



Fundamentos de Electrónica Primera Convocatoria

Fecha: 20 de enero de 2020

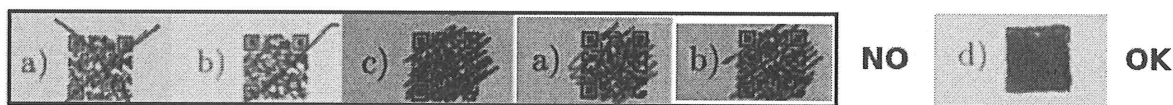
Instrucciones

**Escriba nombre, apellidos y sección en el pie de página de cada uno de estos folios
Arranque esta primera hoja y llévesela consigo cuando haya terminado el examen**

- El examen se compone de 23 ejercicios de respuesta múltiple y 2 ejercicios con respuesta abierta

Ejercicios de respuesta múltiple (5 puntos)

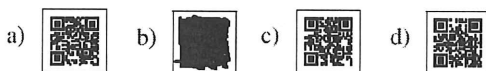
- La respuesta se marca **tachando exhaustivamente el código QR** asociado a ella con **bolígrafo negro**, es decir:



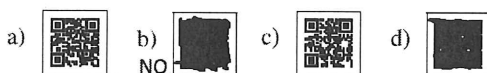
- Tienen 4 posibles respuestas y **una única respuesta correcta**, por lo que puede dejar la pregunta en blanco:



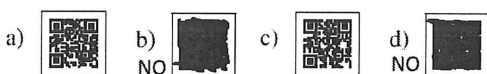
- o puede marcar **un máximo de una respuesta** para cada ejercicio:



- Cada respuesta correcta reportará una puntuación positiva y cada fallo **una penalización de un tercio** del valor del ejercicio. La puntuación (y la penalización) de cada ejercicio se indica en el enunciado. La puntuación total de esta parte no podrá ser negativa
- Si se ha equivocado** marcando el código QR, marque también el que considera correcto y escriba "NO" al lado del que no pretendía marcar:



- Si quiere dejar **en blanco** una pregunta en la que haya marcado ya una respuesta, **marque más de una** y escriba "NO" al lado de todas las marcadas:



Ejercicios con respuesta abierta (5 puntos)

- Desarrolle las respuestas en el paquete de folios adicionales proporcionado por el profesorado
- La puntuación de cada ejercicio se indica en el enunciado
- Siga las instrucciones especificadas en la portada



Formulario

$$n_i = \sqrt{N_C N_V} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad n_0 = n_i e^{\frac{E_F - E_i}{kT}} \quad \sigma = q\mu_n n + q\mu_p p$$

$$I_{DS} = \frac{K}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad I_{DS} = \frac{K}{2} \frac{W}{L} [2(V_{GS} - V_{TH})V_{DS} - V_{DS}^2]$$

$$g_m = \sqrt{2K \frac{W}{L} I_{DS}} \quad g_m = \frac{I_C}{25.8mV} \quad r_\pi = \frac{\beta_F}{g_m}$$

$$A_V = \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_S} A_{V,MAX} \frac{R_L}{R_L + R_{OUT}}$$

a	b	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

CLK	J	K	Q	\bar{Q}
0	-	-	Q	\bar{Q}
1	-	-	Q	\bar{Q}
↓	-	-	Q	\bar{Q}
↑	0	0	Q	\bar{Q}
↑	1	0	1	0
↑	0	1	0	1
↑	1	1	\bar{Q}	Q

Datos para ejercicios sobre semiconductores

Constantes físicas

$$k = 86.2 \times 10^{-6} \text{ eV/K} \quad q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Datos de los materiales semiconductores

	Silicio	Germanio
$N_C (cm^{-3})$	2.82×10^{19}	1.02×10^{19}
$N_V (cm^{-3})$	1.83×10^{19}	5.64×10^{18}
$E_g (eV)$	1.12	0.67
$\mu_n (cm^2/Vs)$	1350	3900
$\mu_p (cm^2/Vs)$	500	1820

Nota: Suponer que estos datos no dependen de la temperatura



**Fundamentos de Electrónica
Primera Convocatoria**

Fecha: 20 de enero de 2020

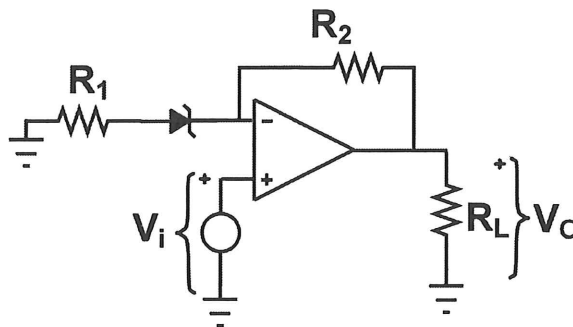
Tache los códigos QR correspondientes a su NIA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Cifra 1 del NIA										
Cifra 2 del NIA										
Cifra 3 del NIA										
Cifra 4 del NIA										
Cifra 5 del NIA										
Cifra 6 del NIA										

1. (+0.5|-0.166) Indique la expresión más simplificada equivalente a la siguiente función: $f(a, b, c, d) = \prod M(2, 3, 7, 8, 10, 11) + \Delta(0, 6)$

- a) $f = (b + d) \cdot (a + \bar{c}) \cdot (b + \bar{c})$
- b) $f = (\bar{a} + b + c + d) \cdot (a + \bar{c}) \cdot (b + \bar{c})$
- c) $f = a \cdot \bar{c} + b \cdot \bar{c} + b \cdot d$
- d) $f = (b + d) \cdot (a + \bar{c}) \cdot (\bar{a} + b)$

2. (+0.3|-0.1) Dado el siguiente circuito:





basado en un amplificador operacional con $V_{CC} = 12V$, $V_{EE} = -12V$ y $I_{oMAX} = 25mA$, un diodo zener con $V_z = 0.6V$ y $|V_z| = 5.6V$ y $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_L = 1k\Omega$, ¿qué limitaciones del AO se superan si $V_i = 8V$?


