



Guía de Ejercicios N^o 6: Transistor TBJ

Constante	Valor
q	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
m_0	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
k	$1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV K}$
h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ Js} = 4,136 \times 10^{-15} \text{ eVs}$
ϵ_0	$8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m} = 88,5 \text{ fF/cm}$
$\epsilon_r(\text{Si})$	11,7
$\epsilon_r(\text{SiO}_2)$	3,9

Parte I: Parámetros y regímenes de operación

- Para un transistor TBJ NPN operando en régimen directo se pide:
 - Indique las tensiones V_{BE} y V_{BC} para que se encuentre en dicho régimen.
 - Realice un diagrama de concentración de portadores y explique el efecto transistor, indicando las corrientes que circulan en cada zona del dispositivo.
 - Explique qué condiciones deben cumplir los dopajes y dimensiones del transistor para que aumente la ganancia de corriente β_F .
 - Explique brevemente el efecto Early utilizando el diagrama de concentración de portadores anterior.
- Dado un transistor cuyos parámetros de fabricación son $N_{dE} = 7,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_{aB} = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $N_{dC} = 1,5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $D_{pE} = 5 \text{ cm}^2/\text{s}$, $D_{nB} = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$, $W_B = 300 \text{ nm}$, $W_E = 250 \text{ nm}$.
 - Halle el valor de la corriente de saturación I_S para un transistor construido en este proceso.
 - Halle el valor de β_F para un transistor construido con este proceso.
 - ¿Por qué para obtener un elevado valor de β_F se utilizan transistores NPN y no transistores PNP?
- En la figura 1 se muestra un diagrama de concentraciones de portadores minoritarios para un transistor bipolar de juntura polarizado.
 - ¿Es un transistor NPN o PNP?
 - ¿En qué régimen está polarizado el transistor? ¿Cuál es la relación entre las tensiones V_{BE} y V_{BC} ?
 - Para este caso en particular, ¿la corriente es entrante o saliente?
 - Graficar el diagrama de concentraciones de portadores minoritarios para los otros regímenes.

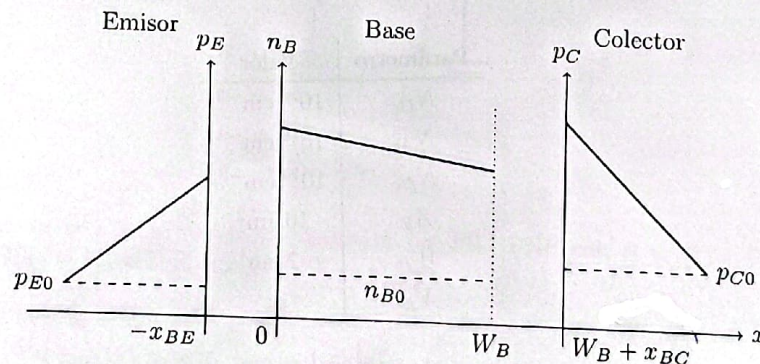


Figura 1



4. En la Fig. 2 se muestra un diagrama de concentraciones de portadores minoritarios para un transistor bipolar de juntura polarizado.
- ¿Es un transistor NPN o PNP?
 - ¿En qué régimen está polarizado el transistor? ¿Cuál es la relación entre las tensiones V_{BE} y V_{BC} ?
 - Para este caso en particular, ¿la corriente es entrante o saliente?
 - Graficar el diagrama de concentraciones de portadores minoritarios para los otros regímenes.

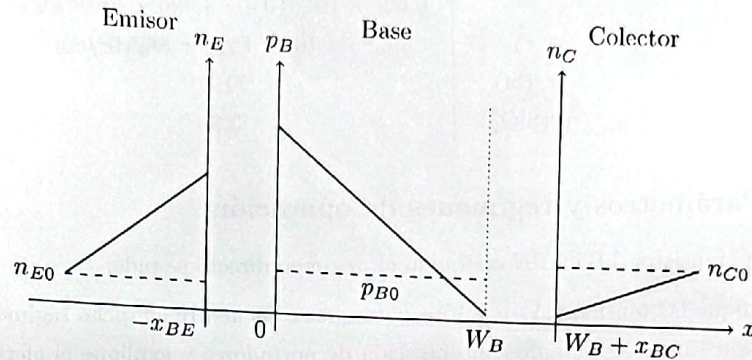


Figura 2

5. Se tiene un transistor TBJ NPN conectado como en la Fig. 3. Los parámetros del transistor se muestran en la tabla 1. Se sabe que V_{CC} tiene el valor suficiente como para que siempre se cumpla que $V_{BC} < 0$ V. Graficar el módulo de la corriente de colector en escala semilogarítmica en función de la tensión base-emisor ($0 < V_{BE} < 0,8$ V) para tres temperaturas: 300 K, 325 K y 350 K.

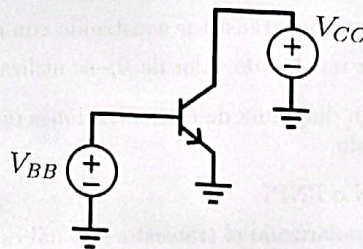


Figura 3

Parámetro	Valor
N_{De}	10^{18} cm^{-3}
N_{Ab}	10^{16} cm^{-3}
N_{Dc}	10^{14} cm^{-3}
A_E	$10 \mu\text{m}^2$
W_B	$2 \mu\text{m}$
V_A	∞

Tabla 1



Parte II: Polarización

6. El circuito de la Fig. 4 tiene un transistor TBJ NPN con $\beta = 100$ y $V_A \rightarrow \infty$, fuentes $V_{CC} = 12\text{ V}$ y $V_{BB} = 4\text{ V}$, y resistencias $R_B = 100\text{ k}\Omega$ y $R = 1\text{ k}\Omega$. Calcular el punto de polarización (también llamado punto de reposo o punto Q).

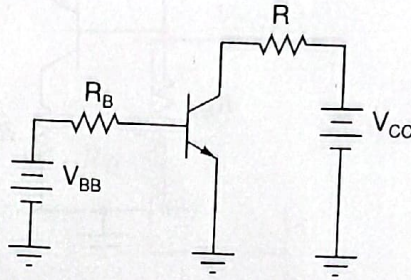


Figura 4

7. Se tiene un TBJ NPN de $\beta_F = 200$ y $V_A \rightarrow \infty$ polarizado como muestra la Fig. 5. Se utiliza una resistencia en el colector $R_C = 500\ \Omega$, una sola fuente de alimentación $V_{CC} = 10\text{ V}$, y dos resistencias de base $R_{B1} = R_{B2} = 200\text{ k}\Omega$.
- Determinar el punto de trabajo.
 - Determinar el valor de R_{B2} para que la corriente I_C sea 6 mA con el dispositivo en MAD siendo $R_{B1} = 10\text{ k}\Omega$.
 - Determinar el punto de trabajo nuevamente con $R_{B1} = R_{B2} = 200\text{ k}\Omega$, pero esta vez para las siguientes tensiones de Early: $V_{A1} = 10\text{ V}$ y $V_{A2} = 100\text{ V}$. ¿Puede despreciarse el efecto Early en alguno de esos dos casos? Justifique.

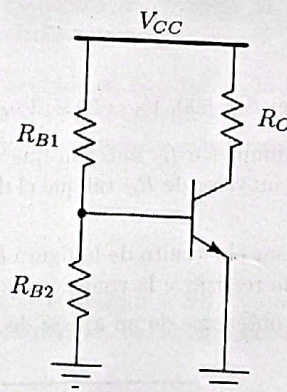


Figura 5

8. Para el circuito de la Fig. 6, siendo el transistor un TBJ PNP con $\beta = 80$ y $V_A \rightarrow \infty$, y además $R_{B1} = 50\text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 100\text{ k}\Omega$, $R = 210\ \Omega$ y $V_{CC} = 5\text{ V}$:
- Hallar el punto Q.
 - Hallar R_{B1} tal que la caída de tensión en R sea $V_R = 2,5\text{ V}$.
 - Hallar nuevamente el punto Q si ahora $V_A = 20\text{ V}$.

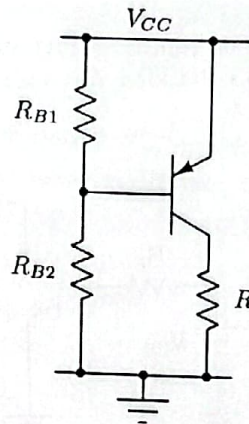


Figura 6

9. Para el circuito de la Fig. 7, donde $V_{CC} = 5\text{ V}$, $R = 100\ \Omega$ y $\beta_F = 300$, encuentre el valor de R_B para que $V_X = 0\text{ V}$. Con el valor de R_B hallado, encuentre todas las tensiones y corrientes del circuito.

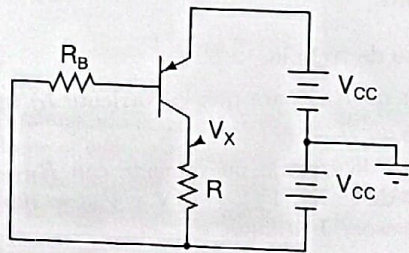


Figura 7

10. Para el circuito de la Fig. 8 con $\beta = 500$, $V_A = 20\text{ V}$, $V_{CC} = 6\text{ V}$, $R_B = 118\text{ k}\Omega$, $R_{var} = 20\text{ k}\Omega$, se pide:
- Hallar las corrientes I_C mínima e I_C máxima que se puede obtener según la posición del potenciómetro R_{var} . Considere un valor de R_C tal que el dispositivo se encuentre en MAD y $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ para la corriente máxima.
 - Explicar cómo se puede usar el circuito de la figura 8 medir la transferencia I_C vs V_{BE} . Indique las modificaciones que debería realizar y la conexión de los instrumentos.
 - ¿Qué parámetros pueden obtenerse de un ajuste de esta curva? ¿Cómo se obtienen?

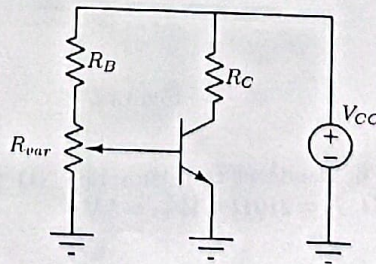


Figura 8

11. Se tiene un transistor TBJ NPN con $\beta = 100$ y $V_A \rightarrow \infty$ conectado como indica la Fig. 9, donde $R_B = 100\text{ k}\Omega$, R_C es variable y $V_{CC} = 5\text{ V}$.



- Mediante el método de la recta de carga, estimar la tensión V_{CE} cuando $R_C = 500 \Omega$. Grafique.
- Si ahora $R_C = 10 \text{ k}\Omega$, **estime** la corriente de colector utilizando la recta de carga.
- Si ahora $V_A = 20 \text{ V}$, estimar el rango de R_C permitido para que el transistor permanezca en MAD. ¿Cuáles son los valores máximos y mínimos que toma la corriente de colector en MAD?

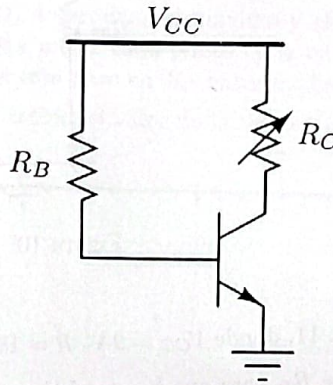


Figura 9

Parte III: Pequeña señal

- ✓ Dado un transistor cuyos parámetros de fabricación son $N_{dE} = 7,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_{aB} = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $N_{dC} = 1,5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $D_{pE} = 5 \text{ cm}^2/\text{s}$, $D_{nB} = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$, $W_B = 300 \text{ nm}$, $W_E = 250 \text{ nm}$, $A_E = 25 \mu\text{m}^2$, $A_C = 100 \mu\text{m}^2$, $\tau_{TBE} = 20 \text{ ns}$, $V_A = 35 \text{ V}$, polarizado con $I_C = 100 \mu\text{A}$ y $V_{CE} = 2 \text{ V}$.

 - Halle los valores de los elementos del modelo de pequeña señal de bajas frecuencias (g_m , r_π , r_o) y dibuje el circuito correspondiente.
 - Halle los valores de los elementos del modelo de pequeña señal de altas frecuencias (g_m , r_π , r_o , C_π , C_μ , r_μ) y dibuje el circuito correspondiente.
- ✓ Se tiene un transistor PNP conectado al circuito de la Fig. 6, usando $R_{B1} = 100 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 80 \text{ k}\Omega$, $R = 200 \Omega$ y $V_{CC} = 5 \text{ V}$. Los datos del transistor son $\beta = 300$, $V_A = 60 \text{ V}$. Calcular los parámetros del modelo de pequeña señal de bajas frecuencias y dibujar su circuito. ¿Cuánto varía la corriente de colector si v_{be} cambia en 5 mV ?

Parte IV: Integradores

14. Para el circuito de la Fig. 10, considerando $\beta = 50$, $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $R_{B1} = 100 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 287 \text{ k}\Omega$, $R = 4 \text{ k}\Omega$, $V_T = 0,8 \text{ V}$, $\mu_n C'_{ox} W/(2L) = 100 \mu\text{A}/\text{V}^2$, hallar el punto de trabajo del transistor bipolar: (I_{CQ}, V_{CEQ}) .

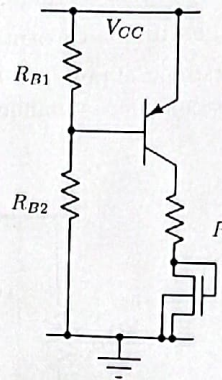


Figura 10

15. Para el circuito de la Fig. 11, donde $V_{CC} = 9\text{ V}$, $R = 180\ \Omega$ y $\beta_F = 500$,
- Encuentre el valor de R_B para que $V_X = 4,5\text{ V}$.
 - Con el valor hallado en el ítem anterior, encuentre todas las tensiones y corrientes del circuito.
 - ¿Cuánto puede variar R para que el circuito se mantenga operando en *Modo Activo Directo*?

