

Solución de problemas con diodos

Solución analítica (modelo lineal)

Opción 1) suponemos el diodo en conducción y sustituimos el diodo por un cortocircuito. Resolvemos el circuito. La corriente por el diodo obtenida al resolver el circuito debe ir de ánodo a cátodo. Si no es así, la suposición inicial es incorrecta y el diodo no conduce.

Opción 2) suponemos que el diodo no conduce y sustituimos el diodo por un circuito abierto. Resolvemos el circuito. La tensión entre ánodo-cátodo obtenida al resolver el circuito debe ser menor que cero. Si no es así, la suposición inicial es incorrecta y el diodo conduce.

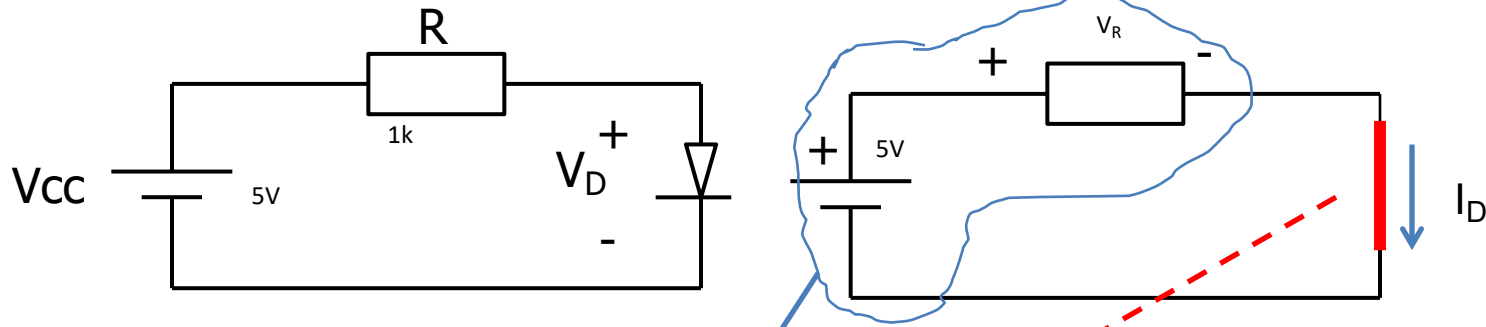
Solución gráfica Curva VI

Representar gráficamente la característica V-I del diodo.

Sustituir el resto del circuito por su equivalente de Thevenin y representar junto a la característica VI del diodo.

El punto de corte es la solución.

Solución de problemas con diodos



Solución analítica

Aplicamos la opción 1) y sustituimos el diodo por un cortocircuito, es decir, suponemos que conduce. Si un diodo conduce la corriente va de ánodo a cátodo. Señalamos en el circuito la dirección de la corriente I_D cuando el diodo conduce.

Resolvemos el circuito y verificamos el signo de I_D .

Aplicando LTK resulta:

$$-V_{cc} + V_R = 0$$

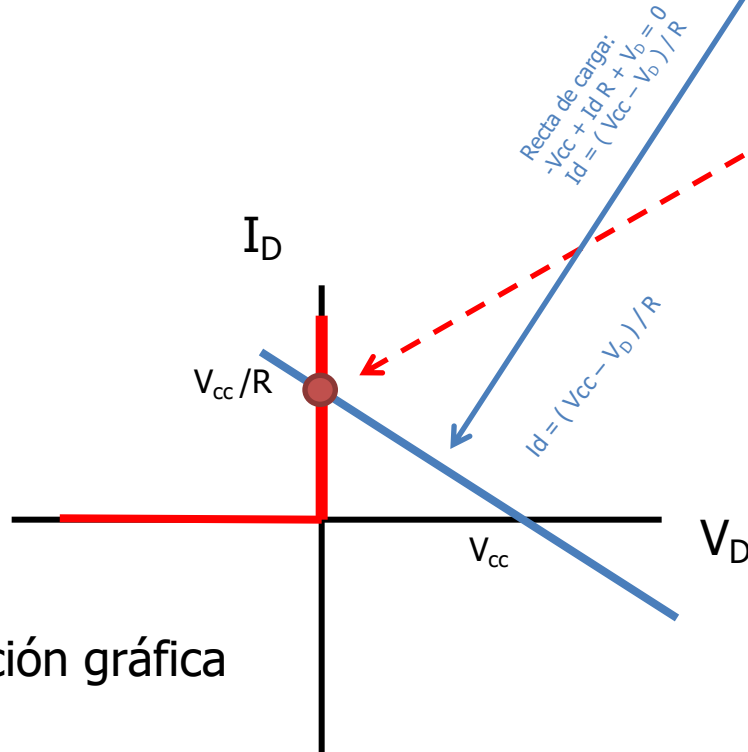
$$-5V + I_D 1k = 0$$

$$I_D = 5V/1k = 5 \text{ mA} > 0$$

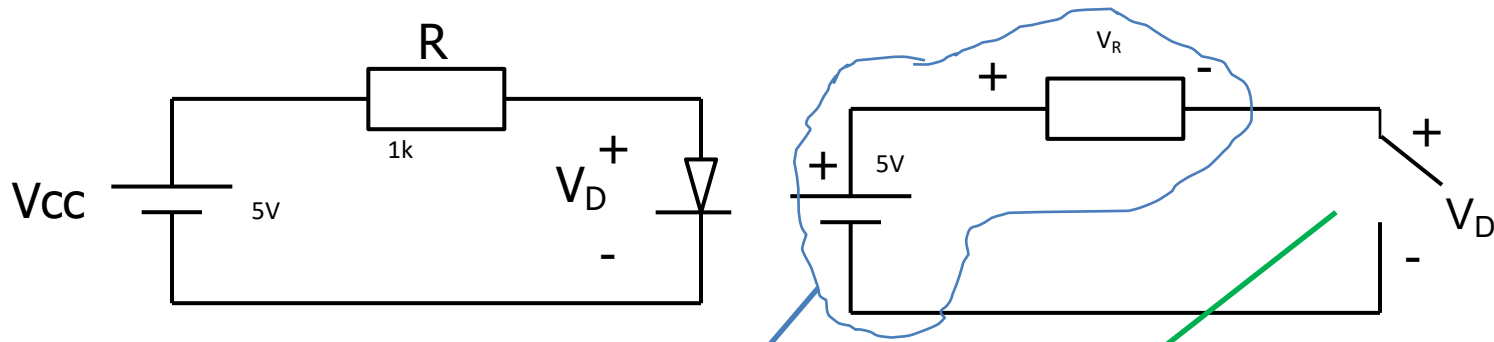
I_D es positiva (coincide con el sentido marcado). Si es positiva no hay contradicción y la suposición de que el diodo conduce es correcta.

Si I_D resultase negativa, la suposición sería incorrecta y el diodo no conduciría. Obtendría una contradicción porque no es posible que diga que conduce y la corriente vaya de cátodo a ánodo.

Solución gráfica



Solución de problemas con diodos



Solución analítica opción 2

Aplicamos la opción 2) y sustituimos el diodo por un circuito abierto, es decir, suponemos que no conduce. Si un diodo no conduce la tensión entre ánodo y cátodo debe ser negativa.

Señalamos en el circuito la tensión V_D .

Resolvemos el circuito y verificamos el signo de V_D .

Aplicando LTK resulta:

$$-V_{cc} + V_R + V_D = 0$$

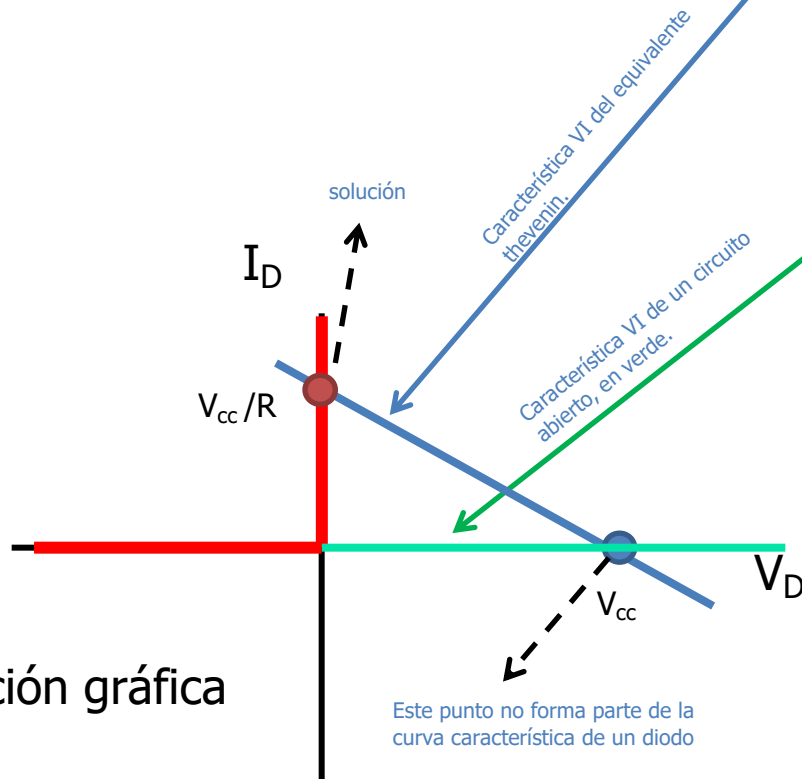
$V_D = V_{cc} - V_R = V_{cc} - I_D R = 5V > 0$ pues $I_D = 0$ (el circuito está abierto)

$V_D > 0$, positivo, y por tanto obtenemos una contradicción, estamos suponiendo que el diodo no conduce y sin embargo está soportando una tensión ánodo de cátodo de 5V. El diodo no soporta esta tensión directa (conduciría).