- a) Solo se supera la tensión de salida máxima
- b) Solo se supera la corriente de salida máxima
- c) No se supera ni la tensión ni la corriente de salida máxima
- d) Se superan la tensión y la corriente de salida máxima




3. (+0.2|-0.066) Un centímetro cúbico de material semiconductor intrínseco basado en Silicio se calienta de 300 K a 333 K. Calcule el número de enlaces covalentes que se rompen durante el proceso de calentamiento:

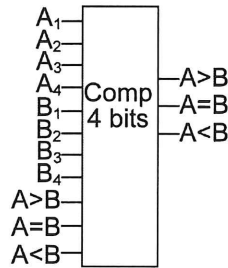
a)  7.65×10^{10} enlaces

b)  1.53×10^{11} enlaces


c)  1.35×10^{11} enlaces


d)  6.75×10^{10} enlaces


4. (+0.1|-0.033) Dado el comparador de 4 bits:




Si el número $A_4A_3A_2A_1 = 1010$, la entrada activa es $A = B$, y la salida activa es $A < B$, indique el valor del número $B_4B_3B_2B_1$ compatible:

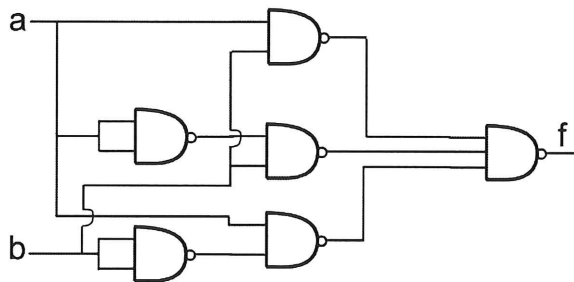
a)  $B_4B_3B_2B_1 = 1010$


b)  $B_4B_3B_2B_1 = 1101$


c)  $B_4B_3B_2B_1 = 1001$


d)  $B_4B_3B_2B_1 = 0010$


5. (+0.2|-0.066) Dado el siguiente circuito, indique cuál de las funciones se corresponde con la salida f :



a)  $f = \overline{a \cdot b} \cdot (a \oplus b)$

b)  $f = a \cdot b + \overline{a} \cdot \overline{b} + \overline{a \cdot b}$

c)  $f = \overline{a \cdot b + (a \oplus b)}$

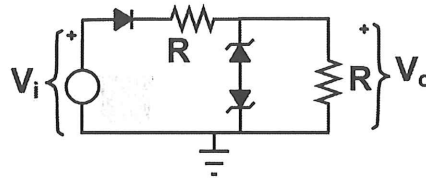
d)  $f = a \cdot b + (a \oplus b)$




6. (+0.1|-0.033) El número decimal 1207 se representa en código BCD:

- | | |
|--|--|
| a)  11000111 | b)  000100100111 |
| c)  11000000111 | d)  000100100000111 |

7. (+0.3|-0.1) Dado el siguiente circuito:







donde todos los diodos tienen una $V_\gamma = 0.6 \text{ V}$, ambos zeners una $|V_z| = 5.6 \text{ V}$, y $R = 2 \text{ k}\Omega$, calcule el rango de tensión de entrada V_i para que conduzcan todos los diodos:

- | | |
|--|--|
| a)  $V_i \geq 6.8 \text{ V}$ | b)  $V_i \geq 23 \text{ V}$ |
| c)  $V_i \geq 13 \text{ V}$ | d)  $V_i \geq 11.8 \text{ V}$ |

8. (+0.2|-0.066) Indique que par de números en complemento a dos con 6 bits producen desbordamiento si se suman:

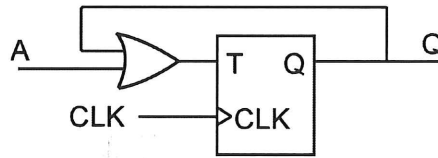
- | | |
|---|---|
| a)  001110
001010 | b)  101101
011010 |
| c)  101101
100010 | d)  001001
110110 |

9. (+0.1|-0.033) Un material semiconductor dopado con impurezas aceptadoras a temperatura ambiente:

- | | |
|---|---|
| a)  Contiene exceso de carga positiva porque $p_0 > n_0$ | b)  Contiene exceso de carga negativa porque el boro está ionizado |
| c)  Es eléctricamente neutro a pesar de que $p_0 > n_0$ | d)  Es eléctricamente neutro dado que $n_0 = p_0$ |

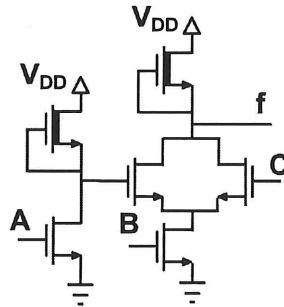


10. (+0.3|-0.1) Indique la descripción correcta para el circuito de la figura basado en un Flip-flop Tipo T activo por subida:







- | | |
|---|---|
| a)  Si A = 0 la Q permuta
Si A = 1 la Q permuta hasta Q = 1 | b)  Si A = 1 la Q permuta
Si A = 0 la Q permuta hasta Q = 1 |
| c)  Si A = 0 la Q permuta
Si A = 1 la Q permuta hasta Q = 0 | d)  Si A = 1 la Q permuta
Si A = 0 la Q permuta hasta Q = 0 |

11. (+0.3|-0.1) Dado el siguiente circuito conmutador basado en tecnología NMOS:

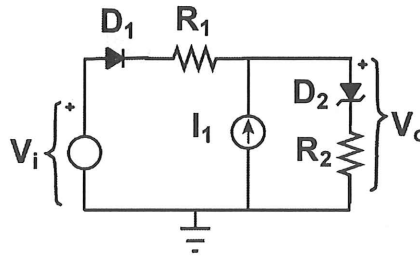


Si inicialmente las variables de entrada toman por valor $A = 0$, $B = 0$ y $C = 0$, indique cuál de las siguientes opciones cambia el valor de la salida f .