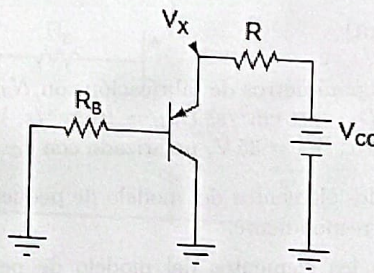


Figura 11

16. Para el circuito de la Fig. 12, donde los parámetros del transistor son $\beta = 200$ y $V_A = 50\text{ V}$, se pide:
- Hallar el punto de polarización o reposo Q , siendo $R_B = 330\text{ k}\Omega$, $R_E = 1,8\text{ k}\Omega$ y $V_{CC} = V_{BB} = 5\text{ V}$.
 - Reemplazar R_B y R_E para lograr $g_m = 28\text{ mS}$ y $V_E = V_{CC}/2$.
 - Hallar el modelo de pequeña señal para bajas frecuencias del transistor en esta situación. Explique que representa cada componente de dicho modelo.
 - Suponiendo ahora que $V_{BB} = 5\text{ V}$, pero que V_{CC} es una tensión variable, hallar el rango de tensiones para los cuales es válido el modelo del punto b).

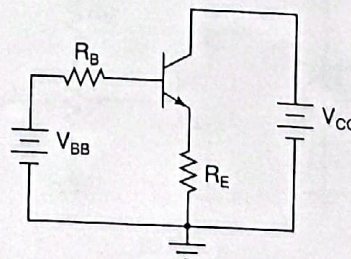


Figura 12



17. En la Fig. 13 se muestra la medición de una curva de salida correspondiente a un circuito como el de la figura 9, donde el transistor tiene $\beta = 250$ y la tensión de alimentación es $V_{CC} = 3\text{ V}$.
- Determinar el valor de la resistencia de base utilizada en esta medición.
 - Si debido a variaciones del proceso el β del transistor es un 10% mayor que su valor nominal, ¿qué corriente cambia? ¿ I_B o I_C ? Calcule el nuevo valor.
 - A partir de la recta de carga, determinar el máximo y el mínimo valor de R_C utilizados en esta medición. Asumiendo que para medir cada punto de la curva la resistencia de colector se varía en un mismo valor ΔR_C , calcule este paso en R_C entre mediciones.
 - A partir de la curva medida, estime el valor de la tensión de Early y r_o .

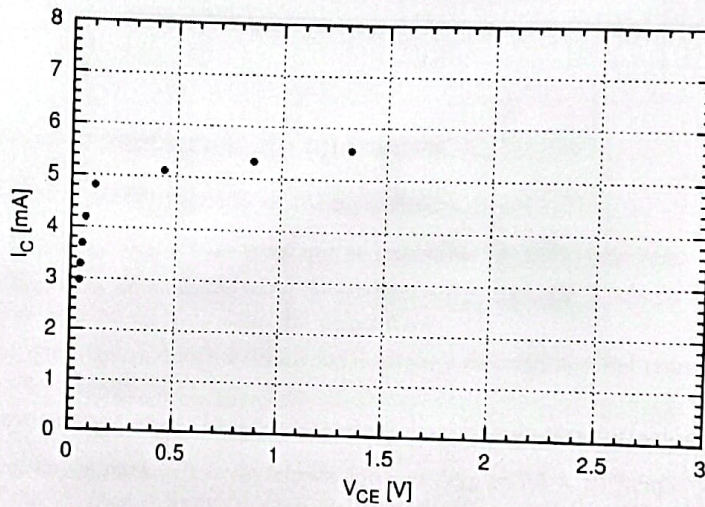


Figura 13

18. Se tiene un transistor conectado como en la Fig. 14, donde se utiliza un diodo zener con los siguientes parámetros: $V_Z = 2,1\text{ V}$; $1,3\text{ mA} < I_Z < 20\text{ mA}$. El transistor tiene los siguientes parámetros: $V_{BE\text{ ON}} = -0,7\text{ V}$ y $V_A = 200\text{ V}$. La tensión de alimentación es $V_{DD} = 5\text{ V}$ y la resistencia de base es $R_B = 100\text{ k}\Omega$. ¿Cuál debería ser el mínimo valor de β del TBJ para que el diodo Zener actúe como referencia de tensión? ¿Y el máximo?

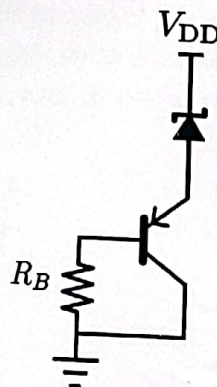
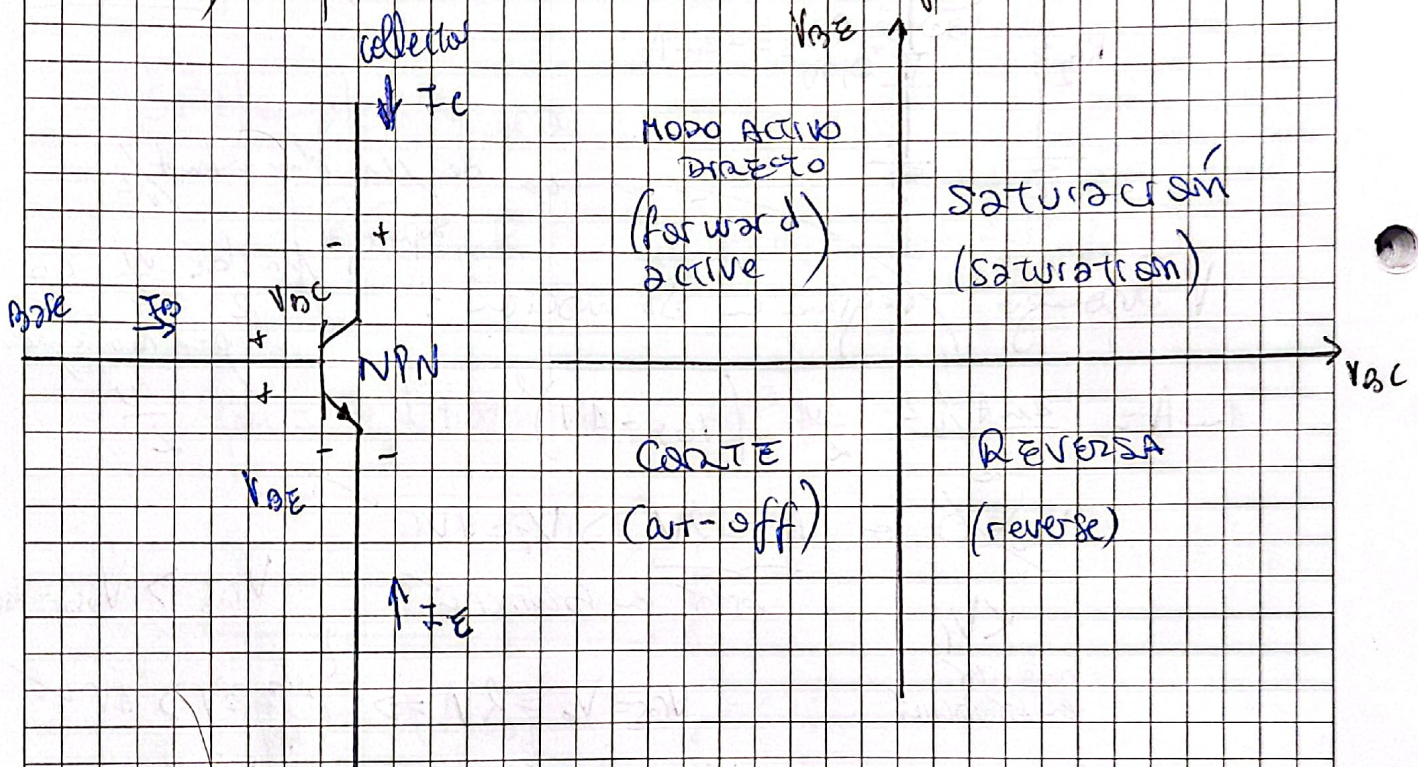


Figura 14

GUIA N° 6: TRANSISTOR TBJ

• PARTE I: Parámetros y regímenes de operación

1. a) Se presenta a modo de gráfico:



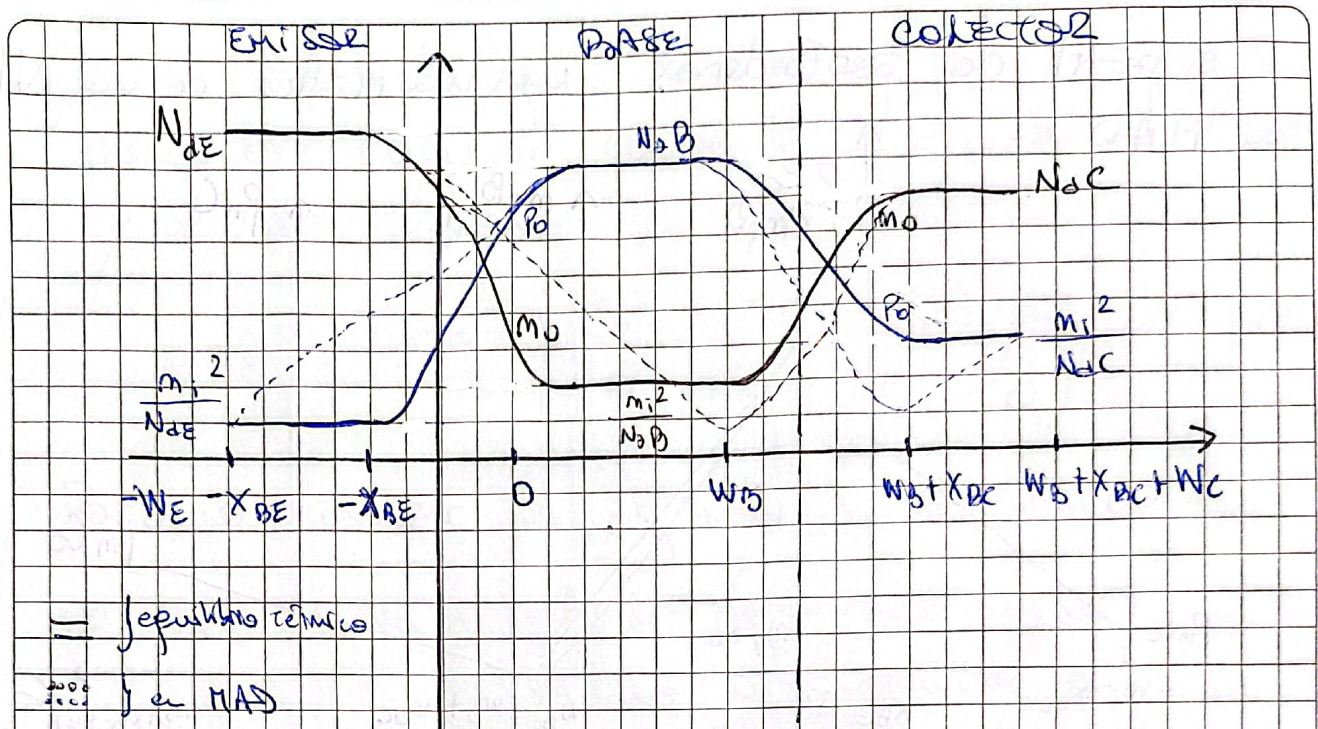
ENTONCES, para un NPN se tiene que

$$V_{BE} > 0 \text{ y } V_{BC} < 0$$

b) El efecto transistor es un fenómeno físico que en el cual se puede controlar la corriente eléctrica en un material

semiconductores mediante la aplicación de un campo eléctrico externo.

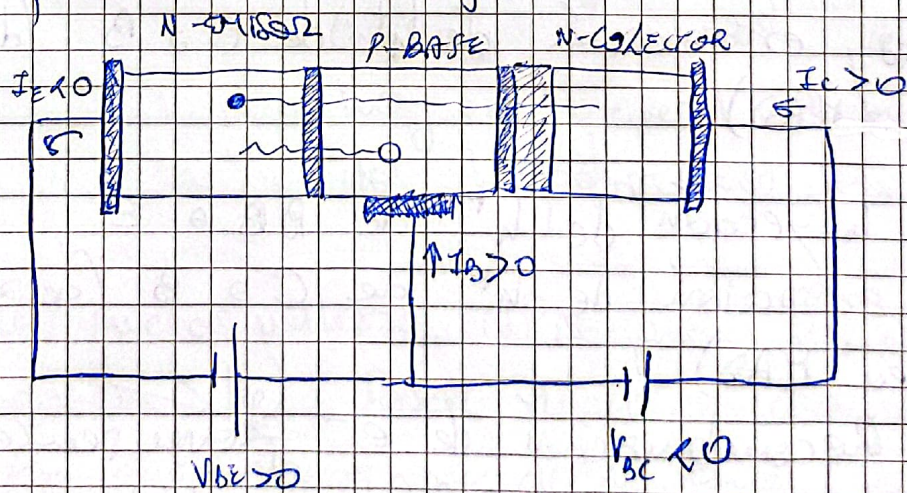
El transistor es un dispositivo electrónico que aprovecha este efecto para amplificar o conmutar señales eléctricas.