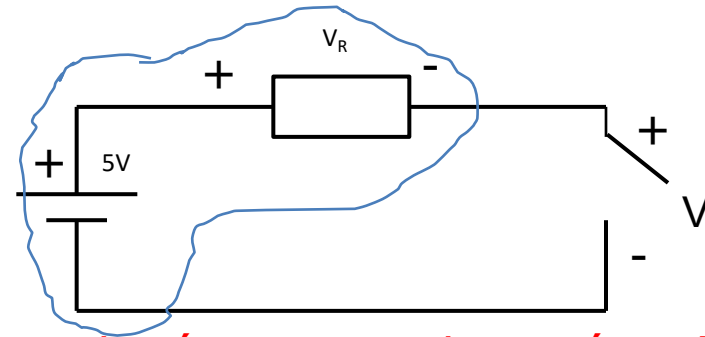
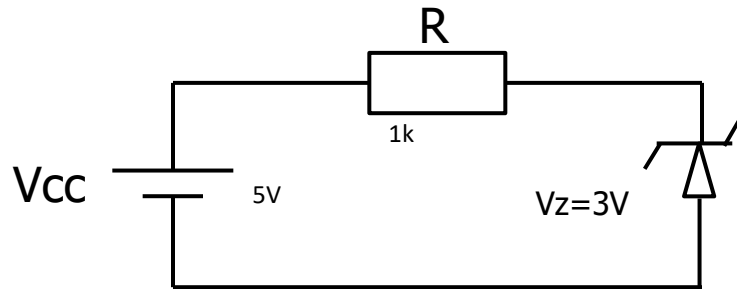
Si $V_D < 0$ (resultase negativo), la suposición sería correcta y el diodo no conduciría.

En resumen, el diodo conduce y se comporta como un cortocircuito.

Solución gráfica

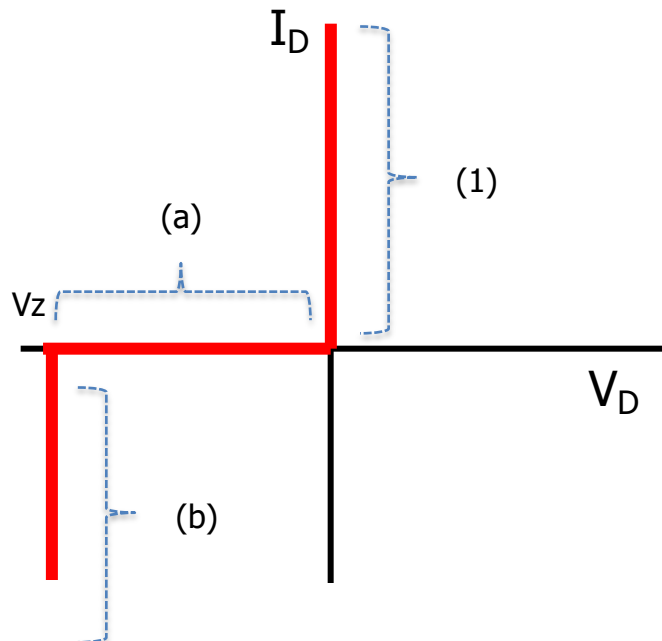


Solución de problemas con zener



El zener presenta tres zonas:

- (1) En directa se comporta como un diodo normal.
- (2) En inversa hay dos opciones:
 - (a) que la tensión inversa sea inferior a la tensión zener, en ese caso se comporta como un diodo en inversa, no conduce.
 - (b) la tensión inversa sea suficiente para que rompa y conduzca en inversa. En este caso el diodo se sustituye por una pila de valor la tensión zener entre cátodo ánodo del diodo (positivo el cátodo).



Solución suponiendo opción 2.(a)

Sustituimos el diodo por un circuito abierto, es decir, suponemos que está polarizado en inversa y no conduce (opción 2a). Si un diodo zener no conduce, la tensión inversa V (observe que V tiene polaridad opuesta a V_D) debe ser mayor que cero e inferior a su tensión de ruptura zener.

Resolvemos el circuito y verificamos el valor de V . Si V fuese mayor que V_z la suposición sería incorrecta y el diodo rompería en inversa. Si es menor que V_z la suposición es correcta y el diodo no conduce. Si V es negativa entonces el diodo conduciría en directa.

Aplicando LTK resulta:

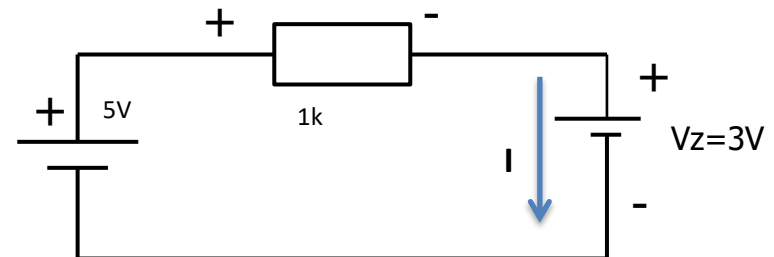
$$-V_{cc} + V_R + V = 0$$

$$V = V_{cc} - V_R = V_{cc} - I \cdot R = 5 \text{ V} \quad \text{pues } I = 0 \text{ (el circuito está abierto)}$$

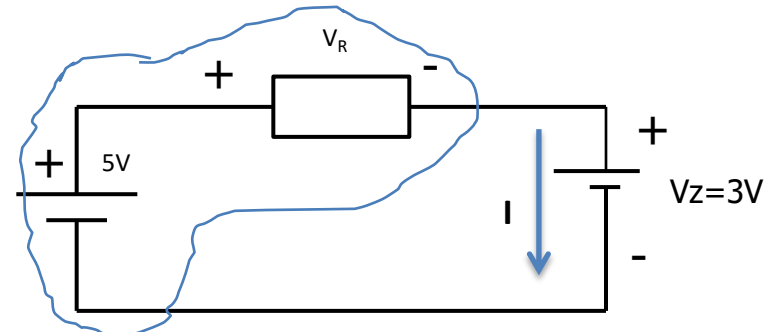
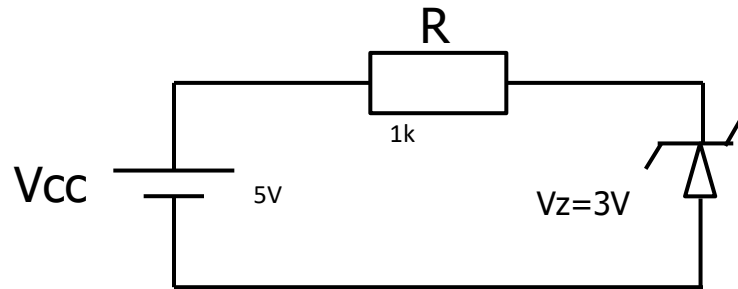
En este caso V es mayor que V_z y por tanto obtenemos una contradicción, estamos suponiendo que el diodo no conduce en inversa y sin embargo está soportando una tensión inversa mayor que su tensión de ruptura zener. El diodo zener no soporta una tensión inversa superior a su tensión de ruptura zener..

En resumen, el diodo zener conduce en inversa y se sustituye por una diferencia de potencial de 3V, tal como se muestra en la siguiente figura. La corriente I será:

$$I = (5V - 3V) / 1k = 2mA.$$

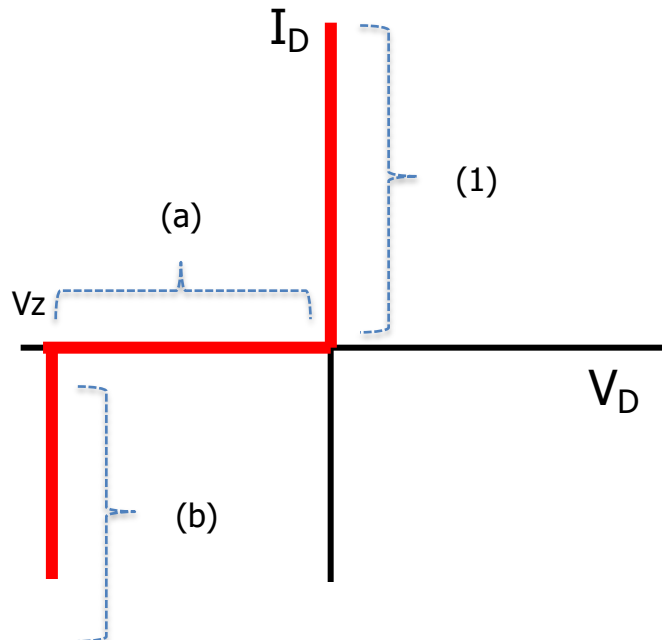


Solución de problemas con zener



El zener presenta tres zonas:

- (1) En directa se comporta como un diodo normal.
- (2) En inversa hay dos opciones:
 - (a) que la tensión inversa sea inferior a la tensión zener, en ese caso se comporta como un diodo en inversa, no conduce.
 - (b) la tensión inversa sea suficiente para que rompa y conduzca en inversa. En este caso el diodo se sustituye por una pila de valor la tensión zener entre cátodo ánodo del diodo (positivo el cátodo).



Solución suponiendo opción 2.(b)

Suponemos que el diodo conduce en inversa (opción 2b) y sustituimos el diodo por una fuente con polaridad cátodo-ánodo de valor la tensión zener. Si el zener conduce en inversa la corriente inversa, I , tiene que ir de cátodo a ánodo, según indica la figura.

Resolvemos el circuito y verificamos el signo de la corriente. Si I fuese positiva la suposición sería correcta y el diodo estaría trabajando en la zona zener. Si fuese menor que cero (sentido contrario) la suposición sería incorrecta y el zener no trabaja en esa zona.

En este ejemplo, aplicando LTK resulta:

$$-V_{cc} + V_R + V_z = 0$$

$$-5V + I \cdot R + 3 = 0$$

$$I = (5-3)/R = 2 \text{ mA} > 0 \text{ luego no hay contradicción.}$$

Estamos suponiendo que el diodo conduce en inversa manteniendo su tensión zener y la corriente que obtenemos es una corriente de cátodo a ánodo.