- | | |
|--|---|
| a)  ninguna de las tres opciones cambia el valor de f | b)  cambiar únicamente a $B = 1$ |
| c)  cambiar únicamente a $C = 1$ | d)  cambiar únicamente a $A = 1$ |



12. (+0.3|-0.1) Dado el siguiente circuito:



donde ambos diodos tienen una $V_\gamma = 0.6 \text{ V}$ y el zener una $|V_z| = 5.6 \text{ V}$, indique cual de las siguientes secuencias de estados de los diodos es correcta para V_i variando desde $-\infty$ a $+\infty$:

- | | | | |
|-----------------------------|---|-----------------------------|---|
| a) <input type="checkbox"/> | D_1 : OFF \rightarrow ON
D_2 : ON \rightarrow ON | b) <input type="checkbox"/> | D_1 : OFF \rightarrow ON \rightarrow ON
D_2 : OFF \rightarrow OFF \rightarrow ON |
| c) <input type="checkbox"/> | D_1 : OFF \rightarrow OFF \rightarrow ON \rightarrow ON
D_2 : RUP \rightarrow OFF \rightarrow OFF \rightarrow ON | d) <input type="checkbox"/> | D_1 : OFF \rightarrow ON \rightarrow ON \rightarrow ON
D_2 : ON \rightarrow ON \rightarrow OFF \rightarrow RUP |

13. (+0.2|-0.066) Para convertir un sumador completo (full adder) de 4 bits, en un sumador-restador, es necesario añadir:

- | | | | |
|-----------------------------|---|-----------------------------|---|
| a) <input type="checkbox"/> | 4 puertas EXOR previas a las entradas B_0, B_1, B_2 y B_3 del sumador | b) <input type="checkbox"/> | 4 puertas OR en las salidas S_0, S_1, S_2 y S_3 del sumador |
| c) <input type="checkbox"/> | 4 puertas NAND previas a las entradas B_0, B_1, B_2 y B_3 del sumador | d) <input type="checkbox"/> | 4 puertas EXOR en las salidas S_0, S_1, S_2 y S_3 del sumador |

14. (+0.2|-0.066) Indique la combinación correcta para la tensión y corriente de un diodo modelado con la segunda aproximación, teniendo en cuenta una tensión umbral $V_\gamma = 0.6 \text{ V}$:

- | | | | |
|-----------------------------|---|-----------------------------|--|
| a) <input type="checkbox"/> | $V_d = -2.3 \text{ V}$ y $I_d = 1.7 \text{ mA}$ | b) <input type="checkbox"/> | $V_d = 3.6 \text{ V}$ y $I_d = 5.2 \text{ mA}$ |
| c) <input type="checkbox"/> | Ninguna de las anteriores | d) <input type="checkbox"/> | $V_d = 0.6 \text{ V}$ y $I_d = 4.1 \text{ mA}$ |

15. (+0.1|-0.033) Indique en cuál de los biestables propuestos cuando llega un flanco de subida en la señal de reloj el dato que se graba en la salida del biestable es independiente del dato previo almacenado, para cualquier valor de su entrada:

- | | | | |
|-----------------------------|--|-----------------------------|---|
| a) <input type="checkbox"/> | Las tres opciones son incorrectas | b) <input type="checkbox"/> | Flip-flop D, activado flanco de subida |
| c) <input type="checkbox"/> | Flip-flop T, activado flanco de subida | d) <input type="checkbox"/> | Flip-flop JK, activado flanco de subida |



16. (+0.1|-0.033) Indique cuál de las siguientes afirmaciones sobre un LED es **falsa**:

- a) Los LED pueden tener tensiones umbrales mayores que los diodos convencionales
- b) La emisión de luz se genera debido al campo eléctrico presente en la zona de depleción de la unión PN
- c) La emisión de luz se genera por la liberación de energía en forma de fotones cuando se produce la recombinación de electrones y huecos
- d) Para que un LED emita luz debe estar polarizado en directa

17. (+0.2|-0.066) Dado un material semiconductor basado en Silicio a 300 K cuyo nivel de Fermi se sitúa 0.32 eV por encima de la banda de valencia. Indique su concentración de impurezas:

- a) $N_D = 2.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$
- b) $N_A = 5.7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
- c) $N_D = 4.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ y $N_A = 9.6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
- d) $N_D = 8.4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ y $N_A = 1.8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$

18. (+0.2|-0.066) Indique cuál de los cuatro mapas de Karnaugh corresponde a la función $f = (\overline{b \cdot d}) \cdot (b + c \cdot \overline{d})$:

ab \ cd	00	01	11	10
00	1			1
01		1	1	
11		1	1	
10				

Mapa 1

ab \ cd	00	01	11	10
00				1
01		1	1	
11		1	1	
10				1

Mapa 2

ab \ cd	00	01	11	10
00	0			
01		0	0	
11		0	0	
10	0			

Mapa 3

ab \ cd	00	01	11	10
00				0
01		0	0	
11		0	0	
10				0

Mapa 4

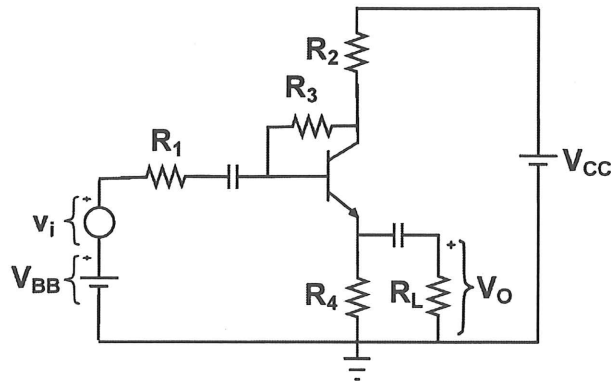
- a) Mapa 1
- b) Mapa 4
- c) Mapa 2
- d) Mapa 3

19. (+0.1|-0.033) En un transistor NMOS en saturación:

- a) El canal no tiene profundidad en el extremo del drenador
- b) El canal no tiene profundidad en el extremo de la fuente
- c) Para una misma V_{GS} , la corriente I_{DS} es menor que en triodo
- d) La corriente aumenta con V_{DS}



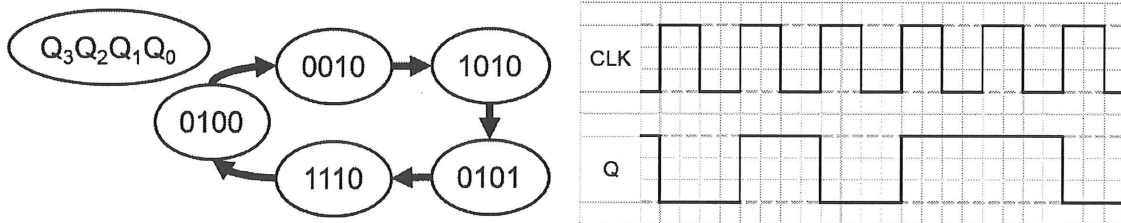
20. (+0.2|-0.066) Dado el siguiente circuito con un transistor NPN:



Considere $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ si la unión BE está en directa y $\beta = 350$. Indique cuál de las siguientes afirmaciones es cierta:

- a) El transistor estará en corte si $V_{BB} = 0\text{ V}$, independientemente del valor de V_{CC}
- b) El transistor sólo puede estar en corte o saturación
- c) El límite entre activa y saturación en este transistor se alcanza modificando el valor de R_3
- d) Ninguna de las otras tres afirmaciones es cierta

21. (+0.3|-0.1) Un circuito secuencial genera la secuencia de estados $Q_3Q_2Q_1Q_0$ indicada en la figura. Determine a que variable se corresponde la salida Q mostrada en el cronograma:




- a) Q_2
- b) Q_0
- c) Q_3
- d) Q_1


22. (+0.2|-0.066) Un transistor NMOS, con parámetros tecnológicos dados por $V_{TH} = 1\text{ V}$, $W/L = 25$ y $k = 20\ \mu\text{A}/\text{V}^2$, está polarizado con $I_{DS} = 9\text{ mA}$ y $V_{DS} = 4\text{ V}$. Indique la región en la que se encuentra:


- a) Saturación
- b) Corte
- c) Triodo
- d) Activa




23. (+0.3|-0.1) Se desea diseñar el circuito de control de seguridad de un laboratorio de química. Para ello se dispone de tres sensores: sensor de humedad (H), sensor de gas (G) y sensor de campana extractora (C), activos con valor alto en caso de alta humedad, presencia de gas y campana defectuosa, respectivamente. Los materiales con los que se trabaja en dicho laboratorio son inflamables, si se libera el gas existe un alto riesgo de explosión con niveles altos de humedad aunque la campana extractora funcione. Con la campana extractora funcionando y humedad baja, la liberación de gas no supone ningún riesgo. El circuito a diseñar debe ser tal que active una señal de alarma cuando exista riesgo para los operarios del laboratorio por explosión. Indique cuál de los cuatro grupos de opciones se corresponden con tres situaciones en las que se activaría la alarma de riesgo de explosión:

a)  $H = 1, G = 1, C = 1$
 $H = 1, G = 0, C = 0$
 $H = 1, G = 1, C = 0$

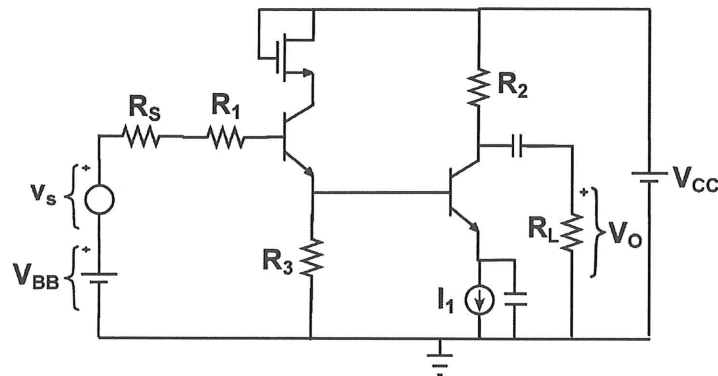
b)  $H = 1, G = 1, C = 1$
 $H = 1, G = 0, C = 0$
 $H = 0, G = 1, C = 0$

c)  $H = 1, G = 1, C = 0$
 $H = 1, G = 1, C = 1$
 $H = 0, G = 1, C = 1$

d)  $H = 1, G = 1, C = 0$
 $H = 1, G = 0, C = 1$
 $H = 0, G = 1, C = 0$



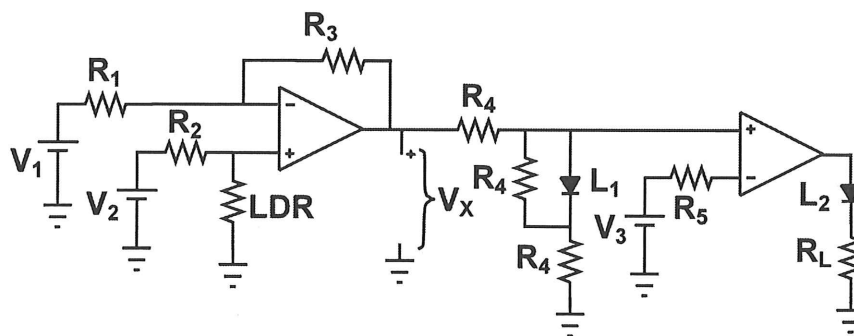
24. (+2.5) Dado el siguiente circuito basado dos transistores NPN y un transistor NMOS:



v_s fuente de tensión alterna, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{BB} = 2\text{ V}$, $I_1 = 5\text{ mA}$, $R_1 = R_3 = 2\text{ k}\Omega$, $R_2 = 2.5\text{ k}\Omega$, $R_s = 2\text{ k}\Omega$, $R_L = 5\text{ k}\Omega$
 NPN: $\beta = 40$, considere $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ si la unión BE está en directa; NMOS: $V_{TH} = 1\text{ V}$, $K = 20\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $W/L = 2$