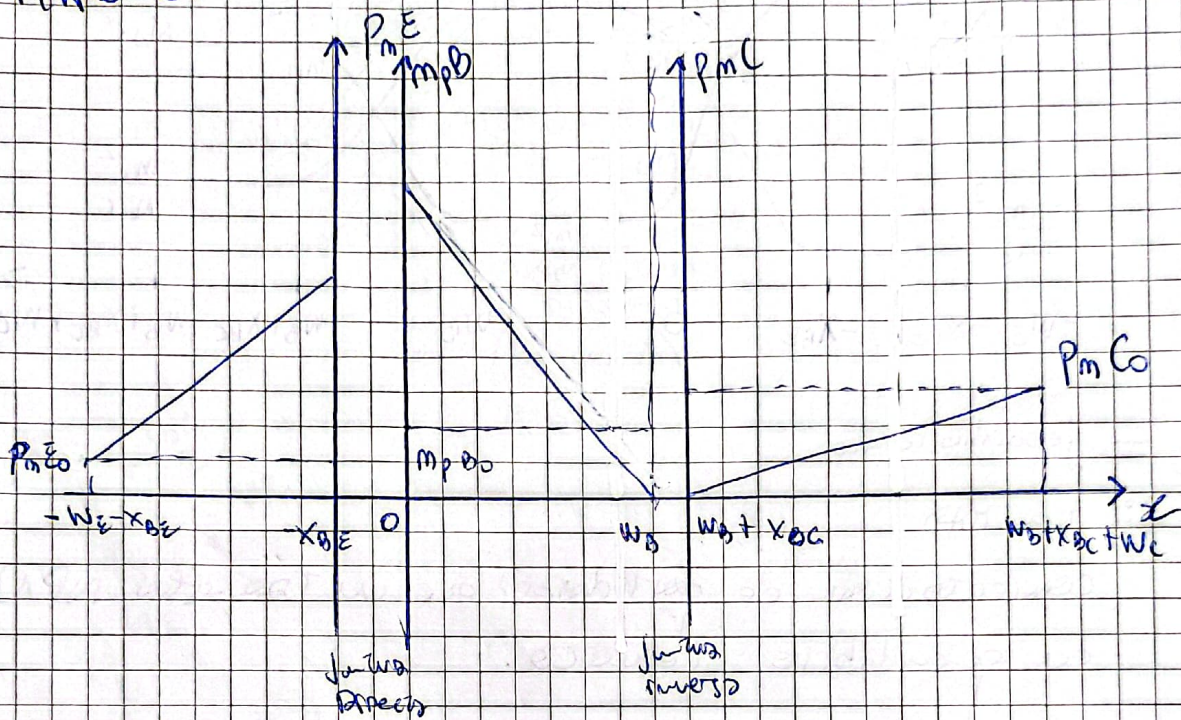
concentración de portadores en un transistor NPN en equilibrio térmico.

En MAS, en NPN, la corriente del colector se controla a través de V_{BC} y tiene poca dependencia con la tensión del colector (bajo saturación).

Dado que esto es régimen de activo directo



El perfil de portadores minoritarios de un NPN en MAD es:



En MAD:

I_c : Inyección de e^- de E a B, difusión en B y extracción en C.

Hay extracción de h^+ de C a B (despreciable en MAD).

I_{c0} : Inyección de h^+ de B a E
extracción de h^+ de C a B (despreciable en MAD)

Recombinación de e^- provenientes de E con h^+ de B (despreciable).

I_e : Inyección de e^- de E a B ($\sim I_c$)

Inyección de h^+ de B a E ($\sim I_{c0}$) $\Rightarrow I_e = -I_c - I_{c0}$

c) Se define la figura de mérito β_F (o h_{FE}) como el cociente entre la corriente de colector y de base tal que:

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} \quad (\text{se desea que sea grande } \approx 100)$$

Para maximizar β_F (ganancia de corriente)

- $N_{dE} \gg N_{dB}$: Alto dopaje en emisor y mucho más grande que la base para poder controlar la corriente del colector. (la gracia de usar al transistor como el elemento de control)

- $W_E \gg W_B$: Se busca que W_B sea mucho menor que W_E (anchos del emisor). Además, hoy en general se busca que los dispositivos sean pequeños.

- Resulta mejor utilizar NPN que PNP (debido a que $D_n > D_p$). Por mejores características, un β_F más elevado en NPN que en PNP.

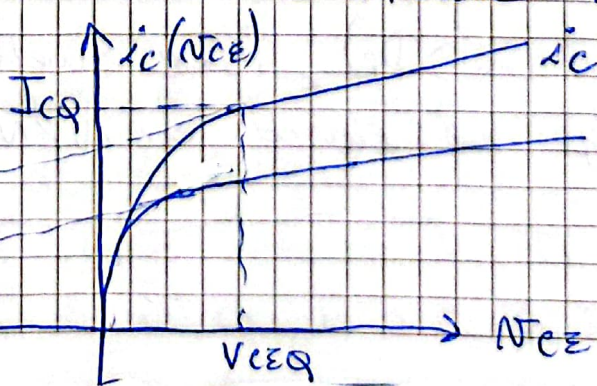
d) En el modelo planteado, en M.A.D. la corriente I_c no debería incrementarse frente a cambios de la tensión V_{CE} ya que la Juntura Base- Colector no influye en el perfil de minoritarios en la base, y por lo tanto no altera su flujo de difusión.

Para la región de saturación de la Juntura BC se ve afectada frente a cambios de la tensión V_{CE} aumentando o disminuyendo su ancho. Si bien no se altera el valor de la densidad de minoritarios en la base, sí se ve afectado el ancho efectivo de la base, que influye en el perfil de minoritarios.

Se puede simplificar la dependencia de I_{c0} con V_{CE} a primer orden tal que:

$$i_c = i_c(MAD) \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right)$$

La tensión de Early puede observarse en las curvas de salida como el punto del eje de tensiones donde se encuentran las proyecciones de los rectos que surgen de la corriente del colector en MAD.



El efecto Early se produce cuando la tensión del colector aumenta, se lo conoce también como efecto de modulación de la anchura de la base.

El colector está situado cerca de la base y la carga de la región de base modifica el ancho ~~efectivo~~ efectivo de la base. El efecto Early se debe a la reducción de la anchura efectiva de la base que ocurre a medida que aumenta la tensión del colector.

Esto puede resultar en una corriente de colector más alta de lo esperado, lo que puede afectar negativamente al redondeamiento del transistor. En general, se considera un efecto NO deseado en transistores.

El efecto es el gráfico sería que disminuiría ~~la~~ y se correría todo hacia la izquierda (res).

El efecto Early afecta al dispositivo en otros regímenes ya que siempre que la ~~juntura BC~~ V_{BC} este polarizada y cambie su tensión de polarización, existirá un cambio en el ancho de la zona de inyección de la juntura que afecta al ancho efectivo de la base.

$$20 \quad N_{DE} = 7,5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_{AB} = 1 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_{DC} = 1,5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$D_{pE} = 5 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$D_{mB} = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$W_B = 300 \mu\text{m} = 300 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 300 \cdot 10^{-7} \text{ cm} =$$

$$W_B = 3 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$W_E = 250 \mu\text{m} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

a) Se pide la corriente de saturación (implícitamente se refiere a la del colector, ya que es la que es de interés).

Entendiendo que se puede pensar como un diodo.

$$I_S = q A_E \frac{D_{mB}}{W_B} \frac{m_p^2}{N_{AB}}$$

La corriente del Base es similar a la corriente de un diodo fuertemente asimétrico en directa. La corriente debe ser la misma en todos los regiones.

$$I_S = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{10 \text{ cm}^2/\text{s}}{3 \cdot 10^{-5} \text{ cm}} \cdot \frac{10^{10} \text{ cm}^{-3}}{10^{17} \text{ cm}^{-3}} \cdot A_E$$

$$I_S = 5,34 \cdot 10^{-21} A_E \quad \text{no tengo } A_E$$

$$b) \quad \beta_F = \frac{D_{mB} N_{dE} W_E}{D_{pE} N_{aB} W_B} \quad (\text{para NPN})$$

$$\beta_F = \frac{1,805 \cdot 10^{15}}{1,5 \cdot 10^{13}} = 125$$

Es un valor esperable ya que

$$\beta_F \sim 50 \dots 300.$$

c) Si bien ambos resultan útiles, los NPN poseen una ganancia elevada en circuitos amplificadores debido a que tienen una movilidad de carga de electrones más alta que los transistores PNP.

Es decir, los transistores NPN poseen una resistencia interna más baja para la corriente de electrones y pueden proporcionar una ganancia más alta.

Además, poseen una caída de tensión de Base-Emiter más baja que los PNP, lo que resultará en que sea más fácil obtener una ganancia elevada.

3. a) En primer lugar, los portadores minoritarios son los huecos en el emisor y en el colector, mientras que en la base son electrones, por lo que es un NPN ya que en emisor y colector son mayoritarios los electrones, mientras que en la base son los huecos.

b) El transistor está en saturación ya que el colector y la base están inundados de portadores minoritarios en exceso, por lo que demora mucho sacar al dispositivo de este régimen.

ambas junturas están en directa $V_{BE} > 0$,
 $V_{BC} > 0$.

Se observa que hay inyección de huecos desde la base hacia el emisor.

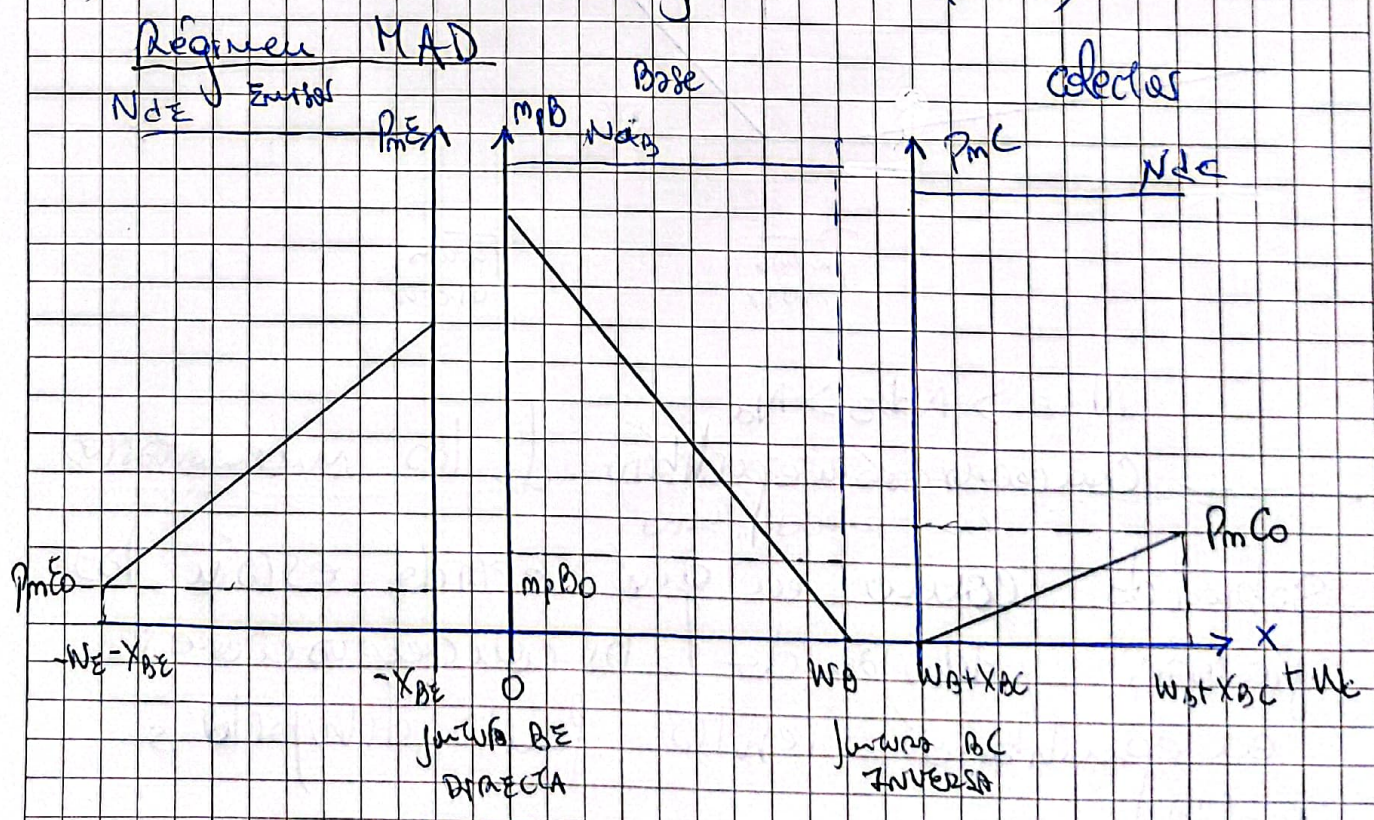
Al mismo tiempo, la base inyecta huecos en el colector. A su vez, el emisor y el colector inyectan portadores mayoritarios en la base se superponen los regímenes MAD y reversa (configuración de ambas junturas en DIRECTA), una en MAD y la otra en reversa.

El régimen de saturación es la superposición del régimen activo y el reverso.