Solución de problemas con MOSFET canal N

Calculamos la tensión entre puerta y fuente (V_{GS}). Para ello aplicamos la LTK sobre la malla de entrada (parte del circuito que incluye los terminales GS). La corriente de puerta podemos considerarla nula.

¹ suponemos configuraciones vistas en clase

si

$V_{GS} > V_T$

no

Si V_{GS} supera la tensión umbral V_T (se forma canal) y el transistor conduce¹. Puede comportarse como una fuente de corriente o bien como una resistencia.

Si V_{GS} no supera la tensión umbral V_T el transistor está al corte, es decir, entre drenador y fuente hay un circuito abierto y por tanto $I_D = 0$.

Si suponemos que funciona como fuente de corriente sustituimos los terminales del transistor entre drenador – fuente por una fuente de corriente de valor I indicado por la gráfica. Resolvemos el circuito de la malla de salida (el circuito que incluye los terminales drenador y fuente) y calculamos la tensión drenador-fuente, V_{DS} .

V_T : es la tensión umbral

V_x : es la tensión (V_{DS}) que separa la zona ohmica de la zona de fuente de corriente.

si

$V_{DS} > V_x$

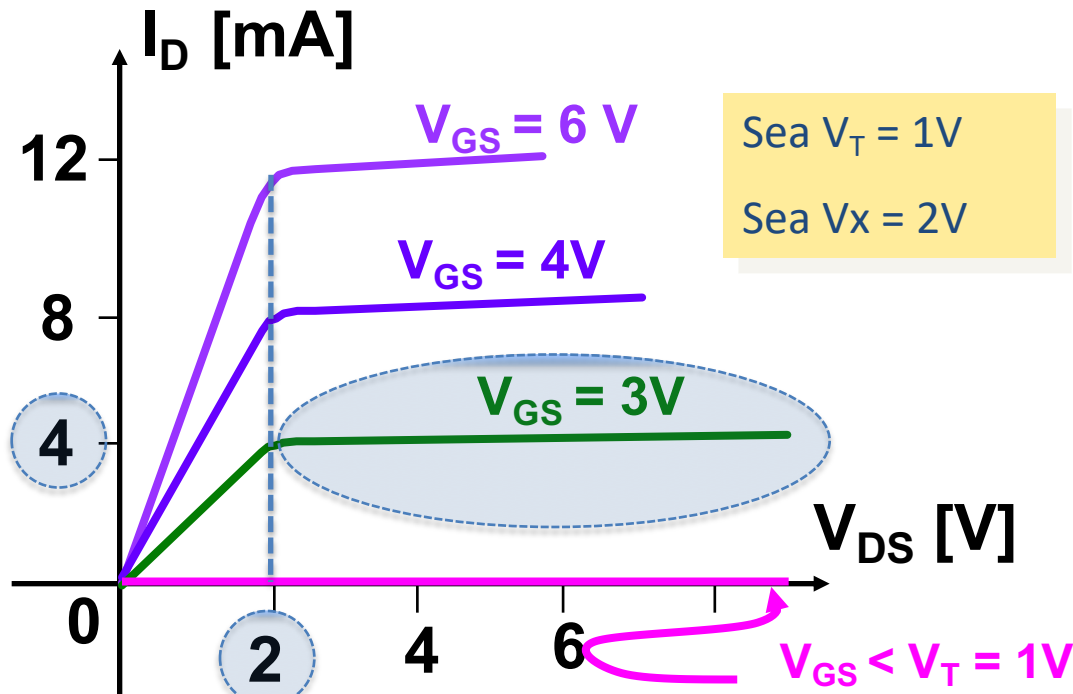
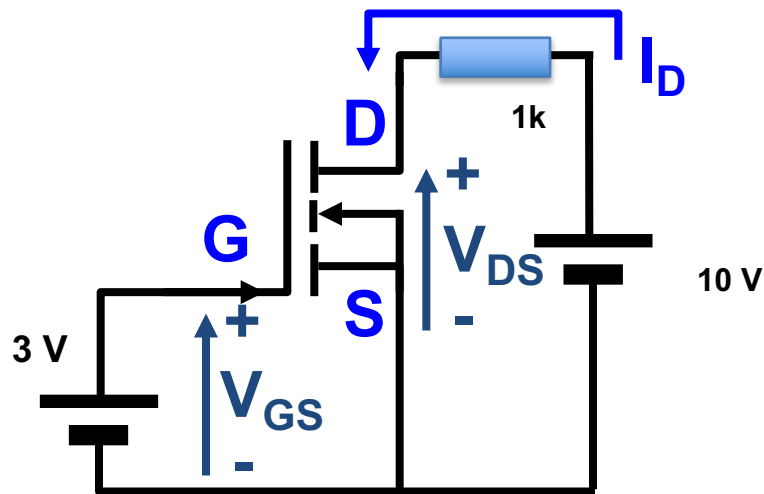
no

La suposición es correcta y el transistor trabaja como fuente de corriente con el valor de corriente indicado por la gráfica.

La suposición es incorrecta y el transistor traba como resistencia, zona Ohmica. Para calcular la resistencia a la que equivale el MOSFET dividimos la tensión V_x entre la corriente I .

Sustituimos el transistor entre los terminales de drenador- fuente por la resistencia calculada. La corriente y la tensión sobre de la resistencia se corresponden con I_D y V_{DS} respectivamente.

Solución de problemas con MOSFET



Solución analítica

EJEMPLO 1

Calculamos la tensión V_{GS} .

$V_{GS} = 3V$ y es superior a V_T (1 V) luego el transistor está funcionando como fuente de corriente o como resistencia.

Suponemos que funciona como fuente de corriente. Según la gráfica, la corriente de drenador es $I_D = 4 \text{ mA}$ para $V_{GS} = 3V$.

Si la suposición es correcta V_{DS} debe ser mayor de V_x ($V_x = 2 \text{ V}$) que es la tensión que separa la zona Ohmica de la de fuente de corriente.

Resolvemos el circuito y verificamos el valor de V_{DS} .

Aplicando LTK a la malla de salida resulta:

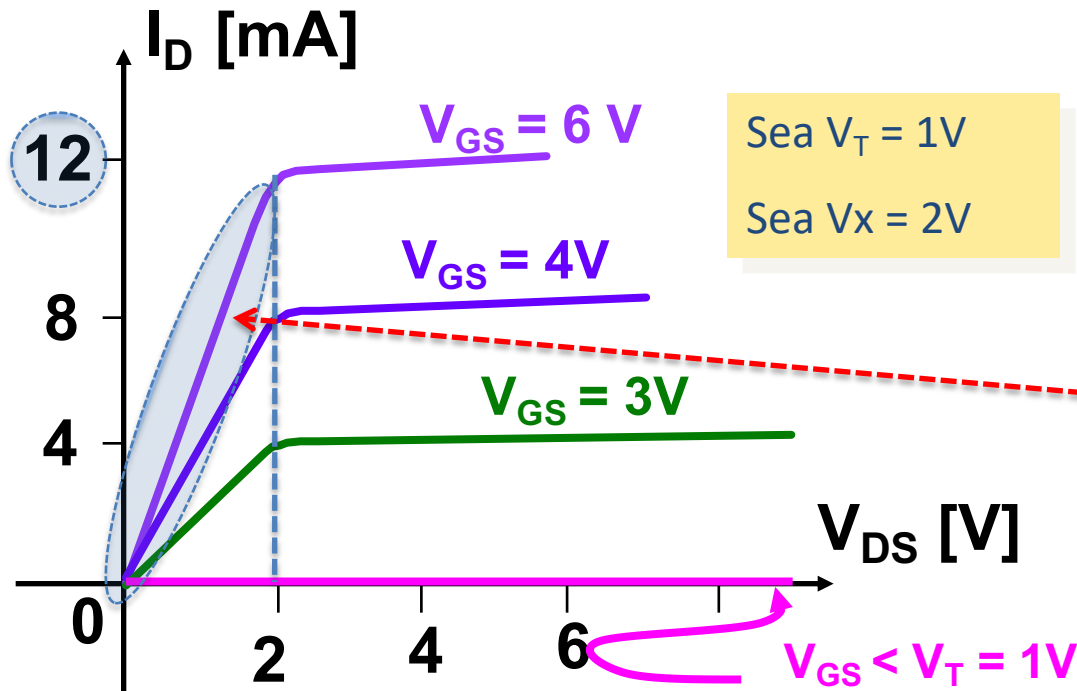
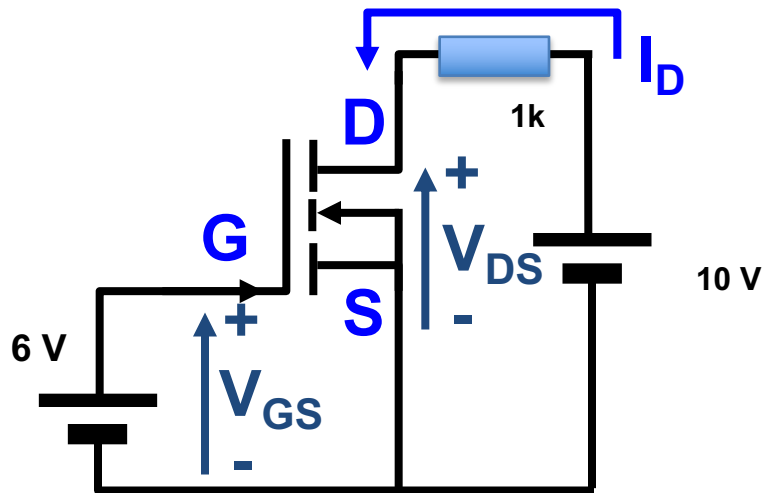
$$-V_{CC} + V_R + V_{DS} = 0$$

$$-V_{CC} + I_D \cdot R + V_{DS} = 0$$

$$V_{DS} = 10 - 4\text{mA} \cdot 1\text{k} = 6V > 2V.$$

Como $V_{DS} > 2$ la suposición es correcta y el MOSFET trabaja como fuente de corriente.