- Calcule el punto de polarización
- Represente el modelo de pequeña señal del circuito y calcule la ganancia en tensión v_o/v_s
- Calcule la impedancia de entrada
- Sea el valor de la amplitud de la tensión $v_{gs} = 15\text{ mV}$, compruebe si se cumple la limitación en la amplitud de la tensión $v_{be} < 10\text{ mV}$ de los transistores bipolares, necesaria para poder aplicar el modelo de pequeña señal

25. (+2.5) Una LDR es una resistencia que cambia su valor en función de la luz que recibe. Dado el siguiente circuito basado en dos amplificadores operacionales, dos diodos LED y una LDR, cuyo valor cambia desde $600\text{ }\Omega$ hasta $1.8\text{ k}\Omega$, para plena iluminación y oscuridad respectivamente:



$R_1 = 1.2\text{ k}\Omega$, $R_2 = 1.8\text{ k}\Omega$, $R_3 = 6\text{ k}\Omega$, $R_4 = 500\text{ }\Omega$, $R_5 = 2.2\text{ k}\Omega$, $R_L = 1.2\text{ k}\Omega$
 AO: $V_{CC} = 10\text{ V}$, $V_{EE} = 0\text{ V}$, $I_{O,MAX} = 25\text{ mA}$
 LEDs L_1 y L_2 : $V_\gamma = 1.5\text{ V}$, $I_{MAX} = 10\text{ mA}$, $I_{op} = 2\text{ mA}$, $|V_R| = 5\text{ V}$

- Calcule los valores de las tensiones V_1 y V_2 , para que $V_x = 2\text{ V}$ con plena iluminación y $V_x = 8\text{ V}$ en oscuridad
- Calcule el valor mínimo de la tensión V_x a partir del cual se enciende el diodo LED L_1
- Calcule el valor de la tensión V_3 para que se encienda el diodo LED L_2 si el diodo LED L_1 tiene una corriente igual o superior a su óptima
- Justifique porque se ha elegido para ambos AO una alimentación única de 10V en lugar de:
 - Alimentación única de 5V: $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_{EE} = 0\text{ V}$
 - Alimentación única de 20V: $V_{CC} = 20\text{ V}$, $V_{EE} = 0\text{ V}$
 - Alimentación simétrica de 10V: $V_{CC} = 10\text{ V}$, $V_{EE} = -10\text{ V}$
- La LDR está basada en un bloque de silicio dopado, el cual quintuplica su conductividad por la presencia de luz. Si la concentración **total** de portadores es $7.4 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ en oscuridad y $2.34 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ en iluminación, justifique el tipo de dopaje (N o P) que presenta el material
- ¿Por qué la LDR se basa en material dopado en lugar de en material intrínseco?

EXERCICIO 24

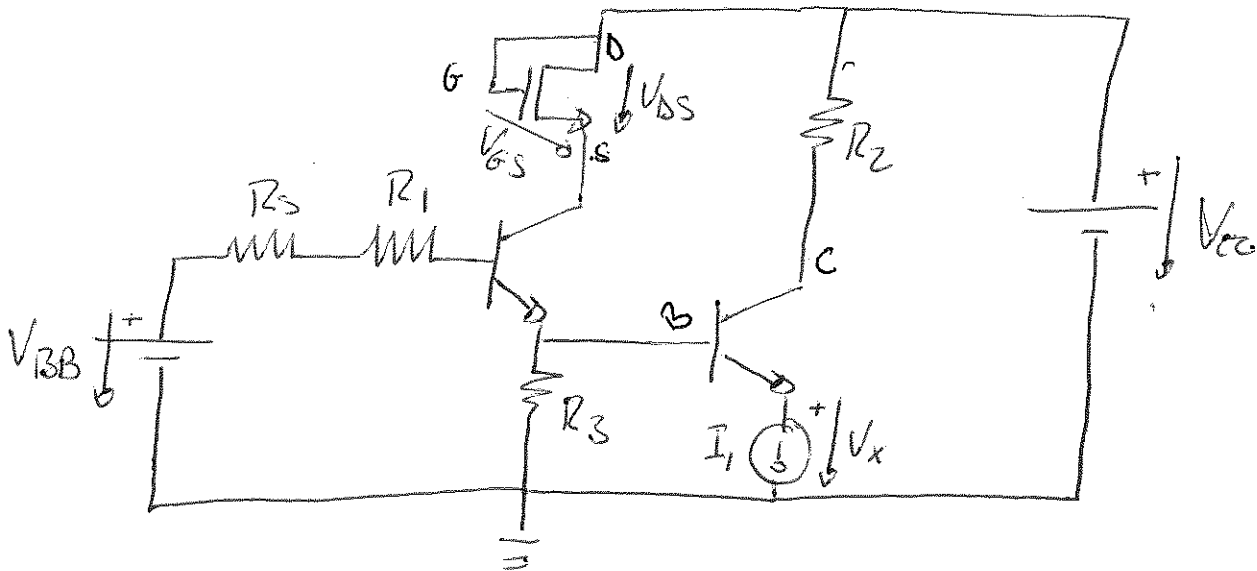
(a) Suponemos transistores bipolares en activo, $V_{CE_{1,2}} > 0,2V$

$$V_{BE_{1,2}} = 0,7$$

$$I_{C_{1,2}} = \beta I_{B_{1,2}}$$

Suponemos transistor nMOS en saturación

$$I_{DS} = \frac{k'W}{2L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad \text{si } V_{DS} > V_{GS} - V_{TH} \quad ?$$



$$V_{GD} = 0 \Rightarrow V_{DS} = V_{GS} \Rightarrow V_{DS} > V_{GS} - V_{TH} \quad \text{Transistor en saturación o corte}$$