I_C y I_E pueden tener cualquier signo, dependiendo de la magnitud relativa de V_{BE} y V_{BC} y β_F y β_R .
 En saturación, el colector y la base están inundados de portadores minoritarios en exceso, entonces demora mucho tiempo sacar al TBJ de saturación.

c) I_C y I_E pueden tener cualquier signo dependiendo de las magnitudes relativas de V_{BE} y V_{BC} y β_F y β_R .

d) Para los otros regímenes: (NPN)

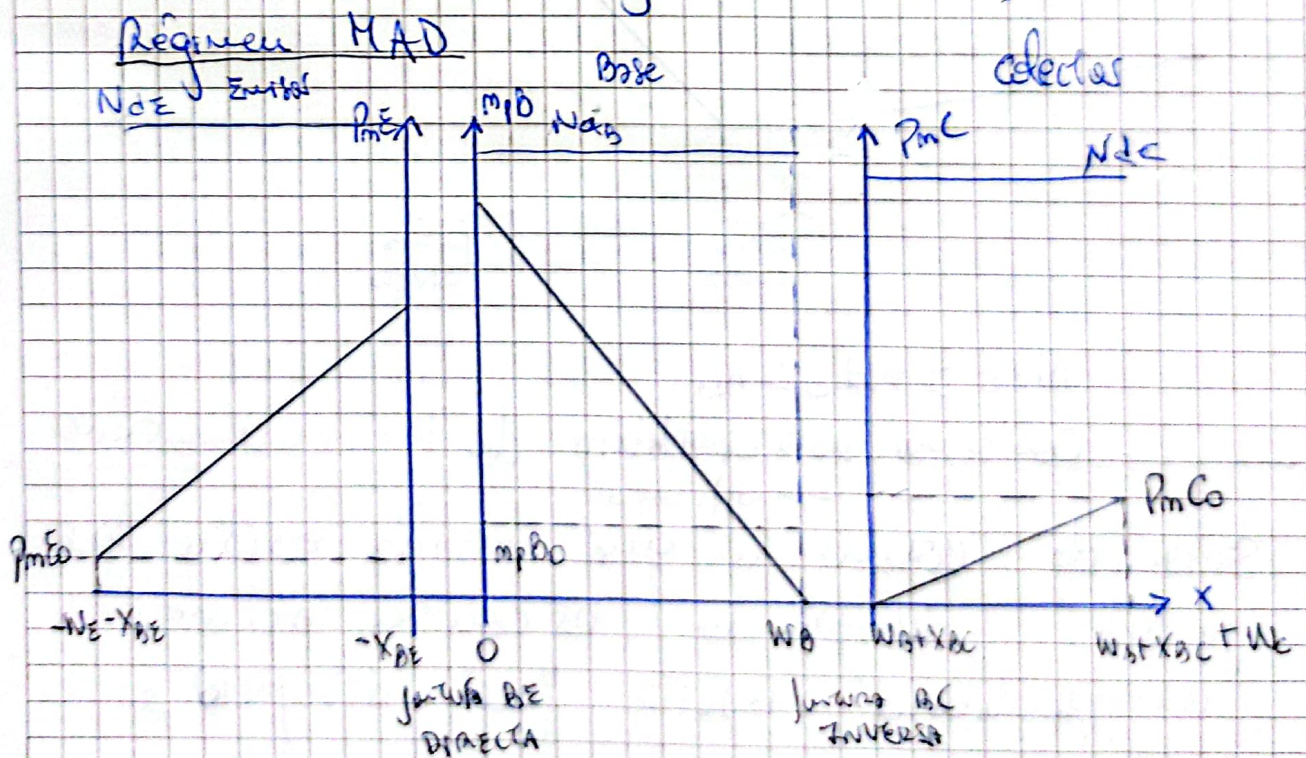


el régimen de saturación es la superposición del régimen activo y el reverso.

I_C y I_E pueden tener cualquier signo, dependiendo de la magnitud relativa de V_{BE} y V_{BC} y β_F y β_R . En saturación, el colector y la base están inundados de portadores minoritarios en exceso, entonces demora mucho tiempo sacar al TBJ de saturación.

c) I_C y I_E pueden tener cualquier signo dependiendo de las magnitudes relativas de V_{BE} y V_{BC} y β_F y β_R .

d) Para los otros regímenes: (NPN)



Régimen Corte

N_{dE}

P_{mE}

\uparrow m_{PB}

N_{dB}

\uparrow P_{mC}

N_{dC}

P_{mCo}

P_{mEa}

$-W_E - X_{dE}$

$-X_{dB}$

Juntura inversa

m_{PB}

$W_B + X_{dB}$

Juntura inversa

$W_B + X_{dB} + W_C$

Régimen de Reversa

N_{dE}

P_{mE}

\uparrow m_{PB}

N_{dB}

\uparrow P_{mC}

N_{dC}

Las hidrodinámicas están bajo pero no se equilibran.

Juntura inversa

Juntura directa

$$N_{dE} > N_{dB} > N_{dC}$$

concentraciones de los miembros en equilibrio

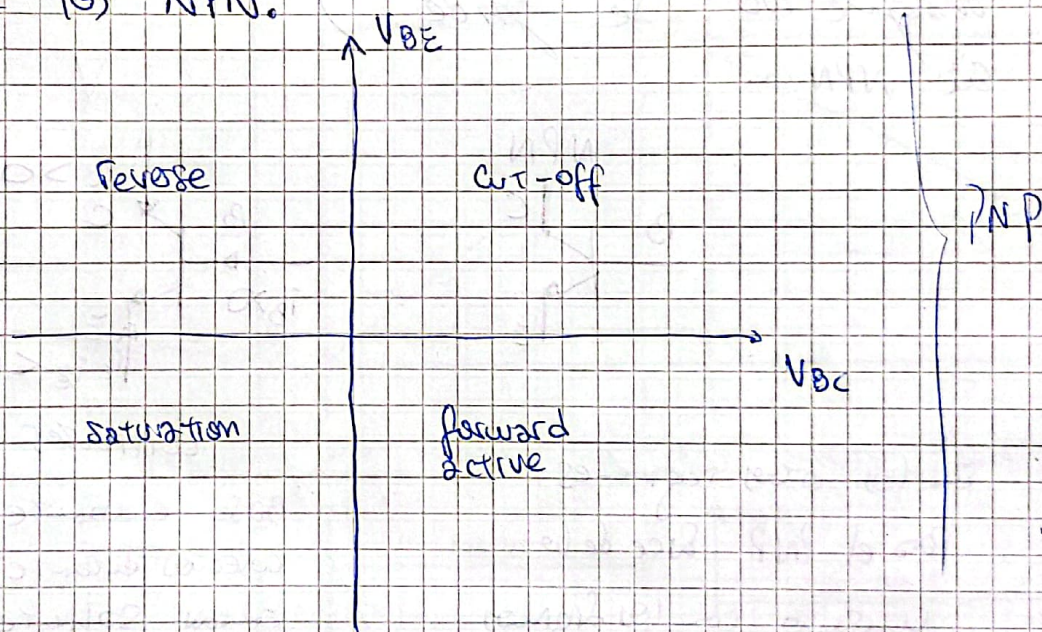
Sabiendo en qué estado están las juntas y dibujando los concentraciones en equilibrio resulta fácil dibujar los perfiles



Cuarta 6.

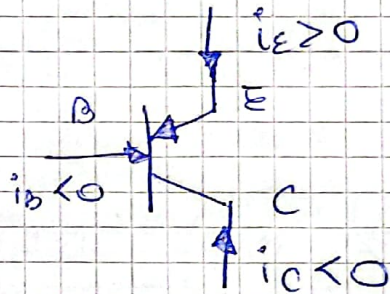
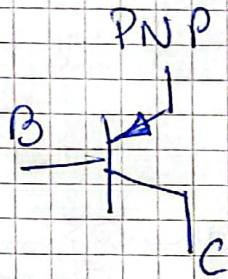
a) En este caso es un PNP debido a que el orden de los portadores minoritarios es electrones en las regiones del emisor y el colector y de huecos en la base.

b) En el PNP cambian las polaridades y los signos de las corrientes, pero salvo por eso se comportan de la misma manera que los NPN.



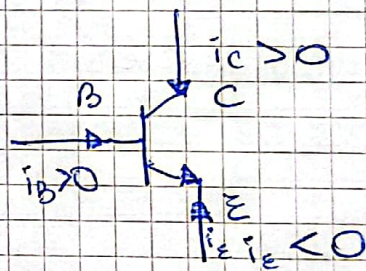
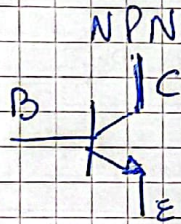
El transistor está en MAD, ya que su juntura BE está en directa y la juntura BC en inversa. La relación entre las regiones y las junturas no cambia ya que se "invierte" todo, pero funciona de forma similar al NPN.

c) En un PNP, la corriente es entrante para el emisor y saliente para la base y el colector.



corrientes

compara con el caso de NPN }
 aunque NO se pide }
 en NPN:

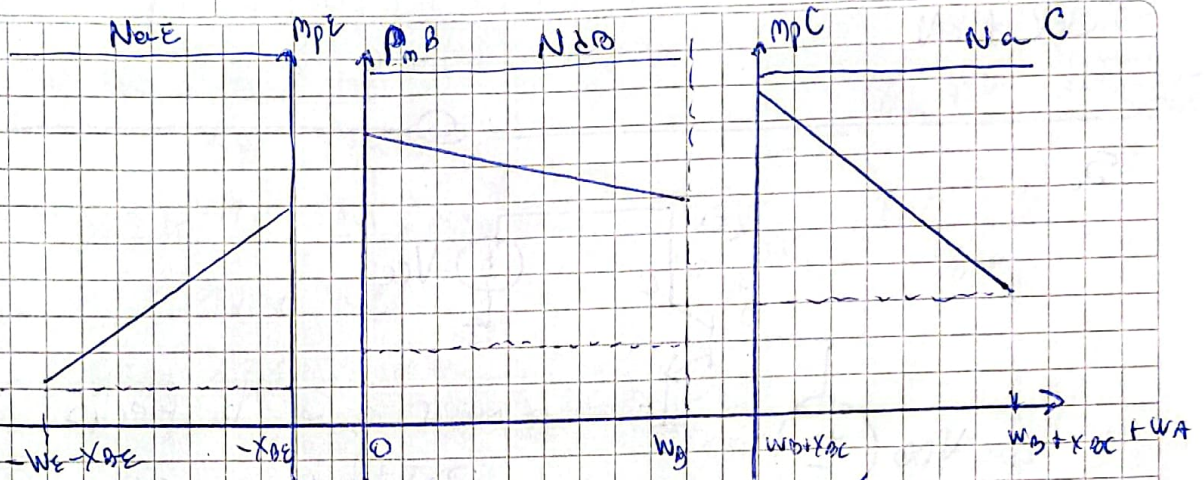


corrientes

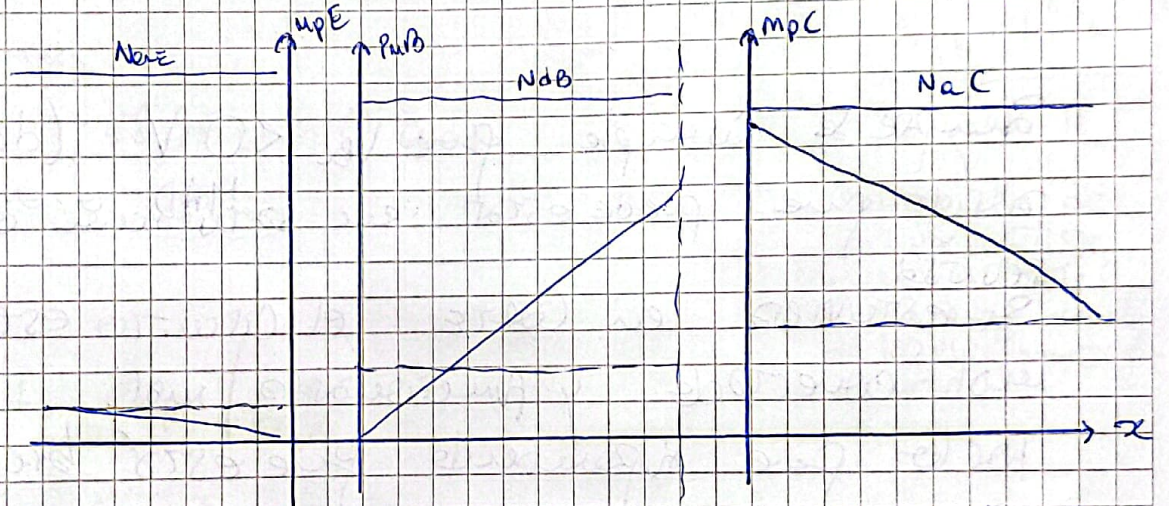
En los otros regímenes
 para el PNP vice de lo
 mismo con los signos
 de las corrientes, son
 iguales, al igual que la polarización.

Base entrante } caso
 colector entrante } corriente
 Emisor saliente } al PNP.

