

Malla DS: $V_{DS} = 10\text{V} - R_D * I_{DS}$ [3]

Sustituyendo [1] en [2] y haciendo sistema con [2] y [3] tenemos:

$V_{GS} = 6.9\text{V}$ y $V_{GS} = -3.4$ que no es coherente con la conducción. Se escoge el primero y $V_i = 6.9\text{V}$ para estar entre óhmica y saturación.

6.5 Dado el siguiente circuito:

Datos:

$R1 = 1\text{ K}\Omega$

$V1 = 10\text{ V}$

MOSFET:

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

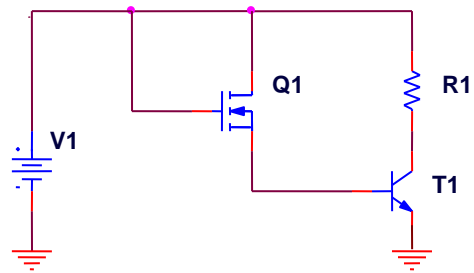
$V_T = 4.3\text{ V}$

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.

Si conduce el transistor bipolar (hipótesis de condición), en la base del mismo podemos afirmar que hay una tensión $V_B = V_{BE(ON)} = 0.7\text{V}$.

$V_{GS} = 9.3\text{ V} \rightarrow V_{GS} > V_T$

$I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2 = 0.01 * (9.3 - 4.3)^2 = 0.25\text{ mA} \rightarrow I_B = 0.25\text{ mA}$

$I_C = 20 * 0.25\text{ mA} = 5\text{ mA}$

$V_C = 5\text{ V}$

Puesto que $V_{CE} = 5\text{ V}$ es mayor que $V_{CE(SAT)} = 0.2\text{ V}$, se puede afirmar que el transistor conduce en activa directa.

[B] Si se sustituye el transistor MOSFET por una resistencia $R2$, de manera que el punto de trabajo del transistor bipolar fuese como en el apartado anterior. ¿Cuál sería el valor de la resistencia?

$R_{MOSFET} = 37.2\text{ K}\Omega$

6.6 :

[A]

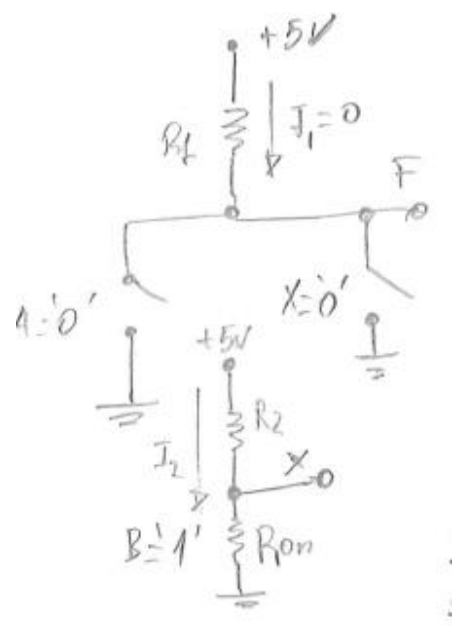
T1, T2 y R1 forman una NOR

T3 y R2 forman un inversor

F = NOR con B negada

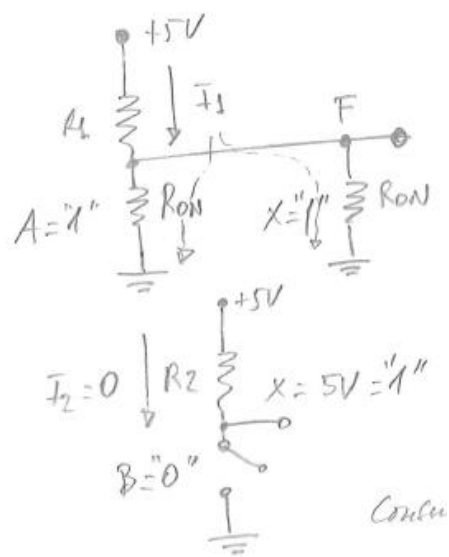
A	B	X	F
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0

[B]



Ron (kΩ)	Zona T1	Zona T2	Zona T3	Vx (Volt)	VF (Volt)	Consumo estático (mA)	Consumo estático (mW)
1.11	Corte	Corte	Lineal	0.055	5	0.049	0.245

[C]



Ron (kΩ)	Zona T1	Zona T2	Zona T3	Vx (Volt)	VF (Volt)	Consumo estático (mA)	Consumo estático (mW)
1.11	Lineal	Lineal	Corte	5	0.028	0.05	0.25