$$I_1 = I_{E_2} = 5 \text{ mA} \quad I_{B_2} = \frac{I_{E_2}}{(1+\beta)} = 0,122 \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \beta I_{B_2} = 4,88 \text{ mA}$$

$$V_{BB} = I_{B_1} (R_2 + R_1) + V_{BE_1} + (I_{E_1} - I_{B_2}) \cdot R_3 \quad \Rightarrow$$

$$I_{E_1} = (1+\beta) I_{B_1}$$

$$I_{B_1} = \frac{V_{B_1} - V_{BE_1} + I_{B_2} R_3}{R_3 + R_1 + (1+\beta)R_3} = 0,018 \text{ mA}$$

$$I_{C_1} = \beta I_{B_1} = 0,72 \text{ mA} \quad I_{E_1} = (1+\beta)I_{B_1} = 0,74 \text{ mA}$$

$$I_{DS} = I_{C_1} = \frac{\mu W}{2L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{2L}{\mu W} I_{DS}} + V_{TH} = V_{GS} = 7 \text{ V} > 1 \text{ V} \text{ Hay canal}$$

No está en corte, luego
está en saturación

$$V_{DS} = V_{GS} = 7 \text{ V}$$

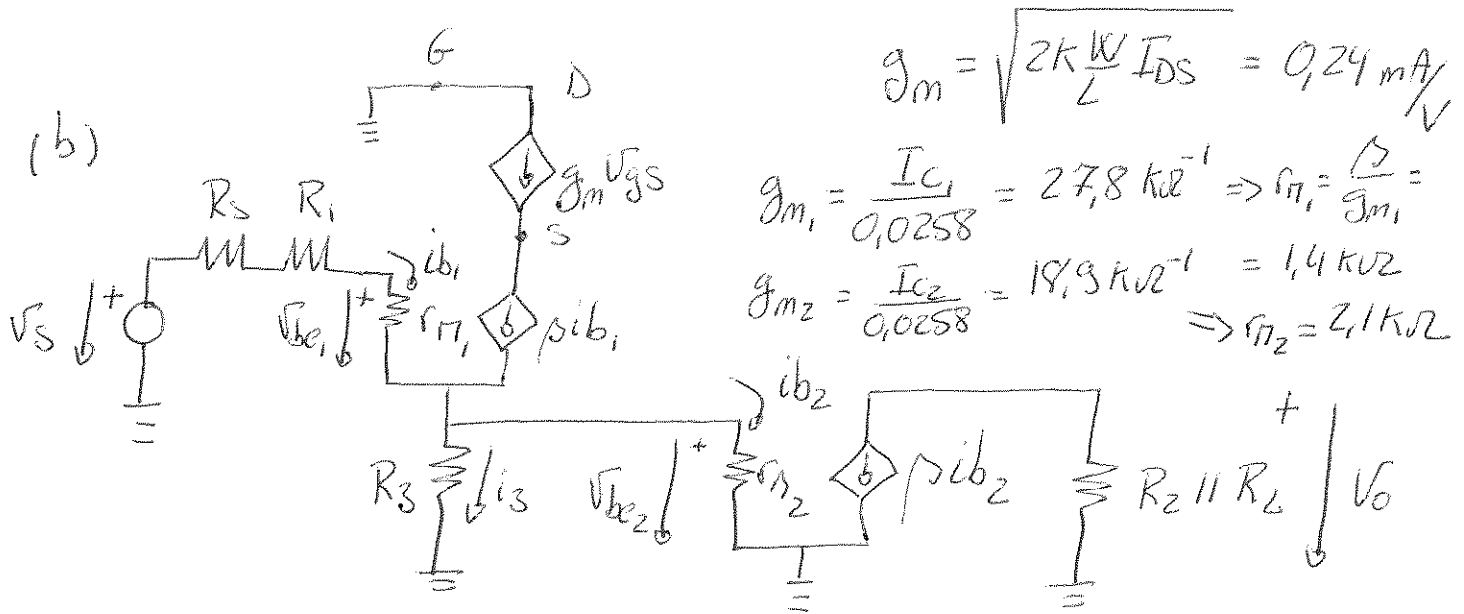
$$V_{CC} = V_{DS} + V_{CE_1} + (I_{E_1} - I_{B_2}) R_3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CE_1} = V_{CC} - V_{DS} - (I_{E_1} - I_{B_2}) R_3 = 6,8 \text{ V} > 0,2 \text{ V}$$

Está en activa

$$\left. \begin{array}{l} V_{CC} = I_{C_2} R_2 + V_{CE_2} + V_X \\ (I_{E_1} - I_{B_2}) R_3 = V_{BE} + V_X \end{array} \right\} \Rightarrow V_{CE_2} = 2,3 \text{ V} > 0,2 \text{ V}$$

Está en activa



$$V_S = i_{b1} (R_S + R_1 + r_{\pi 1}) + i_3 R_3 = i_{b1} (R_S + R_1 + r_{\pi 1}) + [i_{b1} (1 + \beta) - i_{b2}] R_3$$

$$\left. \begin{aligned} i_3 &= i_{b1} (1 + \beta) - i_{b2} \\ i_3 R_3 &= i_{b2} r_{\pi 2} \end{aligned} \right] \Rightarrow i_{b1} = i_{b2} \frac{r_{\pi 2} + R_3}{(1 + \beta) R_3}$$