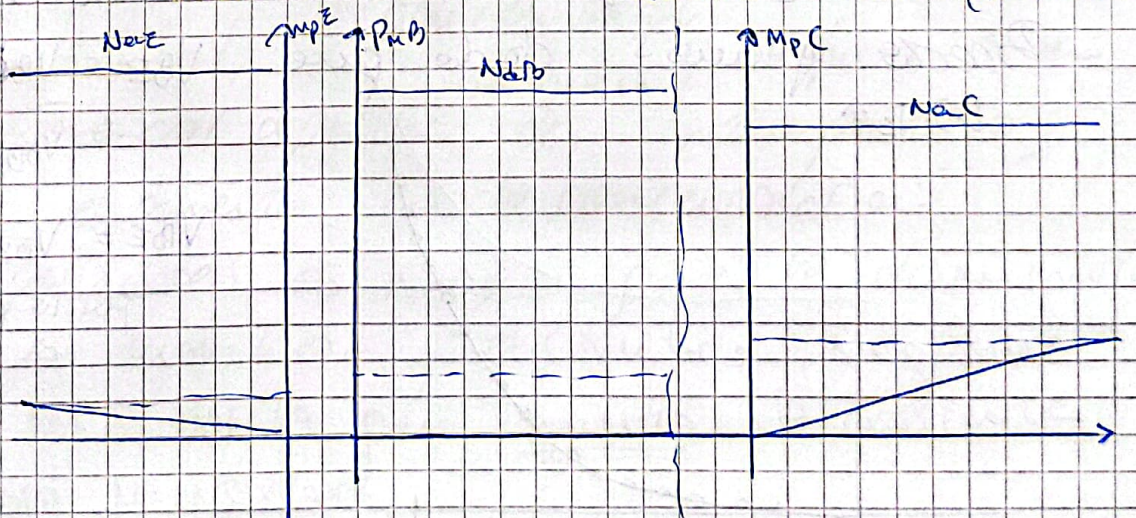
d)



Régimen en modo de saturación



Régimen en modo ACCUMULATIVO INVERSO (REVERSO)

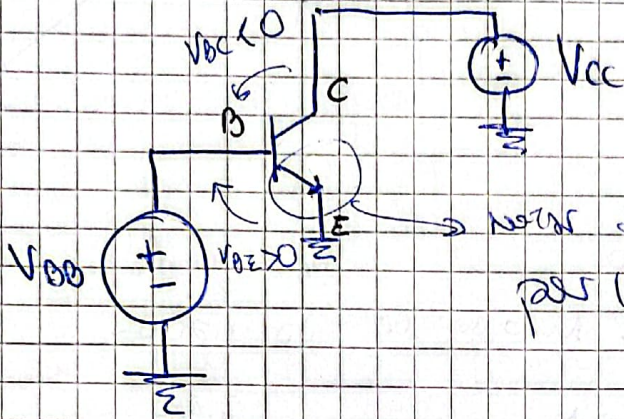


Régimen en modo carbón

--- concentración de los momentos en equilibrio
 ——— concentración de los momentos en equilibrio

Notar que físicamente son "iguales" a los del NPN.

5.



Notar que la flecha sale, por lo que es un NPN

Siempre se cumple que $V_{CE} < 0$ V (dato), por lo que puede estar en ~~MAD~~ o en ~~CORTE~~.

Si estuviera en ~~CORTE~~ el circuito estaría mal conectado y funcionaría mal.

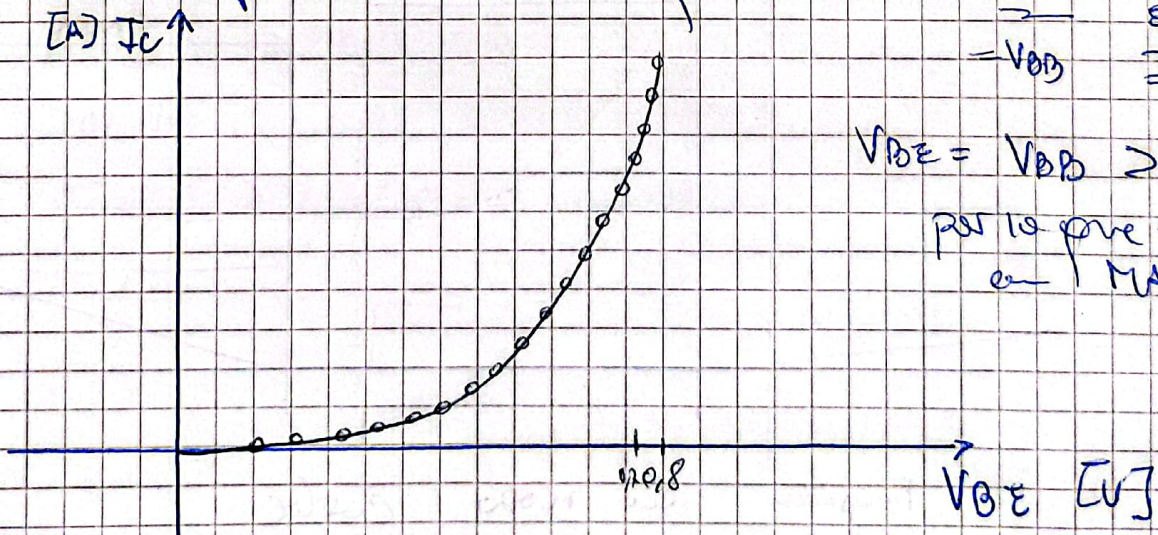
Por lo que suponiendo que está bien conectado debe estar en modo ~~ACTIVO~~

Directo. Además dado que

$$V_{BE} = V_{BB} - V_{CE} = 0 - 0 = 0$$

$$V_{BE} = V_{BB} > 0$$

por lo que está en MAD.



Forma exponencial

$$I_s = q A E \frac{D_n}{W_B} \frac{N_A^2}{N_{A,B}}$$

$$I_s = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$$

$$I_s = 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{D_n}{W_B} \cdot \frac{N_A^2}{N_{A,B}}$$

$$D_n = 1200 \text{ cm}^2/\text{s} = \frac{25,9 \text{ mV}}{1000 \text{ mV}} \cdot \sigma$$

$$D_{n,m} = 31,08 \text{ cm}^2/\text{s}$$

entonces

$$I_s = 2,4895 \cdot 10^{-15} \text{ am}$$

$$I_C = I_s \exp\left(\frac{V_{BE}}{kT/q}\right)$$

La temperatura

La movilidad, la concentración y la corriente en la exponencial dependen de la temperatura, pero el aumento en la concentración de portadores es mayor que la disminución de la movilidad y el cambio negativo en V_{BE} . Por lo que aumenta la corriente portadora minoritaria.

lo obtenemos del caso frías de mov. a función del dopaje.

$$\frac{D_n}{2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}} \cdot \frac{(10^{16} \text{ cm}^{-3})^2}{10^{16} \text{ cm}^{-3}}$$

temperatura de dopaje de 0 bñx

$$N_{A,B} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

ya que la

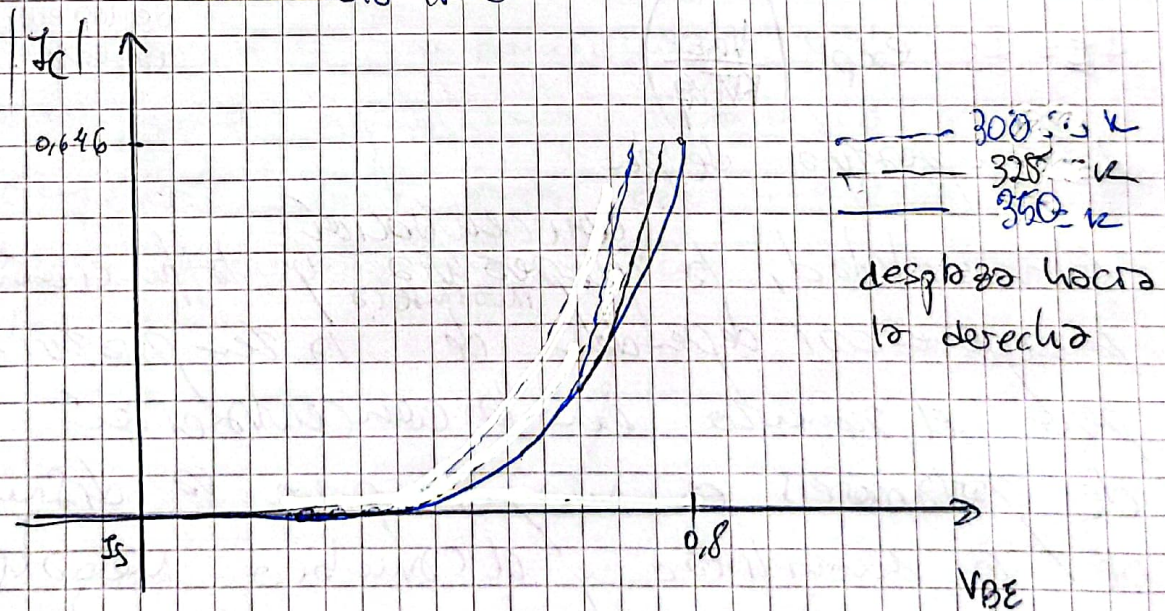
corriente de saturación se obtiene a partir de la corriente de difusión de los electrones en la base.

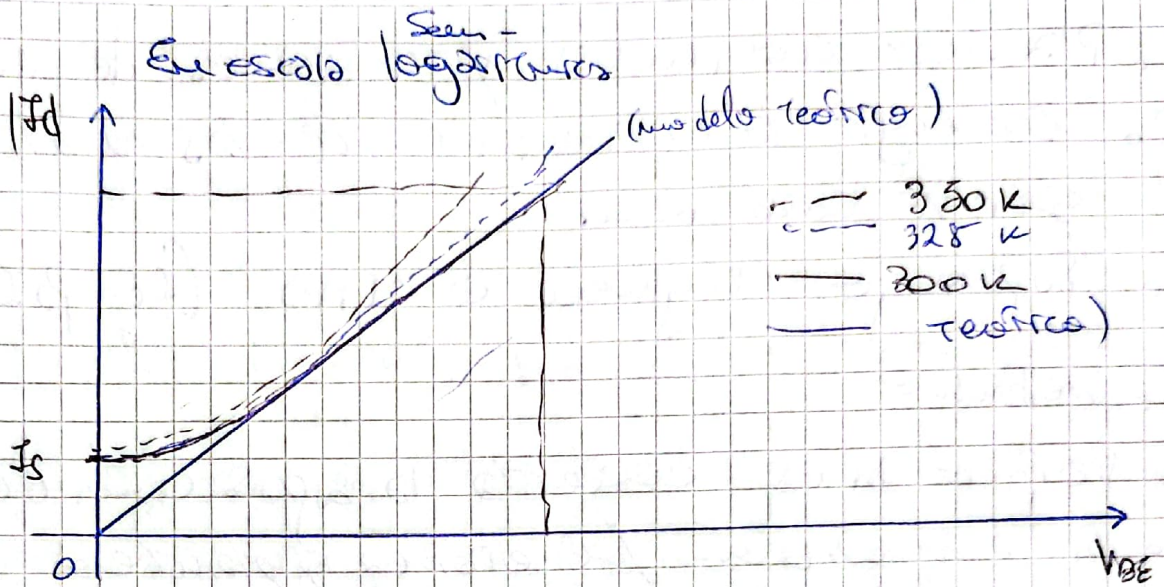
de cualquier manera, se puede observar
absolutamente en la siguiente tabla:

Temperatura	$V_{BE} = 0V$	$V_{BE} = 0,8V$
300K	$I_c = I_s$	$I_c = 0,0646A$
325K	$I_c = I_s(325K)$	$I_c = I_c(325K)$
350K	$I_c = I_s(350K)$	$I_c = I_c(325K)$

Entonces, absolutamente:

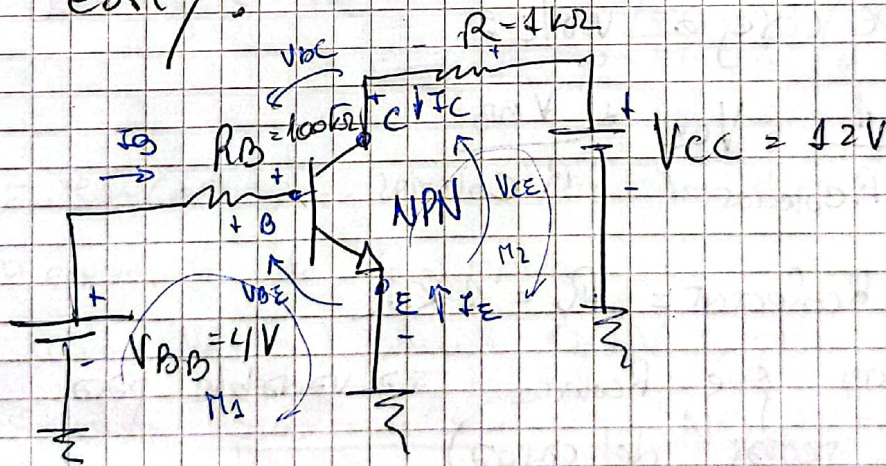
En escala lineal





• PARTE II : Polarización

$V_A \rightarrow \infty$ significa que no hay efecto early.



Es un NPN ya que la flecha va "hacia afuera".

Para resolver el circuito:

1. Plantear corrientes y tensiones de circuito
2. Obtengo la expresiones de los mallas que lo componen
3. Supongo régimen de M.A.D ($I_c = \beta I_b$)
4. Resuelvo
5. Verifico si es correcto la suposición de M.A.D.
6. Si la suposición fue errónea, planteo otro régimen y vuelvo al punto 4. hasta encontrar un resultado acorde con la suposición.

Entonces:

La recta de carga vale:

$$I_c = -\frac{1}{R_{\text{colector}}} V_{ce} + \frac{V_{BB}}{R_{\text{colector}}}$$

En este caso, $R_{\text{colector}} = R = 1 \text{ k}\Omega$

(es común hacer que R_{colector} sea variable para obtener varias rectas de carga).

Entonces, supongo M.A.D ya que debe obtener $I_{c \text{ M.A.D}}$ y el punto V_{ce} de la recta de carga en el punto de trabajo.

Plantear Malbs:

$$(M_1) \quad V_{BB} + I_B R_B - V_{BE} = 0 \Rightarrow 4V + I_B \cdot 100k\Omega - V_{BE} = 0$$

$$(M_2) \quad V_{CE} + I_C R - V_{CC} = 0 \Rightarrow V_{CE} + I_C \cdot 1k\Omega - 12V = 0$$

Además, en MAD (siempre siempre MAD cuando empieza a trabajar) se debe cumplir que:

$$V_{BE} = V_{BE}(\text{on}) = 0,7V \quad (\text{si me estos especificado})$$

$$V_{CE} > V_{CE, \text{sat}} = 0,2V \quad (\text{Tomar este valor si me estos especificado})$$

$$I_C = \beta_F I_B$$

Da de pre $V_A \rightarrow \infty$

$$I_C = I_S e^{\left(\frac{q}{kT} V_{BE}\right)} \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right)$$

Entonces, reemplazo con los datos de $V_{BE}(\text{on})$ y la ecuación de $I_C = \beta_F I_B$.