Solución de problemas con MOSFET



Solución analítica

EJEMPLO 2

Ahora solucionamos el circuito con otra tensión de puerta.

Comprobamos que la tensión $V_{GS} = 6\text{ V}$ y es superior a V_T luego el transistor está funcionando como fuente de corriente o como resistencia.

Suponemos que funciona como fuente de corriente y por tanto, según la gráfica, la corriente $I_D = 12\text{ mA}$ (para $V_{GS} = 6\text{ V}$).

Si la suposición es correcta V_{DS} debe ser mayor de $V_x = 2\text{ V}$ que es la tensión que separa la zona Ohmica de la zona de fuente de corriente.

Resolvemos el circuito y verificamos el valor de V_{DS} .

Aplicando LTK a la malla de salida resulta:

$$-V_{CC} + V_R + V_{DS} = 0$$

$$-V_{CC} + I_D \cdot R + V_{DS} = 0$$

$$V_{DS} = 10 - 12\text{mA} \cdot 1\text{k} = -2 < 2\text{ V}.$$

Como $V_{DS} < 2$ la suposición es incorrecta y el MOSFET no trabaja como fuente de corriente, trabaja como una resistencia entre drenador y fuente.

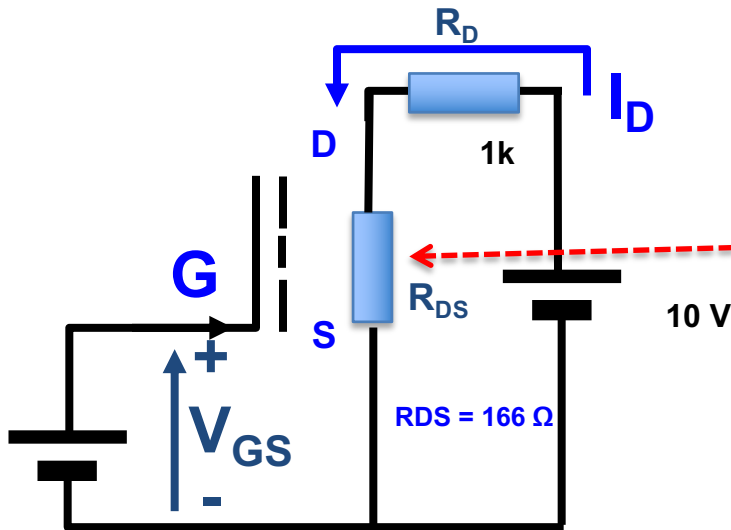
La resistencia es la inversa de la pendiente de esta recta.

Para calcular la resistencia se realiza el cociente entre V_x y la corriente I_D .

$$R_{DS} = 2\text{V}/12\text{ mA} = 166\text{ Ohm}.$$

Ver gráfico de la siguiente transparencia.

Solución de problemas con MOSFET



Solución analítica continuación

$$R_{DS} = 2V / 12 \text{ mA} = 166 \text{ Ohm.}$$

Sustituimos el transistor por la resistencia R_{DS} .

Para calcular V_{DS} e I_{DS} aplicamos LTK a la malla de salida o aplicamos la fórmula de un divisor de tensión:

$$V_{DS} = 10 \cdot R_{DS} / (R_{DS} + R_D) = 1,41 \text{ V}$$

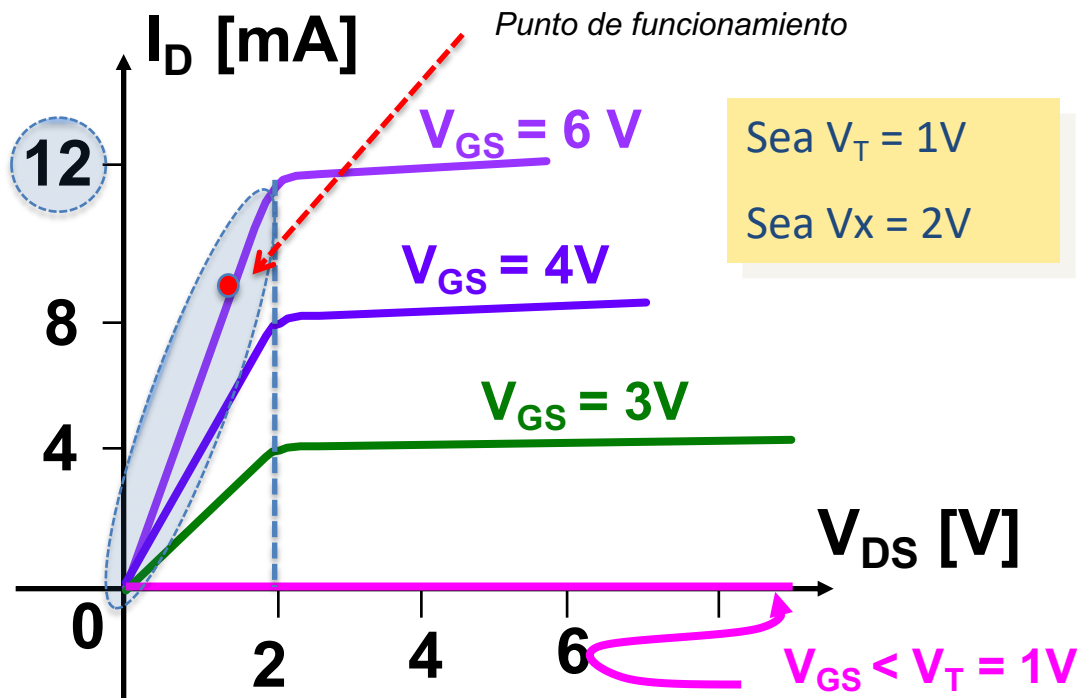
$$I_D = 10 \text{ V} / (1k + 166) = 8,5 \text{ mA}$$

Aplicando LTK:

$$-10V + I_D \cdot 1k\Omega + I_D \cdot 166\Omega = 0$$

$$I_D = 10 / 1166 = 8,5 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = I_D \cdot 166 \Omega = 1,41 \text{ V}$$



Solución de problemas con **BIPOLARES NPN**

Calculamos la corriente de base. Para ello calculamos la LTK sobre la malla de entrada (parte del circuito que incluye la unión BE. La unión BE la consideramos como un diodo (ánodo(base)-cátodo(emisor))

directa

Como está
polarizada
la unión
BE

inversa

Si la unión BE está polarizada en directa, es decir, la corriente entra por la base, entonces el transistor puede estar funcionando como fuente de corriente (activa) o como cortocircuito (saturación) ¹.

Si la unión BE está polarizada en inversa, corriente de base nula, el transistor está al corte, es decir, entre colector-emisor hay un circuito abierto y por tanto $I_c = 0$.

Si suponemos que funciona como fuente de corriente (activa) sustituimos los terminales del transistor entre colector-emisor por una fuente de corriente de valor βI_b , es decir, suponemos que la corriente de colector es $I_c = \beta I_b$. Resolvemos el circuito de la malla de salida (el circuito que incluye los terminales colector-emisor) y calculamos la tensión colector-emisor, V_{ce} .

si

$V_{ce} > 0$

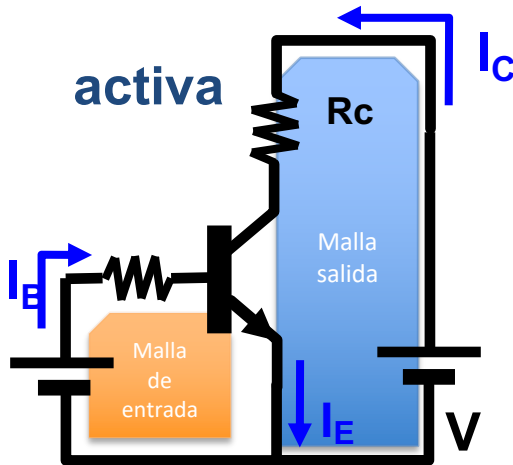
no

La suposición es correcta y el transistor trabaja en activa o como fuente de corriente. La corriente de colector es $I_c = \beta I_b$

La suposición es incorrecta y el transistor traba como cortocircuito (saturación). Para calcular la corriente de colector sustituimos los terminales del transistor colector-emisor por un cortocircuito y calculamos la corriente, $I_c(\text{sat})$.

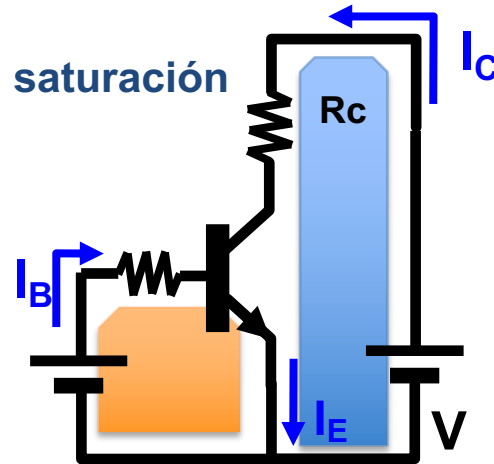
¹ suponemos configuraciones vistas en clase

Solución de problemas con BIPOLARES NPN



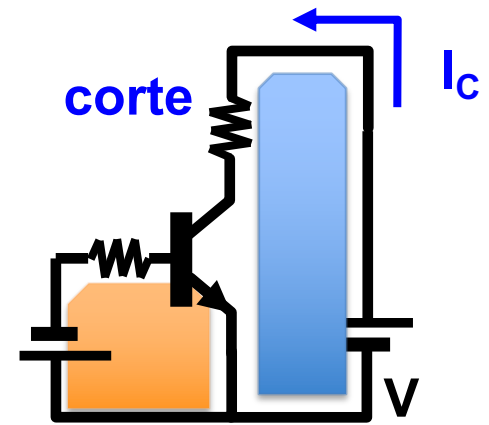
$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$