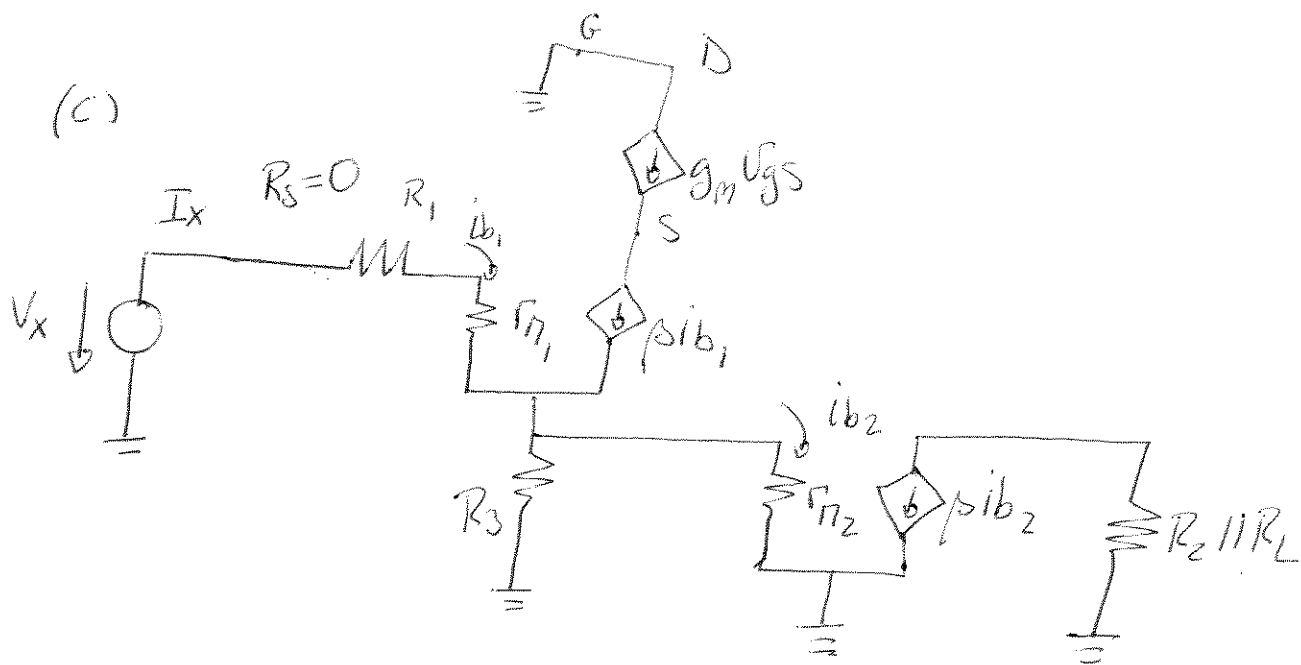
$$V_S = i_{b1} [R_S + R_1 + r_{\pi 1} + R_3 (1 + \beta)] - i_{b2} R_3 =$$

$$= i_{b2} \left[\frac{[R_S + R_1 + r_{\pi 1} + R_3 (1 + \beta)] (r_{\pi 2} + R_3) - R_3}{R_3 (1 + \beta)} \right] =$$

$$= i_{b2} \frac{(R_S + R_1 + r_{\pi 1}) (r_{\pi 2} + R_3) + R_3 r_{\pi 2} (1 + \beta)}{R_3 (1 + \beta)}$$

$$V_0 = -\beta i_{b2} R_2 \parallel R_L$$

$$\frac{V_0}{V_S} = - \frac{\beta R_2 \parallel R_L \cdot R_3 (1 + \beta)}{(R_S + R_1 + r_{\pi 1}) (r_{\pi 2} + R_3) + R_3 r_{\pi 2} (1 + \beta)} = -27,9$$



$$R_{int} = \frac{V_x}{I_x}$$

$$R_S = 0$$

$$I_x = i_{b1}$$

$$V_x = i_{b1} (R_1 + r_{\pi 1}) + (i_{b1} (1 + \beta) - i_{b2}) R_3$$

$$(i_{b1} (1 + \beta) - i_{b2}) R_3 = i_{b2} r_{\pi 2} \Rightarrow i_{b2} = i_{b1} \frac{(1 + \beta) R_3}{r_{\pi 2} + R_3} (*)$$

$$V_x = I_x \left[(R_1 + r_{\pi 1}) + R_3 (1 + \beta) - \frac{(1 + \beta) R_3^2}{r_{\pi 2} + R_3} \right]$$

$$R_{int} = 45,6 \text{ k}\Omega$$

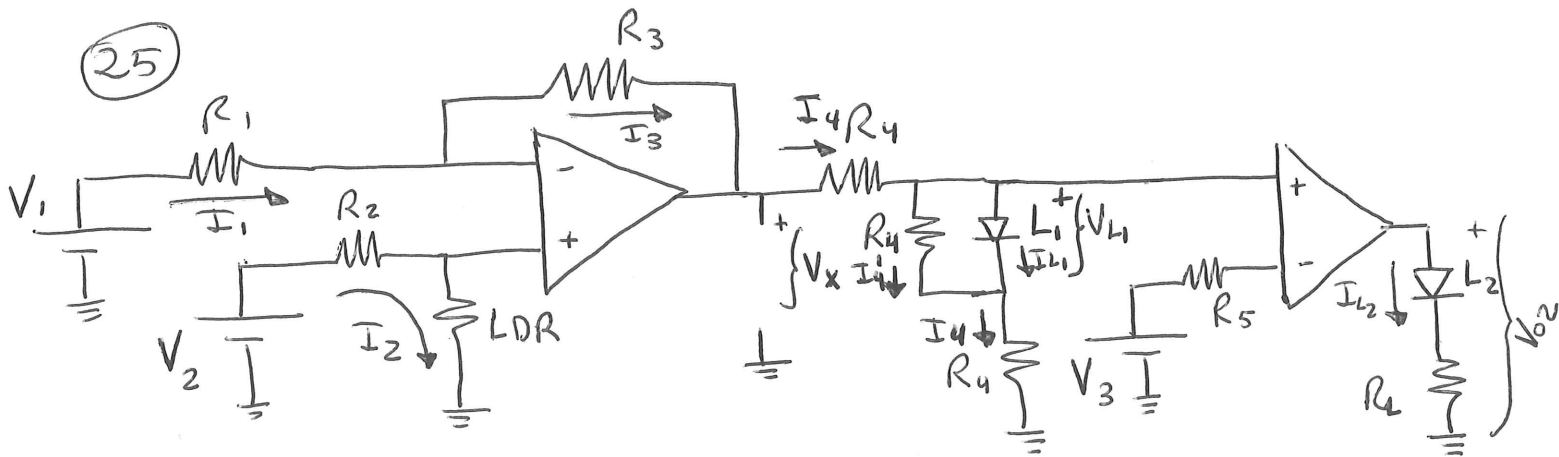
(d)