Tomar $V_{BE}(\text{on})$ como $0,7V$, pero RECORDAR que es una aproximación NO debe usarse en la ecuación de $I_C = I_S e^{\left(\frac{q V_{BE}}{kT}\right)} \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right)$.

Por lo que:

$$(M_1) \quad \frac{4V - 0,7V}{100k\Omega} = I_B = 0,033 \mu A = \boxed{33 \mu A = I_B}$$

$$(I_C) \quad I_C = 100 \cdot I_B = \boxed{3,3 \mu A = I_C}$$

$$(M_2) \quad V_{CE} + 3,3 \mu A \cdot 1k\Omega - 12V = 0 \Rightarrow \boxed{V_{CE} = 8,7V}$$

Verifico si la suposición fue correcta..

$$V_{BE} = V_{BE(0V)} = 0,7V \quad \checkmark$$

$$V_{CE} > V_{CE_{sat}} \Rightarrow 8,7V > 0,2V \quad \checkmark$$

Entonces la recta de carga es:

$$I_C = -10^{-3} V_{CE} + \frac{4V}{2000} = -10^{-3} V_{CE} + 4 \cdot 10^{-3}$$

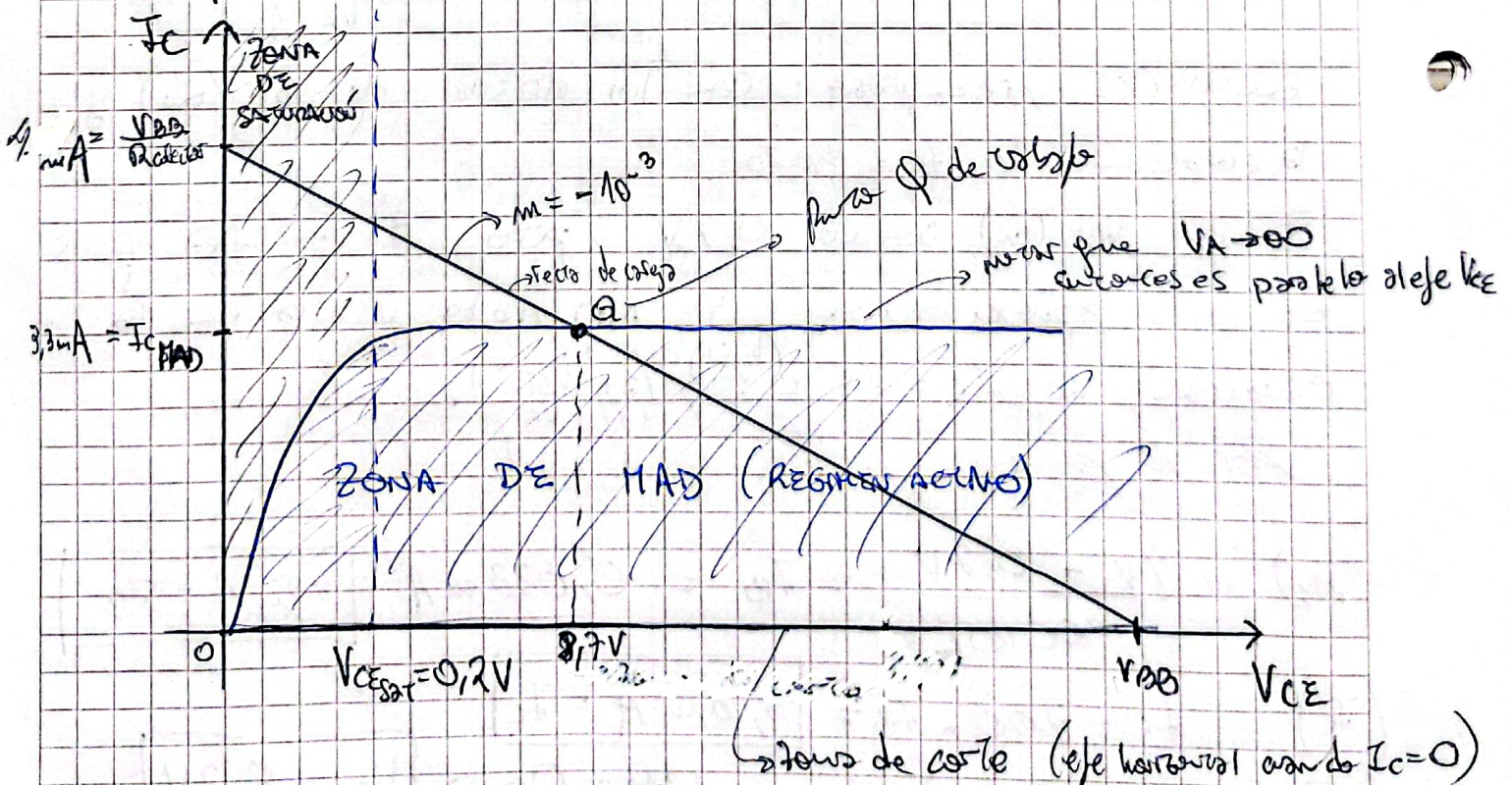
$$I_C = -10^{-3} V_{CE} + 4 \cdot 10^{-3}$$

y el punto Q de trabajo es:

$$Q = (3,3\mu A; 8,7V)$$

y efectivamente está en MAD.

Se puede visualizar en el siguiente gráfico.



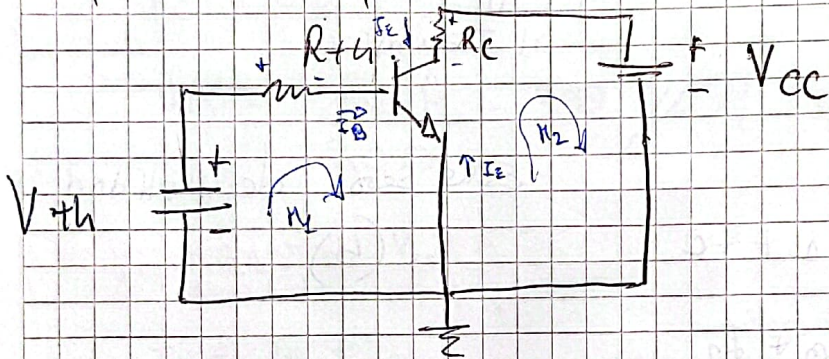
7.0. TBJ NPN de $\beta_F = 200$ y $V_A \rightarrow \infty$

$$R_C = 500 \Omega$$

$$V_{CC} = 10V$$

$$R_{B1} = R_{B2} = 200 k\Omega$$

a) Una forma rápida de resolver el ejercicio puede ser planteando Thévenin tal que:

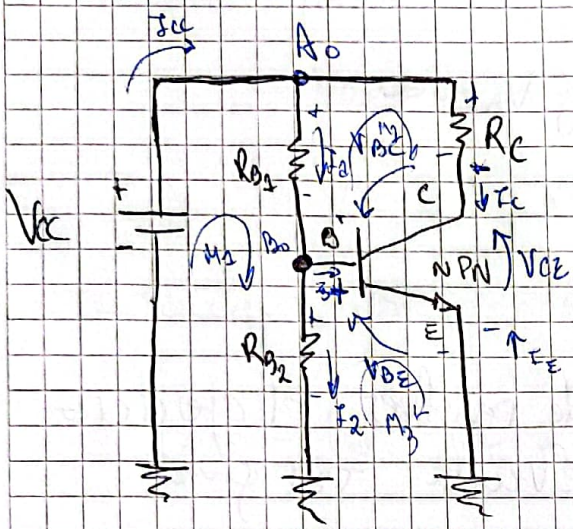


$$R_{th} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$V_{th} = V_{CC} \cdot \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

y el ejercicio se resuelve de forma sencilla al anterior.

Otra forma de plantearlo es por NODOS o MALLAS. En este caso, debido al punto (b), conviene resolverlo por nodos ya que sale más rápido. Entonces:



Supongo MAD

$$V_{CE} > V_{CE(sat)} = 0,2V$$

$$V_{BE} = V_{BE(ON)} = 0,7V$$

$$I_C = \beta_F I_B$$

Supongo corrientes estantes al transistor.

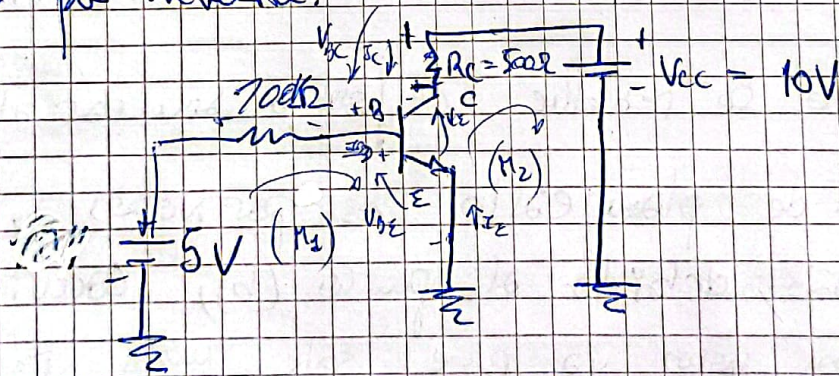
NODOS

$$(A_0) I_{CC} = I_A + I_C$$

$$(B_0) I_A = I_B + I_2$$

esto será de utilidad en (b)

Resuelve por thevenin:



$$(N_1) \quad 5V - I_B \cdot 100k\Omega - \overset{=0,7V}{V_{BE}} = 0 \quad \left. \vphantom{(N_1)} \right\} I_B = 43 \mu A$$

$$(N_2) \quad I_C \cdot 500 + V_{CE} - 10V = 0 \quad \left. \vphantom{(N_2)} \right\} V_{CE} = 5,77V > 0,2$$

$$I_C = 200 I_B \Rightarrow \boxed{8,6 \mu A = I_{C(sat)}} \quad \text{verificar MAD}$$

Entonces, el punto de trabajo Q es:

$$Q = (8,6 \mu A; 5,7 V)$$

(b) POR NODOS: $I_C = \beta_F I_B$ (se sabe que está en MAS)

$$I_C = 6 \mu A$$

$$I_B = \frac{6 \mu A}{200} = 30 \mu A$$

$$R_{B2} = 10 k\Omega$$

verifico que este en MAS
 $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 7V > V_{CE_{sat}} = 0,2V$
✓

$$I_1 = I_B + I_2$$

$$I_{CC} = I_1 + I_C$$

$$(M_1): V_{CC} - I_1 R_{B1} - I_2 R_{B2} = 0 \Rightarrow 10V - I_1 \cdot 10k\Omega - I_2 \cdot R_{B2}$$

$$(M_2): I_1 R_{B1} + I_C R_C + V_{CE} = 0 \Rightarrow I_1 \cdot 10k\Omega + 6 \mu A \cdot R_C + V_{CE} = 0$$

$$(M_3): I_2 R_{B2} - \underbrace{V_{BE}}_{=0,7V} = 0 \quad \Downarrow$$

$$(M_3) \quad I_2 R_{B2} = 0,7V \Rightarrow I_2 = \frac{0,7V}{R_{B2}}$$

reemplazo en (M1):

$$10V - I_1 \cdot 10k\Omega - \frac{0,7V}{R_{B2}} \cdot R_{B2} \Rightarrow I_1 = 930 \mu A$$

$$\Rightarrow I_1 = I_B + I_2 \text{ despejo } I_2 = 900 \mu A \Rightarrow R_{B2} = \frac{0,7}{I_2} = 777,78 \Omega$$

(c) Este caso es igual al (a) solo que ahora debe verificarse si es despreciable el efecto early

Si $V_{A1} = 10V$, verificar:

$$I_C = \beta I_B \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right) ?$$

$$I_C = 200 \cdot 43 \mu A \cdot \left(1 + \frac{5,7V}{10V}\right) = 0,0135 A \neq 0,0086 A$$

El procedimiento de cálculo es igual, solo que tengo en cuenta V_A ahora.

son muy diferentes, ← por lo que esto es despreciable. (hay que volver a calcular caso)

$$I_C = 200 \cdot 43 \mu A \left(1 + \frac{5,7V}{100V}\right) = 9,0902 mA \approx 8,6 mA$$

son de orden similar, por lo que es un error despreciable.

En este caso no se pide volver a calcular, pero si nos debiera volver a plantear el ejercicio de nuevo tendríamos en cuenta la igualdad de dependencia de V_A . También en algún caso puede resultar útil iterar.