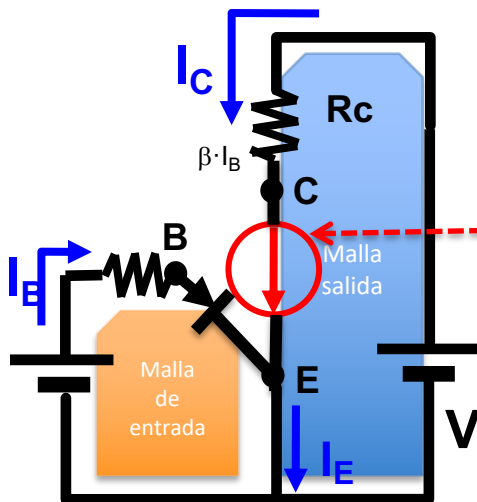
$$V_{CE} \approx 0 \quad I_B > 0$$

$$0 < I_C < \beta I_B$$



$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$

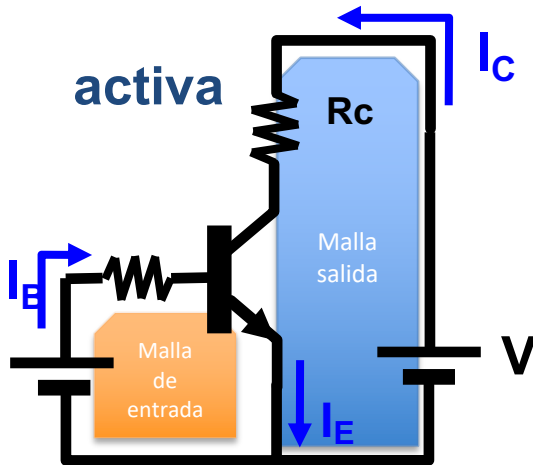


$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

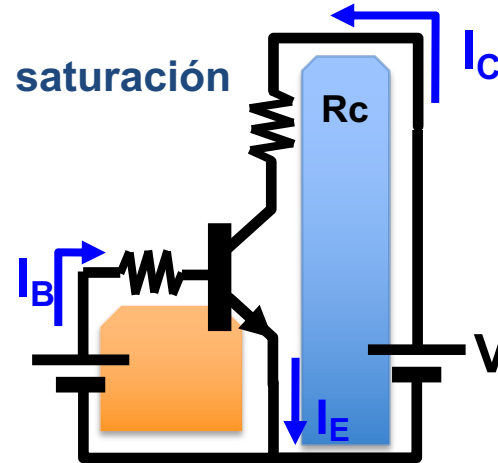
En activa:
Fuente de corriente
entre colector – emisor

Solución de problemas con BIPOLARES NPN



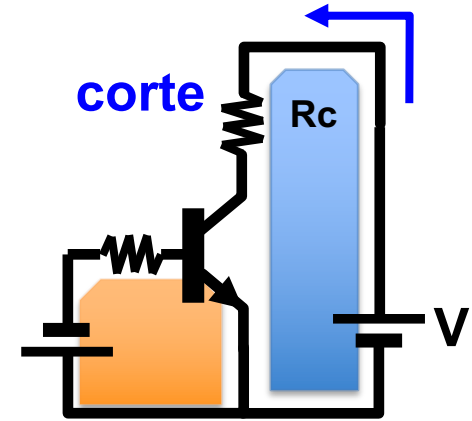
$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$



$$V_{CE} = 0 \quad I_B > 0$$

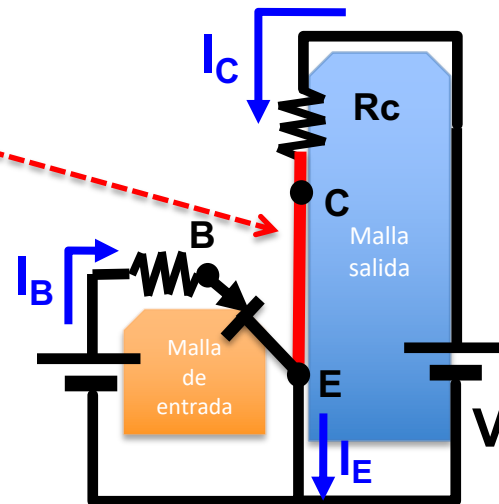
$$0 < I_C < \beta I_B$$



$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$

En saturación:
Cortocircuito
entre colector – emisor

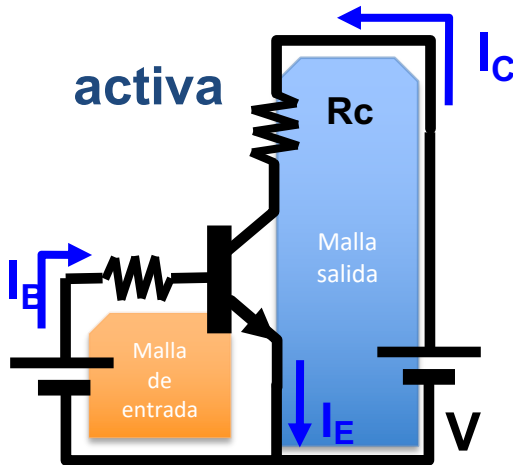


saturación

$$V_{CE} = 0 \quad I_B > 0$$

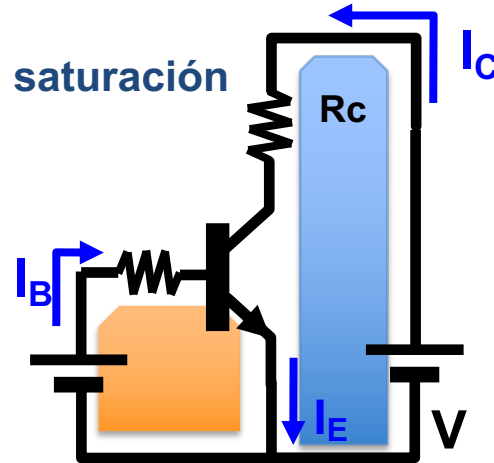
$$0 < I_C < \beta I_B$$

Solución de problemas con BIPOLARES NPN



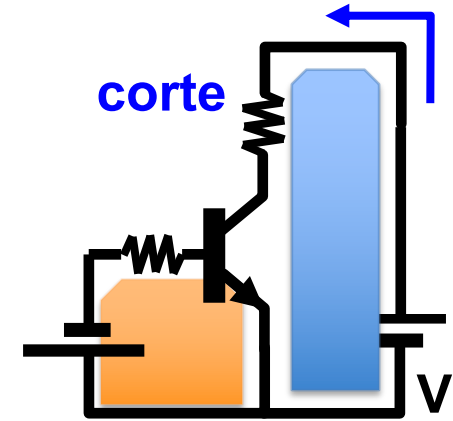
$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$



$$V_{CE} \approx 0 \quad I_B > 0$$

$$0 < I_C < \beta I_B$$

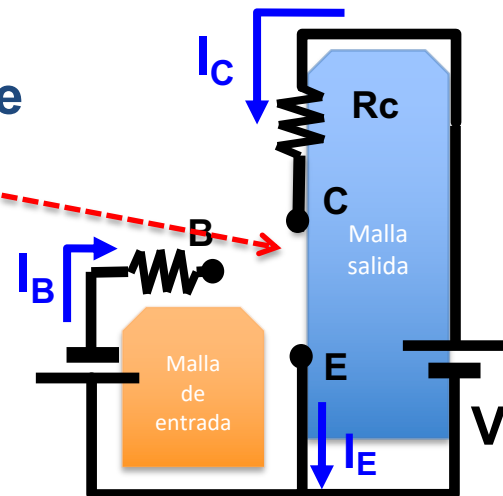


$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$

En corte:
Circuito abierto
entre colector – emisor

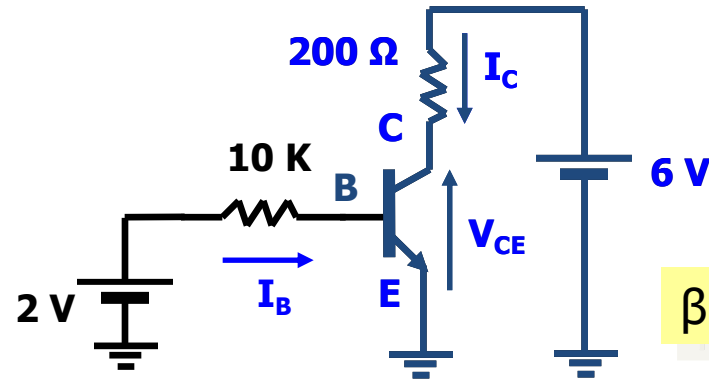
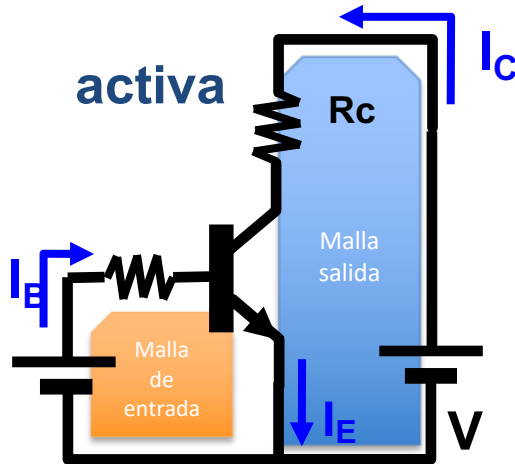
corte



$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$

EJEMPLO 1



$$\beta = 100$$

$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Calculamos la corriente de base planteando LTK sobre la malla de entrada (naranja):

$$-2\text{ V} + I_B \cdot 10\text{ k} + V_{BE} = 0$$

$V_{BE} = 0$ porque corresponde a la tensión ánodo-cátodo de un diodo en directa.

$$I_B = 2\text{ V} / 10\text{ k} = 0,2\text{ mA} > 0 \text{ luego la unión BE está polarizada en directa.}$$

El transistor puede estar en activa o en saturación.