$$g_m V_{gs} = g_m V_{be1} \Rightarrow V_{be1} = \frac{g_m V_{gs}}{g_m} = 0,13 \text{ mV}$$

$$V_{gs} = 15 \text{ mV}$$

$$(*) \Rightarrow i_{b2} = \frac{V_{be2}}{r_{\pi 2}} = \frac{V_{be1}}{r_{\pi 1}} \frac{(1 + \beta) R_3}{r_{\pi 2} + R_3} \Rightarrow V_{be2} = \frac{r_{\pi 2}}{r_{\pi 1}} \frac{g_m}{g_m} V_{gs} \frac{(1 + \beta) R_3}{r_{\pi 2} + R_3} = 7,6 \text{ mV}$$

$$V_{be1} = \frac{g_m}{g_m} V_{gs}$$



$$a) \quad \left. \begin{aligned} V_2 &= I_2 R_2 + I_2 \cdot LDR \\ I_2 \cdot LDR &= V_{p1} \end{aligned} \right\} V_2 = I_2 (R_2 + LDR) = \frac{V_{p1}}{LDR} (R_2 + LDR)$$

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{V_1 - V_{n1}}{R_1} \\ I_3 &= \frac{V_{n1} - V_x}{R_3} \end{aligned} \right\} I_1 = I_3 \rightarrow \frac{V_1 - V_{n1}}{R_1} = \frac{V_{n1} - V_x}{R_3} \rightarrow V_1 = \left(1 + \frac{R_1}{R_3}\right) V_{n1} - \frac{R_1}{R_3} V_x$$

Lazo cerrado $\rightarrow V_{p1} = V_{n1} \rightarrow V_{n1} = \frac{LDR}{R_2 + LDR} V_2 \rightarrow$

$$\rightarrow V_1 = \left(1 + \frac{R_1}{R_3}\right) \frac{LDR}{R_2 + LDR} V_2 - \frac{R_1}{R_3} V_x$$

plena iluminación: $LDR = 600\Omega, V_x = 2V \rightarrow V_1 = 1'2 \cdot 0'25 \cdot V_2 - 0'2 \cdot 2 \Rightarrow$
 oscuridad: $LDR = 1'8K\Omega, V_x = 8V \rightarrow V_1 = 1'2 \cdot 0'5 \cdot V_2 - 0'2 \cdot 8 \Rightarrow$

$$\Rightarrow V_1 = 0'3 \cdot V_2 - 0'4$$

$$\Rightarrow V_1 = 0'6 V_2 - 1'6$$

$$\begin{aligned} 0 &= -0'3V_2 + 1'2 \rightarrow V_2 = 4V \rightarrow V_1 = 0'3 \cdot 4 - 0'4 = \underline{\underline{0'8V}} \end{aligned}$$

b) L_1 se enciende si está en directa \rightarrow caso límite $\left\{ \begin{array}{l} U_{L1} = 1.5V \\ I_{L1} = 0 \end{array} \right.$

$$\rightarrow U_x = I_4 \cdot R_4 + I_4' R_4 + I_4 R_4 \left\{ \begin{array}{l} U_x = 3 \cdot U_{L1} = \underline{\underline{4.5V}} \\ I_4' R_4 = U_{L1} \quad I_4 = I_4' \end{array} \right.$$

c) L_1 en directa con $\left\{ \begin{array}{l} U_{L1} = 1.5V \\ I_{L1} \geq I_{Op} = 2mA \end{array} \right. \quad V_{n1} = V_3$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_4' \cdot R_4 = U_{L1} \rightarrow I_4' = 3mA \\ I_4 = I_4' + I_{L1} \geq 5mA \end{array} \right\} \quad U_{p1} = U_{n1} + I_4 R_4 \geq 4V$$

Luz obierta $\rightarrow L_2$ encendido si $V_{o2} = V_{cc} \rightarrow U_{p1} > U_{n1} \rightarrow U_3 = 4V$

d) i) Si $V_{cc} = 5V \rightarrow V_x$ no podría variar de 2 a 8V. $10mA$

ii) Si $V_{cc} = 20V \rightarrow V_{o2} = 20V \rightarrow I_{L2} = \frac{20 - 1.5}{1.2k\Omega} = 15.4mA > I_{max}$

iii) Si $V_{EE} = -10V \rightarrow V_{o2} = -10V \rightarrow L_2$ OFF con $V_{L2} = -10V < -|V_{R1}|$
" 5V

e) Si tipo N \rightarrow oscuridad: $\left\{ \begin{array}{l} p_0 \approx 0 \\ n_0 = 7.4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \end{array} \right\} \quad \sigma_0 = q\mu_n n_0 = 15.98 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$

iluminación: $\left\{ \begin{array}{l} n = n_0 + x \\ p = p_0 + x \approx x \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} n_0 + 2x = 2.34 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3} \\ n = 1.54 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3} \\ p \approx 8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \end{array} \right.$

$$\rightarrow \sigma = q\mu_n n + q\mu_p p = 39.66 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} \neq 5\sigma_0$$

Si tipo P \rightarrow oscuridad $\left\{ \begin{array}{l} p_0 \approx 7.4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \\ n_0 \approx 0 \end{array} \right\} \quad \sigma_0 = q\mu_p p_0 = 5.92 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$

iluminación $\left\{ \begin{array}{l} n \approx x = 8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \\ p = p_0 + x = 1.54 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3} \end{array} \right\} \quad \sigma = 29.6 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} = 5\sigma_0$
Tipo P

f) Si elegimos material intrínseco la conductividad dependerá de la luz y de la temperatura