8. TBJ PNP con $\beta = 80$ y $V_A \rightarrow \infty$

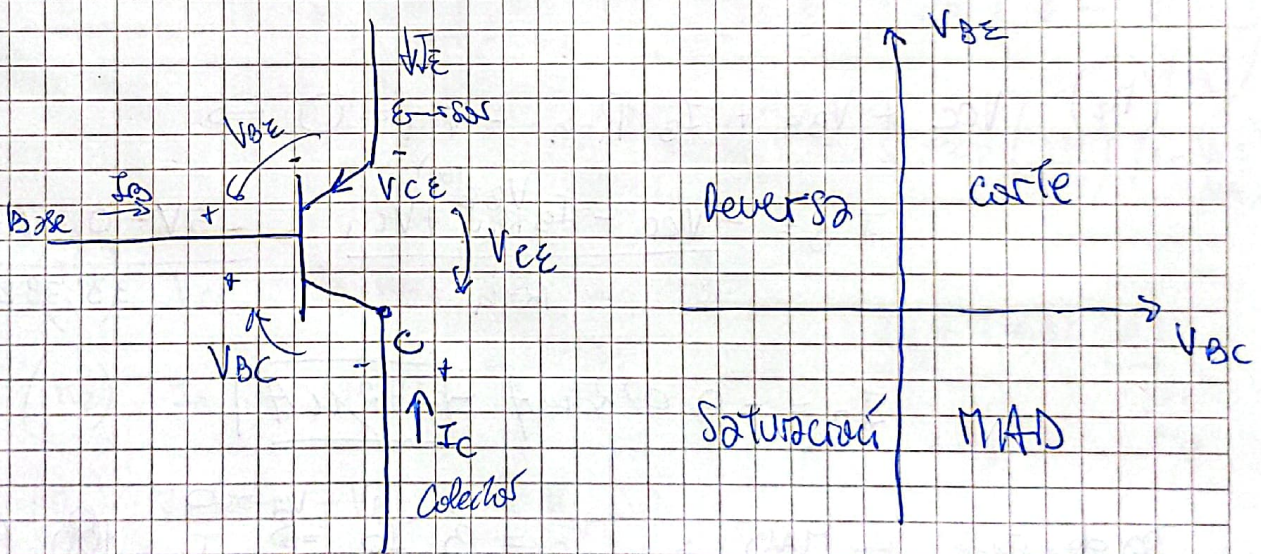
2) $R_{B1} = 50k\Omega$; $R_{B2} = 100k\Omega$; $R = 240\Omega$ y $V_{CC} = 5V$

El ejercicio es muy similar a los anteriores solo que ahora se trata de un PNP.

Su funcionamiento es muy similar al del NPN con algunas diferencias:

$$I_C = -I_S \exp\left(\frac{-V_{BE}}{V_{th}}\right)$$

$$I_E = -I_C - I_B$$



En **MAD** $V_{BC} > 0$ y $V_{BE} < 0$

vale que

$$V_{BE(on)} = -0,5V$$

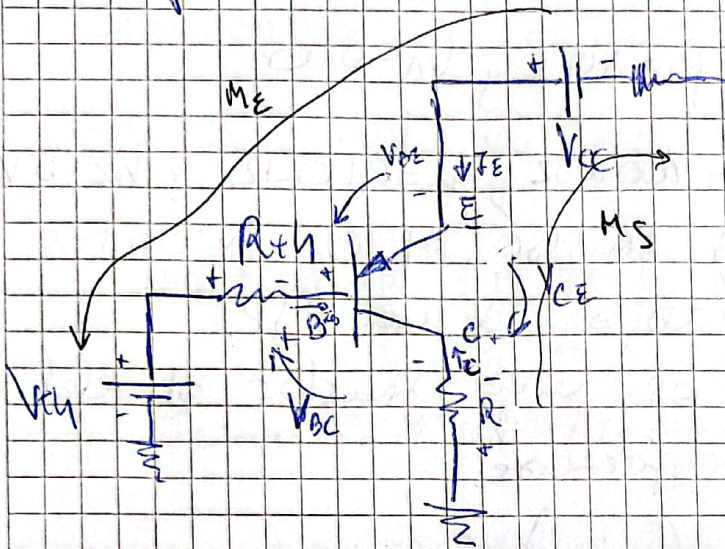
$$V_{BE(on)} = -0,2V$$

$$V_{CE} = V_{BE} - V_{CB} \Rightarrow V_{CE_{SAT}} = -0,2V$$

$$V_{BC} > V_{BC(sat)}$$

$$V_{CE} < V_{CE_{SAT}}$$

De forma similar al d, pero ahora para un PNP:



$$V_{th} = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = 5V \cdot \frac{100k\Omega}{150k\Omega}$$

$$V_{th} = 3,33V$$

$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = R_{th} = \frac{100k\Omega \cdot 50k\Omega}{150k\Omega} = 33,33k\Omega$$

Planteo Malla de entrada

$$(ME) \quad V_{cc} + V_{BE} + I_B R_{th} - V_{th} = 0 \Rightarrow$$

$$I_B = \frac{-V_{cc} - \frac{V_{BE}^{(on)}}{10} + V_{th}}{R_{th}} = \frac{-5V - 0,2V + 3,33V}{33,33k\Omega}$$

$$I_B = -0,072mA = \boxed{-72\mu A}$$

Dado que en MAS: $I_C = \beta I_B \Rightarrow I_C = 100 \cdot (-72\mu A)$

$$\boxed{I_C = I_C(MAS) = -5,76mA}$$

$$(MC) \quad -I_C R - V_{CE} - V_{cc} = 0$$

$$+5,76mA \cdot 210\Omega - V_{CE} - 5V = 0 \Rightarrow \boxed{V_{CE} = -3,7904V}$$

$V_{CE} < V_{CE_{sat}} = -0,2V$

El punto de trabajo Q es:

$$Q = (I_C, V_{CE}) \Rightarrow Q = (-5,76 \mu A; -3,79 V)$$

(b) De forma similar, pero ahora resueltos por NODOS:

$$V_{CE} = V_{BE} - V_{CB}$$

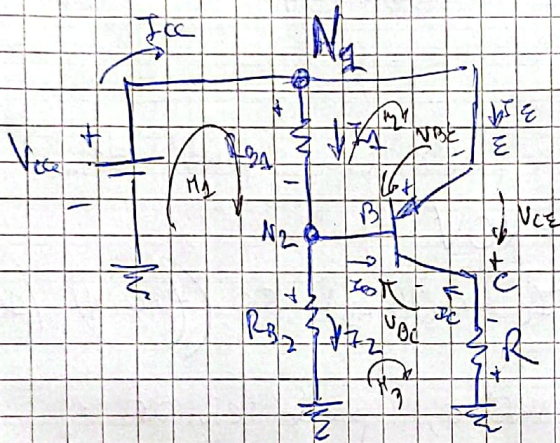
$$(N_1) I_E + I_1 = I_{CC}$$

$$(N_2) I_2 + I_3 = I_1$$

Además

$$I_C = \beta I_B \left(1 - \frac{V_{CE}}{V_A} \right)$$

$$I_C = -I_S \exp\left(\frac{-V_{BE}}{V_T}\right) \left(1 - \frac{V_{CE}}{V_A} \right)$$



$$(M_1) V_{CC} - I_1 R_{B1} - I_2 R_{B2} = 0$$

$$(M_2) I_1 R_{B1} + V_{BE} = 0$$

$$(M_3) I_2 R_{B2} - V_{BC} + I_C R = 0$$

$$I_2 + 148,81 = I_1$$

$$= V_R = 2,5V = I_C \cdot R \Rightarrow I_C = 11,9 \mu A$$

Entonces:

$$I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_B = 148,81 \mu A$$

$$\text{Malla 2} \Rightarrow I_1 = \frac{-V_{BE}}{R_{B1}} = \frac{-0,7V}{R_{B1}} \Rightarrow \text{Malla 1: } V_{CC} + \frac{V_{BE(0.7V)}}{R_{B1}} - I_2 \cdot R_{B2} = 0$$

$$I_2 = 43 \mu A \leftarrow 4,3V = I_2 \cdot R_{B2}$$

$$I_1 = 43 \mu\text{A} + 148,81 \mu\text{A} = 1,9284 \cdot 10^{-4} = \boxed{0,192 \text{ mA}}$$

Reemplazo en (M_2) :

$$0,192 \text{ mA} \cdot R_{B1} = 0,7 \text{ V}$$

$$\boxed{R_{B1} = 3649,44 \Omega}$$

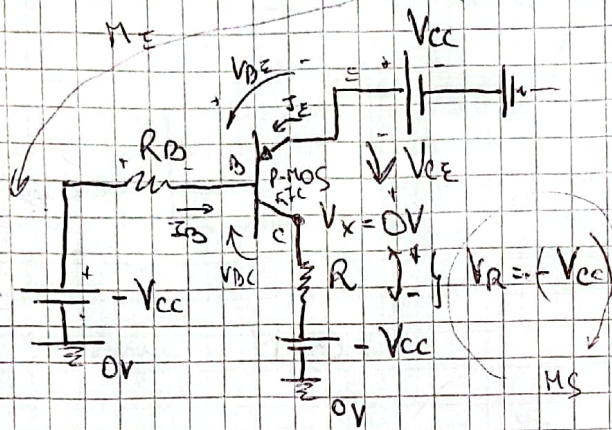
c) El procedimiento es idéntico, pero debe tener en cuenta $V_A = 20 \text{ V}$

$$I_{B2} = -72 \mu\text{A} \Rightarrow I_C = I_C(\text{MAX}) = 80 \cdot (72 \mu\text{A}) \left(1 - \frac{V_{CE}}{V_A}\right)$$

$\frac{V_A}{= 20 \text{ V}}$

Debe plantearse malhas y resolver, puede resultar útil utilizar iterar.

9. El circuito se puede rediseñar como:



Supongo MAD y planteo nodos:

$$ME: V_{CC} + V_{BE} + I_B R_B - (-V_{CC}) = 0$$

$$- \frac{10V - 0,7V}{I_B} = R_B \quad (1)$$

$$MS: -V_{CC} + I_C R_C - V_{CE} - V_{CC} \Rightarrow$$

$$-10V = V_{CE} - I_C R_C \quad (2)$$

$$\boxed{V_R = I_C R_C = -5V} \Rightarrow \boxed{R_C = 100\Omega} \quad \boxed{I_C = -0,05A}$$

Reemplazo en (1) tal que

$$\boxed{-5V = V_{CE}} < V_{CE_{SAT}} = -0,2V \quad \checkmark \quad \text{esto es MAD (PNP)}$$

Reemplazo en (2) tal que $\beta_F = \frac{I_C}{I_B} = 300 = \frac{-0,05A}{I_B}$

$$\boxed{I_B = 1,67 \cdot 10^{-4} A} \Rightarrow \boxed{R_B = 55800\Omega = 55,8K\Omega}$$

$$V_{R_B} = 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ A} \cdot 55800 \Omega = 9,3 \text{ V}$$

$$\boxed{V_{R_B} = 9,3 \text{ V}}$$

$$V_{BC} = V_{BE} - V_{CE} = -0,7 \text{ V} - (-5 \text{ V}) = 4,3 \text{ V}$$

$$\boxed{V_{BC} = 4,3 \text{ V}}$$

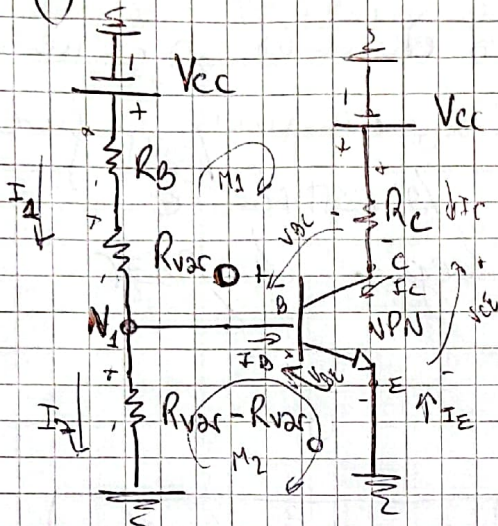
Dada la ley de conservación de la carga:

$$I_E + I_B + I_C = 0 \Rightarrow I_E + 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ A} - 0,05 \text{ A} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{I_E = 0,04983 \text{ A}}$$
 e, lo que es lo mismo,

$$\boxed{I_E = 49,83 \text{ mA}}$$

10o Plantea un circuito equivalente



$$\beta = 500$$

$$V_A = 20V$$

$$V_{CC} = 6V$$

$$R_B = 118K\Omega$$

$$R_{var} = 20K\Omega$$

$$V_{BE} = V_{BE(ON)} = 0,7V$$

$$V_{CE} \approx 0,2V$$

Hay varias restricciones:

- valor del potenciómetro

- R_C debe poseer un valor que este en MA el circuito

- $V_{BE(ON)} = V_{BE} = 0,7V$ para la corriente máxima.

Plantea Mallos y el modo N_1 :

→ los fuertes se cancelan

$$M1) (R_B + R_{var0}) I_2 + V_{BC} - I_C R_C = 0$$

$$M2) I_2 (R_{var} - R_{var0}) - V_{BE} = 0$$

$$M3) V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

$$M4) -I_A (R_B + R_{var0}) - I_2 (R_{var} - R_{var0}) + V_{CC} = 0$$

$$N1) I_A = I_2 + I_B$$

Además, DEBE estar en MAD, por lo que:

$$I_C = \beta \cdot I_B \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right) \quad (1)$$

(No pide el ejercicio)
para la corriente máxima

Notar que I_C será mayor si aumenta la corriente de Base, esto sucede si R_{base} es muy pequeña, es decir 0Ω , puesto que la corriente será menor hacia tierra luego de pasar por R_{base} .