Supongamos que está en activa (fuente de corriente), entonces:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 0,2\text{ mA} = 20\text{ mA.}$$

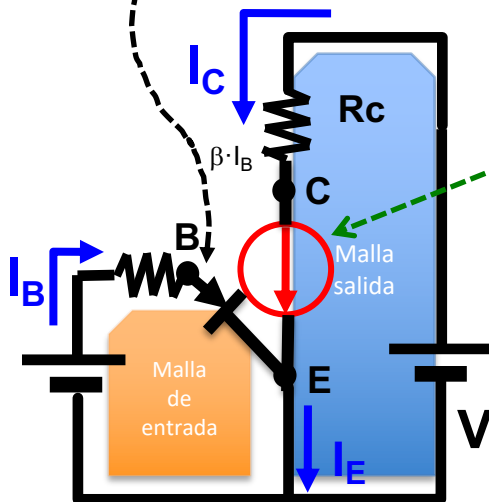
Entre colector y emisor ponemos la fuente de corriente de 20 mA .

Tenemos que calcular V_{CE} y comprobar que $V_{CE} > 0$ para asegurar que está en activa (trabaja como una fuente de corriente). En activa, zona plana de la curva característica del transistor, las tensiones V_{CE} son positivas (ver curva)

Aplicando LTK a la malla de salida (en azul):

$$-6\text{ V} + I_C \cdot 200 + V_{CE} = 0$$

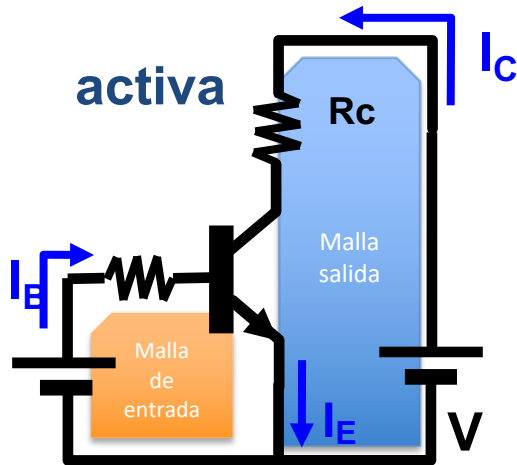
$$V_{CE} = 6 - 20\text{ mA} \cdot 200 = 2\text{ V} > 0 \text{ luego el transistor trabaja como fuente de corriente (activa)}$$



activa

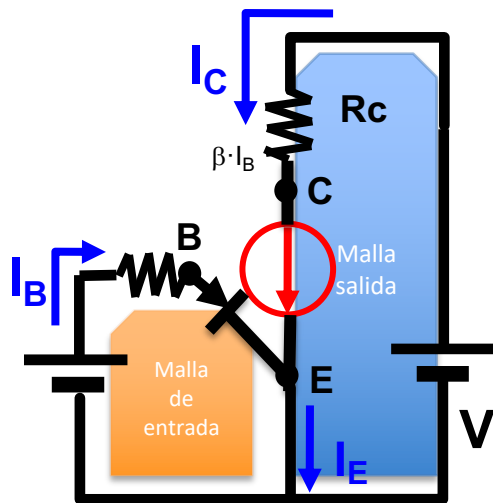
$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$



$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

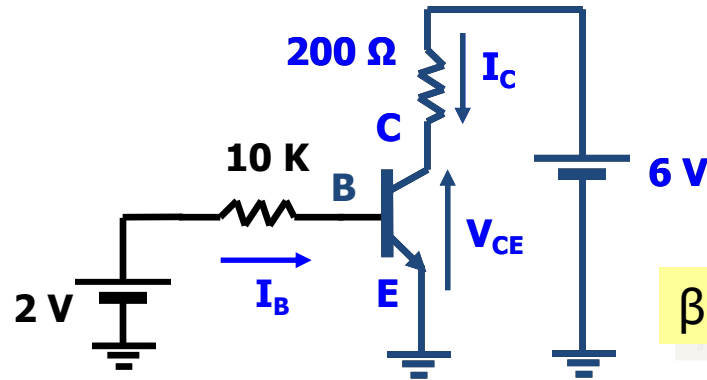
$$I_C = \beta \cdot I_B$$



activa

$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$



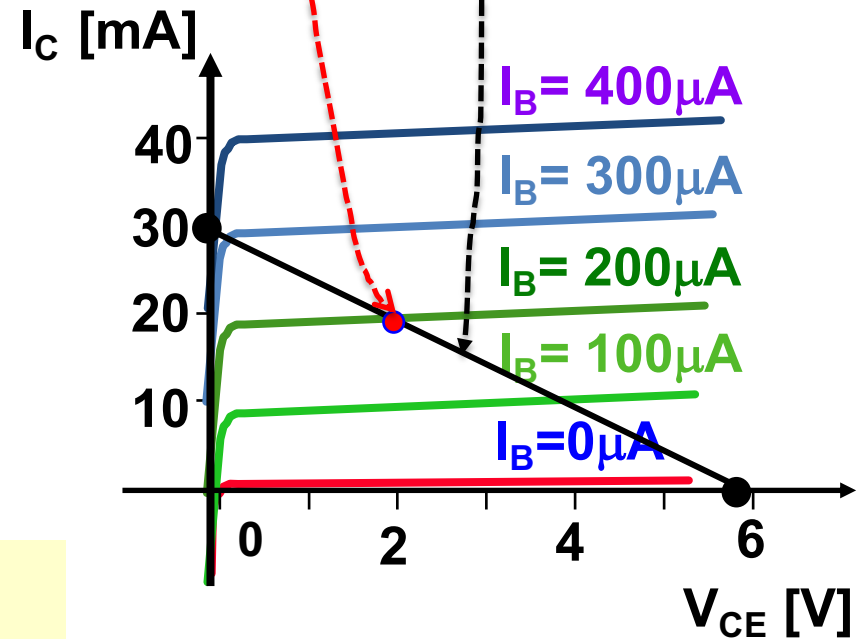
EJEMPLO 1

Solución gráfica

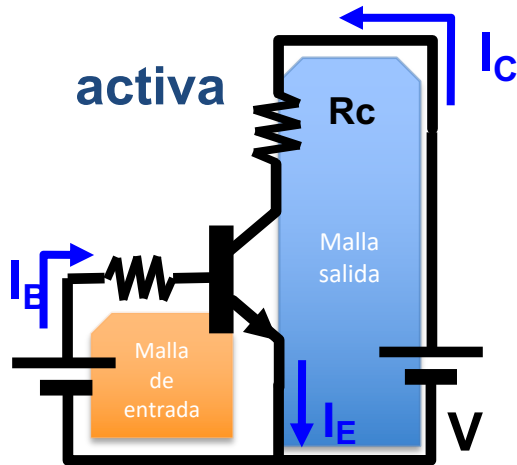
$$\beta = 100$$

La recta de carga sale de la ecuación de la malla de salida:
 $-6V + I_C \cdot 200 + V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = (6 - V_{CE}) / 200$ recta de carga

Pto. de trabajo

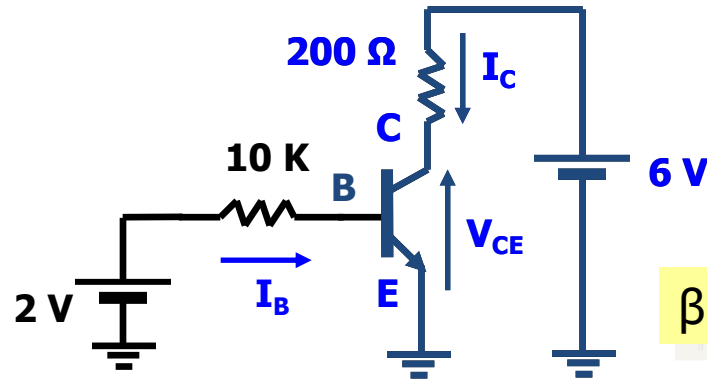


EJEMPLO 2



$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$



$$\beta = 200$$

Ahora resolvemos el circuito considerando $\beta = 200$.

Calculamos la corriente de base planteando LTK sobre la malla de entrada (naranja):

$$-2V + I_B \cdot 10k + V_{BE} = 0$$

$V_{BE} = 0$ porque corresponde a la tensión ánodo-cátodo de un diodo en directa.

$I_B = 2V/10k = 0,2 \text{ mA} > 0$ luego la unión BE está polarizada en directa y el transistor puede estar en activa o en saturación.

Supongamos que está en activa (fuente de corriente), entonces:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 200 \cdot 0,2 \text{ mA} = 40 \text{ mA}.$$

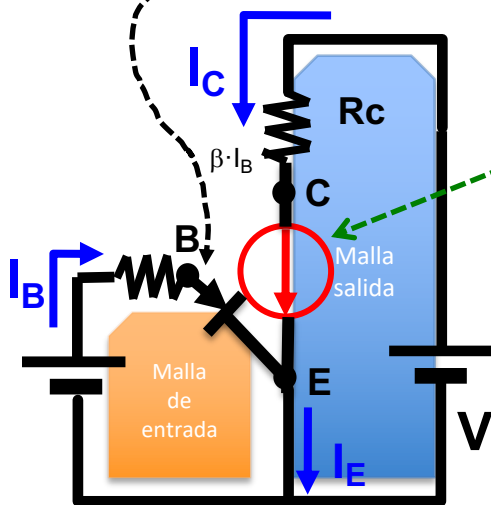
Entre colector y emisor ponemos la fuente de corriente de 40 mA.

Tenemos que calcular V_{CE} y comprobar que $V_{CE} > 0$ para asegurar que está en activa (trabaja como una fuente de corriente).

Aplicando LTK a la malla de salida (en azul):

$$-6V + I_C \cdot 200 + V_{CE} = 0$$

$V_{CE} = 6 - 40 \text{ mA} \cdot 200 = -2V < 0$ luego el transistor no está en activa, trabaja en saturación y se comporta como un cortocircuito entre colector-emisor.

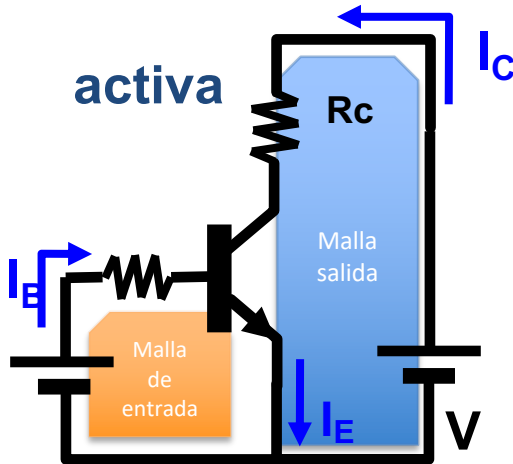


~~activa~~

~~$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$~~

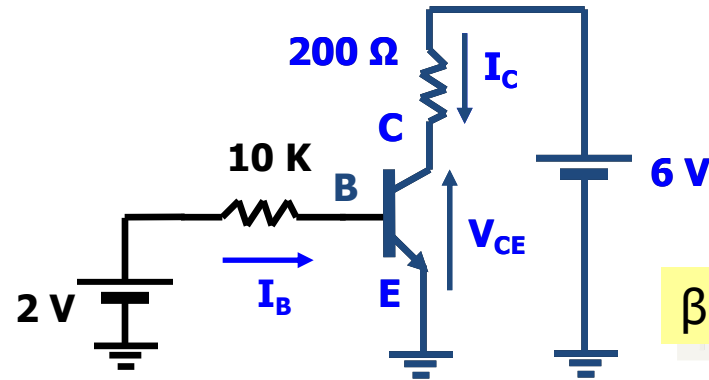
~~$$I_C = \beta \cdot I_B$$~~

EJEMPLO 2 continuación



$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$



$$\beta = 200$$

Si está en saturación entre colector y emisor ponemos un cortocircuito.

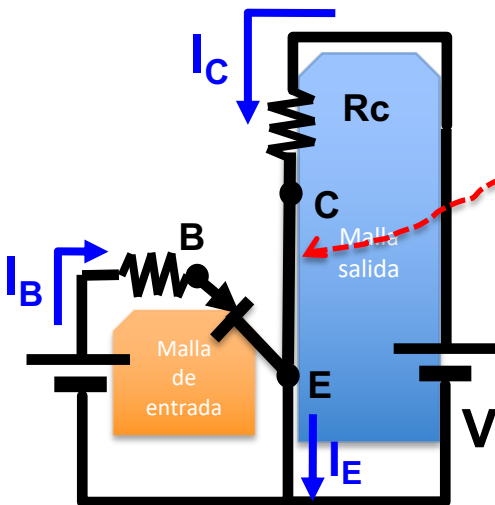
La corriente I_C la calculamos aplicando LTK a la malla de salida:

$$-6V + I_C \cdot R_C = 0$$

$$I_C = 6V / 200\Omega = 30\text{ mA}$$

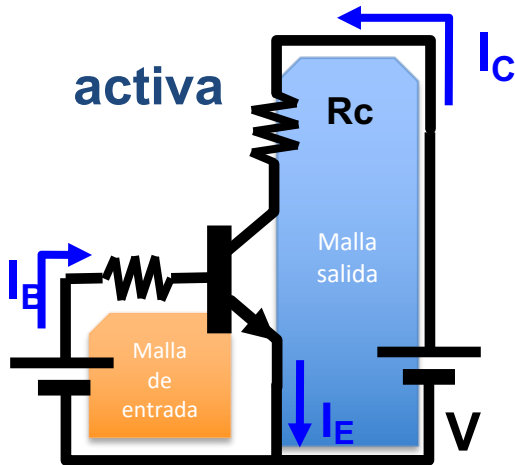
La solución es $V_{CE} = 0$ e $I_C = 30\text{ mA}$

saturación



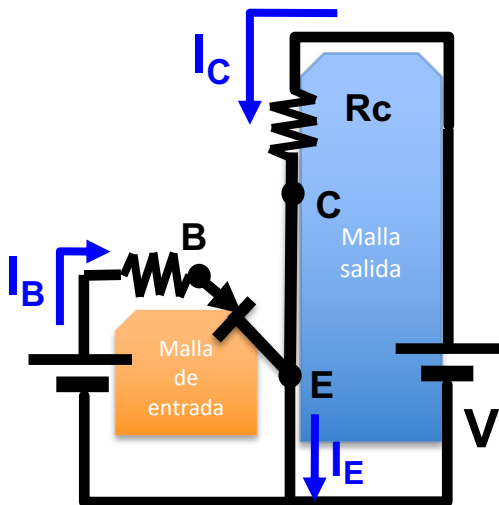
$$V_{CE} = 0 \quad I_B > 0$$

$$0 < I_C < \beta I_B$$



$$V_{CE} > 0 \quad I_B > 0$$

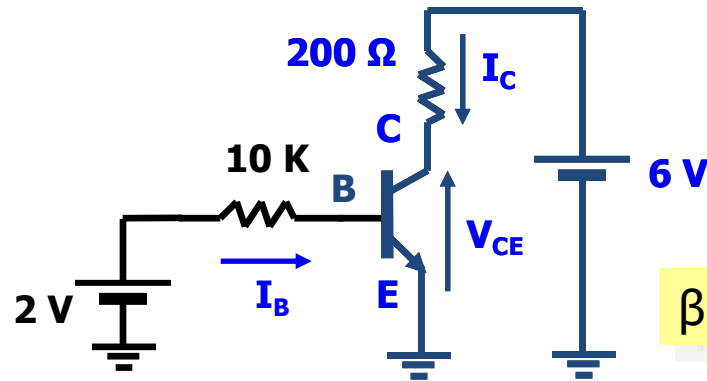
$$I_C = \beta \cdot I_B$$



saturación

$$V_{CE} = 0 \quad I_B > 0$$

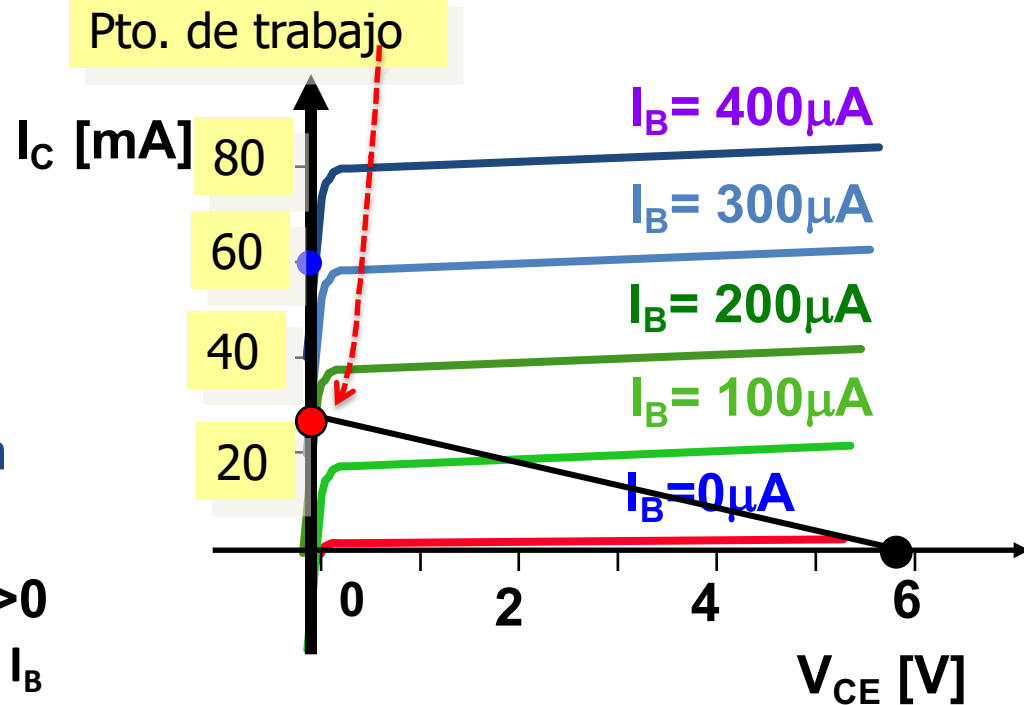
$$0 < I_C < \beta I_B$$



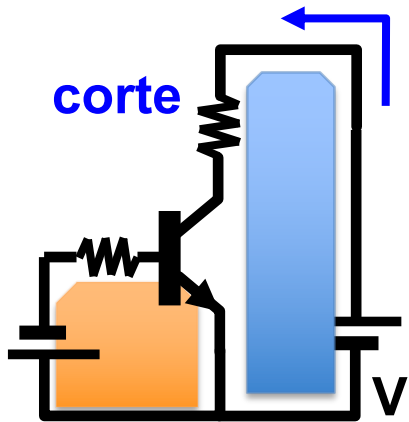
EJEMPLO 2

Solución gráfica

$$\beta = 200$$

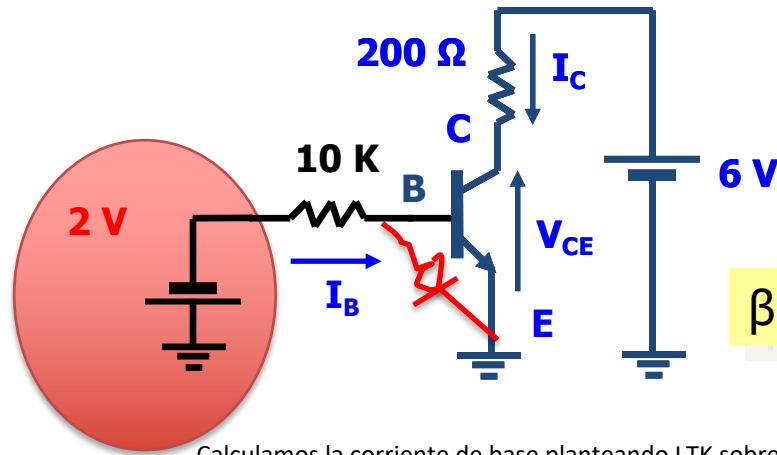


EJEMPLO 3



$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$



$$\beta = 100$$

Calculamos la corriente de base planteando LTK sobre la malla de entrada (naranja):
 $2V + I_B \cdot 10k + V_{BE} = 0$
 Si suponemos que el diodo de la unión BE está bien polarizado $V_{BE} = 0$ la corriente I_B debe ser mayor que cero. Resolviendo:
 $I_B = -2/10K < 0$ luego encontramos contradicción.
 La unión BE está polarizada en inversa y el circuito equivalente de la unión BE es un circuito abierto con $I_B = 0$.

El transistor está al corte y entre los terminales de colector y de emisor ponemos un circuito abierto.

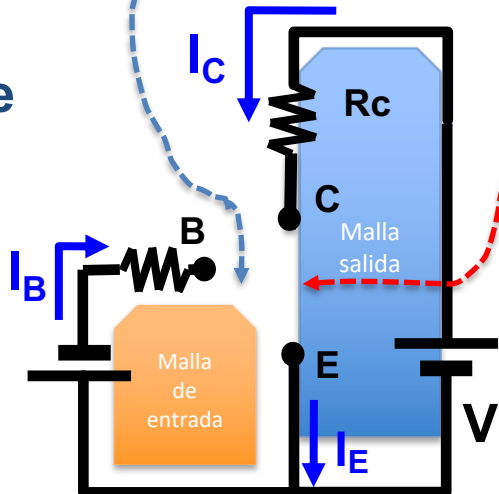
La corriente de $I_C = 0$ y la tensión V_{CE} podemos calcularla aplicando LTK sobre la malla de salida:

$$-6 + I_C \cdot 200 + V_{CE} = 0 \text{ como } I_C = 0$$

$$V_{CE} = 6V$$

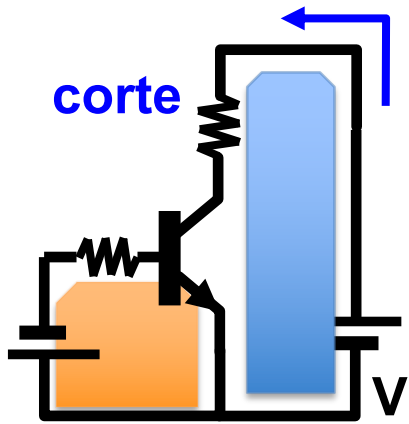
Luego el transistor trabaja al corte con $I_C = 0$ y $V_{CE} = 6V$

corte



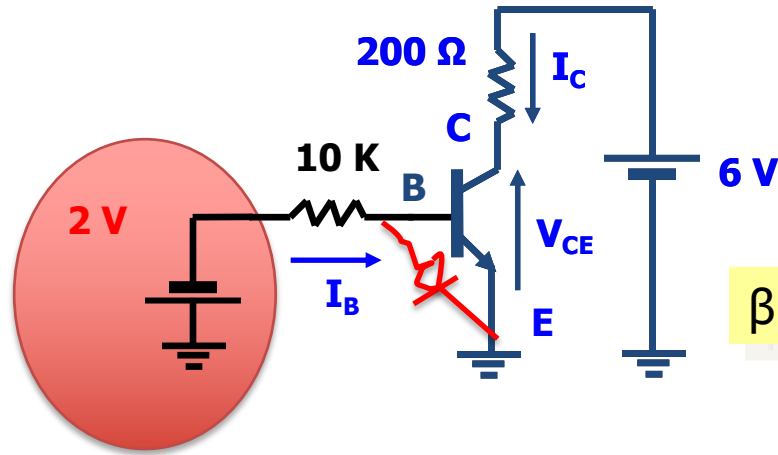
$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$



$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$

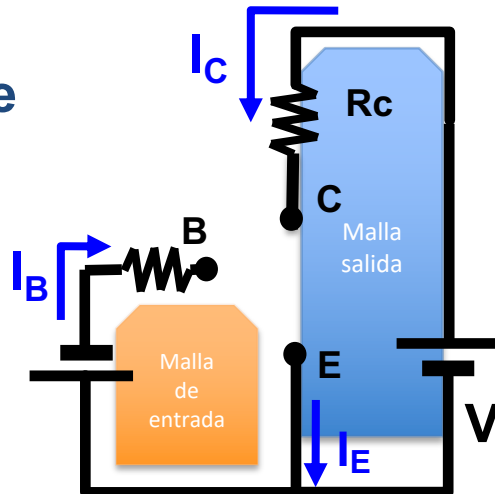


$$\beta = 100$$

EJEMPLO 3

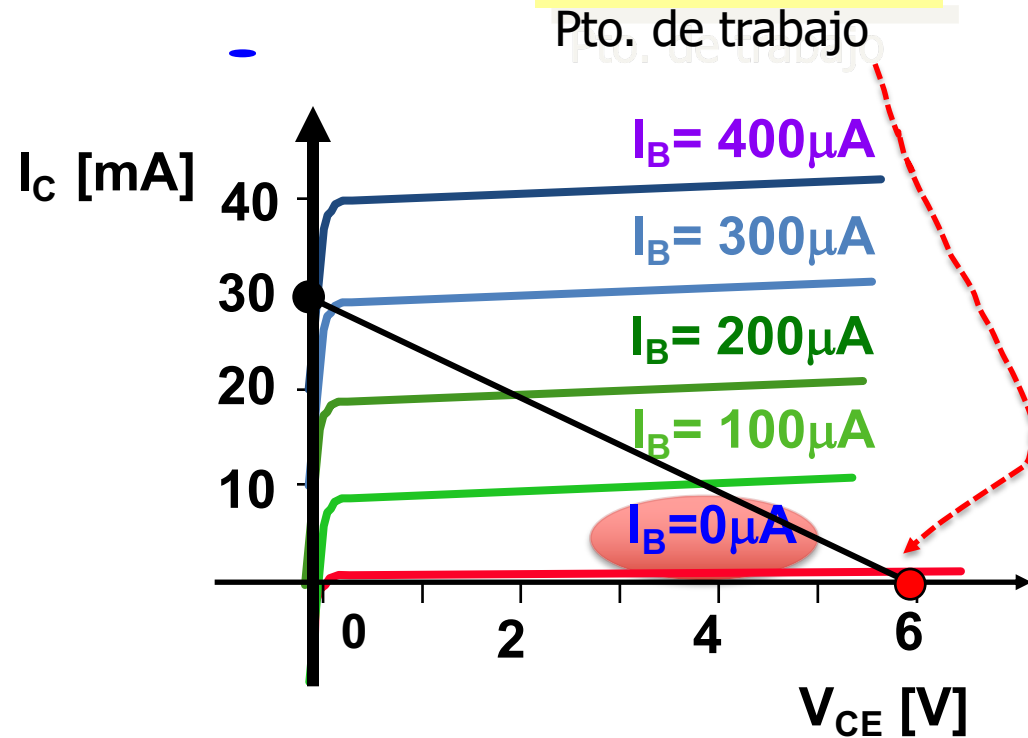
Solución gráfica

corte



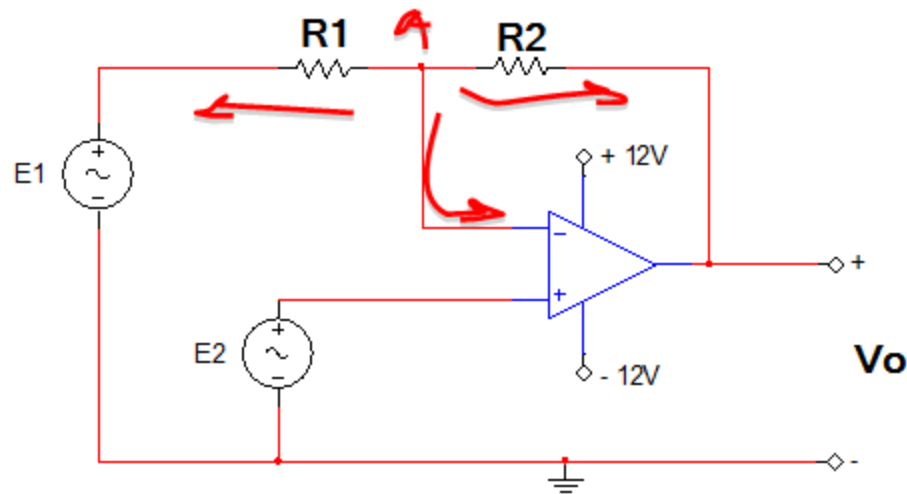
$$I_B = 0$$

$$I_C = 0$$



Solución de problemas con OPERACIONALES

- 1) Comprobar el tipo de realimentación. Para que funcione en zona lineal debe ser negativa.
- 2) Aplicamos el principio de cortocircuito virtual entre los terminales inversor y no inversor ($v_+ = v_-$).
- 3) Considerar despreciables las corrientes de entrada del operacional ($I_p = I_n = 0$).



- 1) Comprobamos que el circuito tiene realimentación negativa.
- 2) Aplicamos $V_+ = V_-$ (principio de cortocircuito virtual)
Si $V_+ = V_-$ la tensión en la entrada inversora es también E2.
Aplicando LCK al nudo A resulta:
$$(E2 - E1)/R1 + (E2 - V_o)/R2 + I_n = 0$$

Aplicando 3) $I_n = I_p = 0$ (corrientes de entrada al operacional nulas).
Despejando V_o se obtiene:
$$V_o/R2 = E2/R1 - E1/R1 + E2/R2$$

$$V_o = E2(1 + R2/R1) - E1R2/R1$$