Reemplazo en (M₂):

$$I_2 (20k\Omega) = 0,7V \Rightarrow I_2 = 3,5 \cdot 10^{-5} A$$

Reemplazo en (M₄):

$$-I_1 (118000\Omega + 0\Omega) - 3,5 \cdot 10^{-5} A (20000\Omega - 0\Omega) + 6V = 0$$

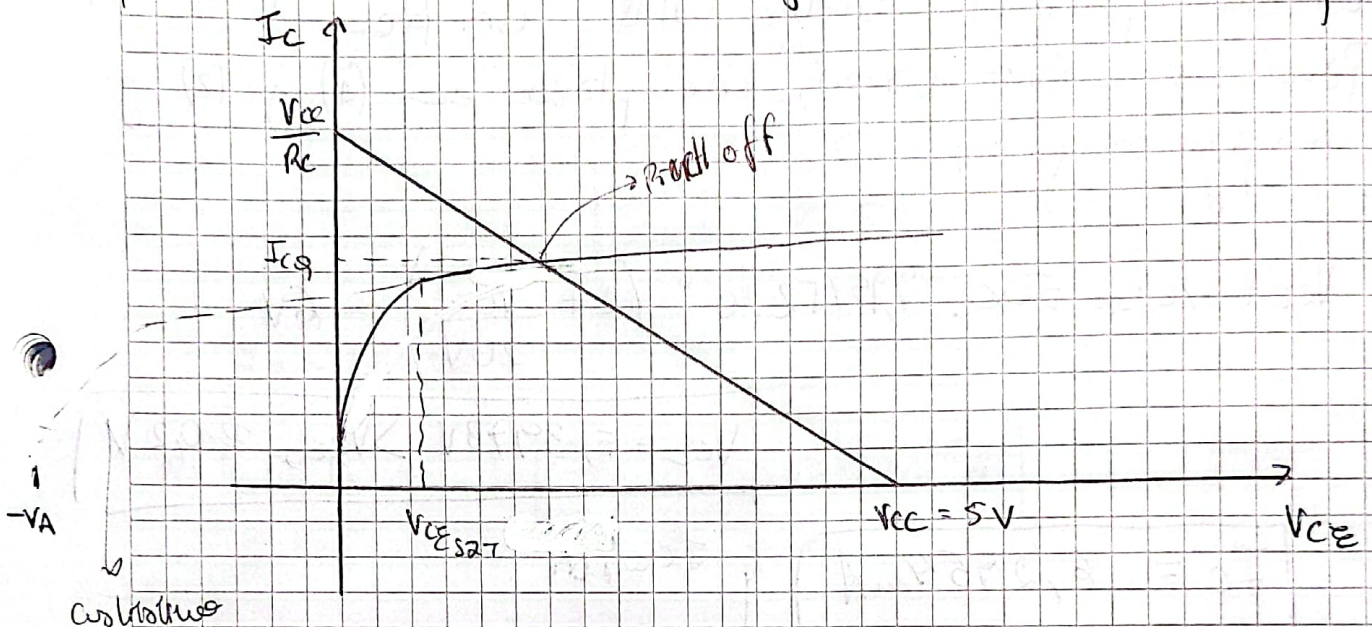
dejo tal que:

$$I_1 = 4,4945 \cdot 10^{-5} A$$

Planteo el nodo N₁ tal que:

$$I_1 = I_2 + I_0 \Rightarrow \text{dejo tal que: } I_0 = 9,9752 \mu A$$

Para obtener un valor de R_c se propone plantear la recta de carga del transistor tal que:



calculo aprox una R_c que este en MAD I_c :

$$\text{Si } V_{CE} = V_{CE_{SAT}} \approx 0,2V$$

$$I_c = I_{x,y} = -\frac{1}{R_c} V_x + \frac{V_{CC}}{R_c} \quad (2) \quad (\text{nota que se deduce de (13)})$$

Para obtener el valor máximo que puede tener R_c para que este en MAD, dado que cuanto menor sea R_c , mayor será I_c , tome $V_{CE_{SAT}} \approx 0,2V$

y reemplazo en (2):

$$I_{C_{SAT}} = 500 \cdot 9,9452 \cdot 10^{-6} A \left(1 + \frac{0,2V}{20V} \right)$$

$$I_{C_{SAT}} = 5,0072 \mu A \quad \text{y reemplazo en (2)}$$

$$5,0072 \mu A = (-0,2V + 6V) \frac{1}{R_c} \Rightarrow R_{c_{max}} \approx 1158,34 \Omega$$

tomos, por ejemplo 1100Ω como valor máximo.

Entonces, un valor posible puede ser $R_c = 100 \Omega$ (es comercial).
 Calculo para el nuevo valor de R_c
 Para este nuevo valor, reemplazo en (1) y (2) y despejo tal que:

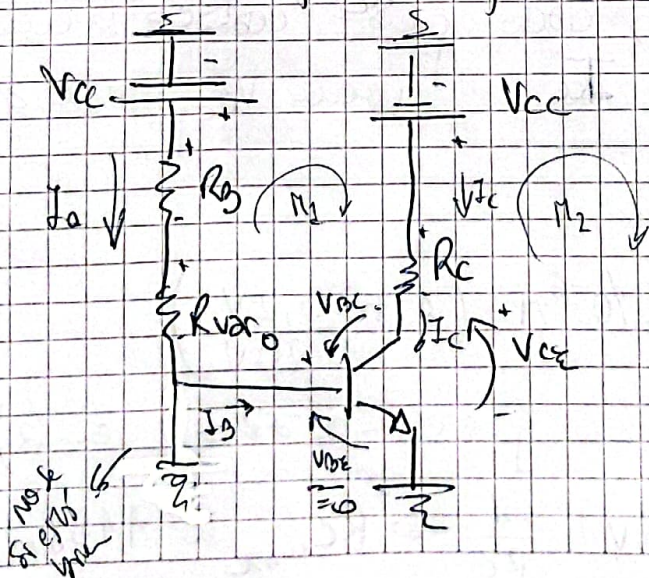
$$V_{CE} + 100 \Omega \cdot 500 \cdot 9,4945 \cdot 10^{-6} \left(1 + \frac{V_{CE}}{20V}\right) = 6V$$

$$V_{CE} = 5,3973V > V_{CEsat} \approx 0,2V$$

$$I_C = 6,2954 \mu A \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} I_{Cmin}$$

Para obtener el valor I_{Cmin} , $R_{var0} = 20k\Omega$ y $R_{var} = 0\Omega$. R_c se mantiene, pero los valores de I_C y V_{CE} cambian.

Además $V_{BE} = 0V$, la tensión en B y en E es $0V$ puesto que están conectados a tierra.



Dado que $V_{BE} = 0 \Rightarrow$

$$V_{CE} = -V_{BC} + V_{BE}$$

$$V_{CE} = -V_{BC} = 0$$

$$M1) I_B (R_B + R_{var0}) + V_{BE} - I_C R_c = 0$$

$$M2) I_C R_c - V_{CC} + V_{CE} = 0$$

$$(M_1)^+ \quad I_A (R_B + R_{base}) - V_{CE} - I_C R_C = 0$$

$$(M_2)^+ \quad I_C R_C - V_{CC} + V_{CE} = 0$$

$$I_A (118000 \Omega + 20000 \Omega) = 6 \text{ V}$$
$$I_A = 4,3478 \cdot 10^{-5} \text{ A}$$

$$R_C = 100 \Omega$$

$$(N_1) \quad I_A = I_B = I_C = 4,3478 \cdot 10^{-5} \text{ A}$$

Entonces, planteando que:

$$I_C = \beta I_B \left(1 + \frac{V_{CE}}{20 \text{ V}}\right) \quad \text{reemplazo en } (M_2) \text{ tal que:}$$

$$100 \cdot 4,3478 \cdot 10^{-5} \text{ A} \left(1 + \frac{V_{CE}}{20 \text{ V}}\right) \cdot 100 \Omega - 6 \text{ V} + V_{CE} = 0$$

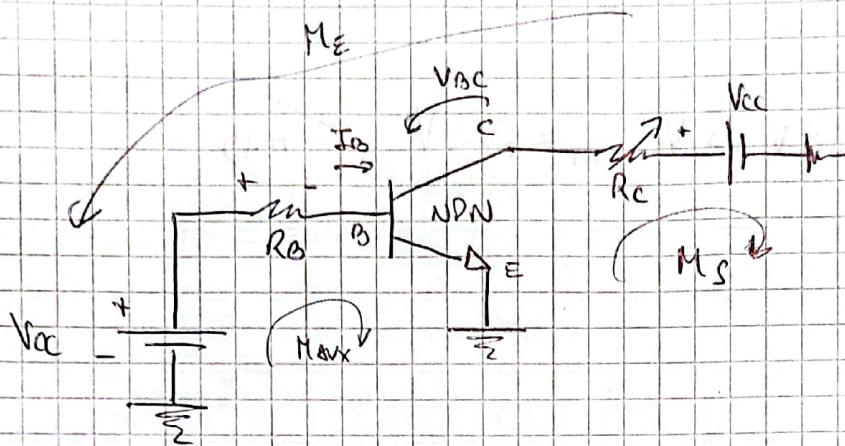
$$\Rightarrow V_{CE} = 3,45 \text{ V}$$

$$\text{por lo que } I_{C_{\text{max}}} = 25,49 \text{ mA}$$

(b) La corriente I_C se puede medir directamente sobre el resistor R_C (ampermetro) por otra lado, la tensión V_{CE} se puede medir con dos resistores variables y se coloca entre ellos un poco por el lado y el negativo en tierra ya que el modo "E" está conectado a tierra.

c) Se puede obtener el punto de punch-off,
el punto de trabajo, variando R_C se
pueden obtener los puntos de la curva de
Salida I_C vs. V_{CE} .

11. a) Dado circuito eguivalete:



$$V_{BE} = V_{BE}(\text{ov}) = 0,7 \text{ V}$$

$V_A \rightarrow \infty$ (desprecia Early)

$$R_B = 100 \text{ k}\Omega$$

R_C es variable vale 500Ω

$$V_{CC} = 5 \text{ V}$$

$$\beta_0 = 100$$

$$(M_E): V_{CC} - V_{CE} - I_C R_C + V_{CB} + I_B R_B = 0$$

$$(M_S): V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0 \quad (\text{rector desajuste})$$

$$(M_{\text{Max}}): V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

$$I_C = I_B \cdot \beta \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right) = I_B \cdot \beta$$

$$M_{\text{Max}}: 5 \text{ V} - I_B \cdot 100.000 \Omega - 0,7 \text{ V} = 0 \Rightarrow I_B = 43 \mu\text{A}$$

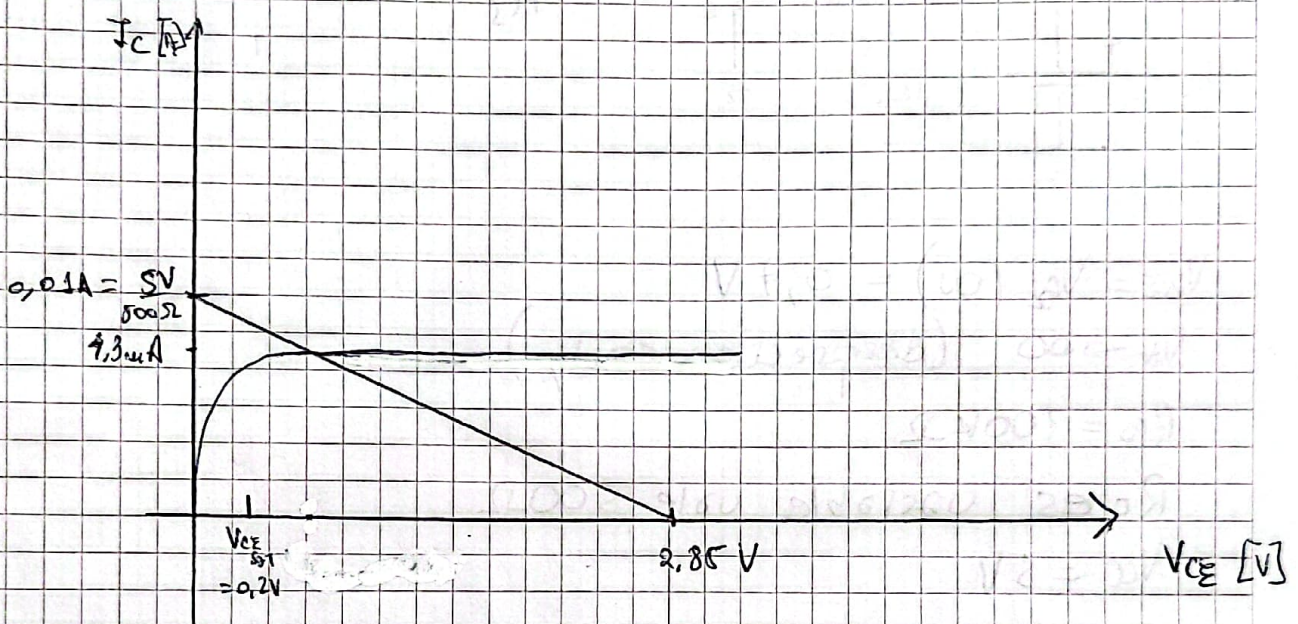
$$I_C = 100 \cdot 43 \mu\text{A} = 4,3 \text{ mA}$$

Recta de carga:

$$1,3 \mu A = I_C(\text{MAD}) = I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} = -\frac{1}{500 \Omega} V_{CE} + \frac{5V}{500 \Omega}$$

despejo tal que:

$$V_{CE} = 2,85V > V_{CE_{\text{sat}}} = 0,2V \quad \checkmark \text{ MAD.}$$



b) cambias R_C tal que, ahora es mucho mayor a la anterior, por lo que puede dejarse de estar en MAD, puede estar en saturación $V_{CE} \approx 0,2V$ tal que:

$$I_C \approx -\frac{1}{10^4} 0,2V + \frac{5V}{10^4} \approx \boxed{4,8 \cdot 10^{-4} A}$$

c) En MAS $V_{BE} = V_{BE(on)} = 0,7V$

Planteando la malla Max:

$$\frac{5V - 0,7V}{118000} = I_B = 3,6441 \cdot 10^{-5} A$$

En MAS no cambia

$$I_C = I_B \cdot 100 \cdot \left(1 + \frac{V_{CE}}{20V}\right)$$

Para el max colector aprox $V_{CE} \approx 0,2V$

$$I_{Cmax} = 3,6805 mA$$

de la recta de ajuste

$$R_C \approx 1300 \Omega$$

valor minimo

Para I_{Cmax}

$$I_C = 3,6441 \cdot 10^{-5} A \left(1 + \frac{V_{CE}}{20V}\right)$$

El valor máximo de V_{CE} estará delimitado por la fuente (nunca puede entregar más) de 5V que es el valor de la batería.

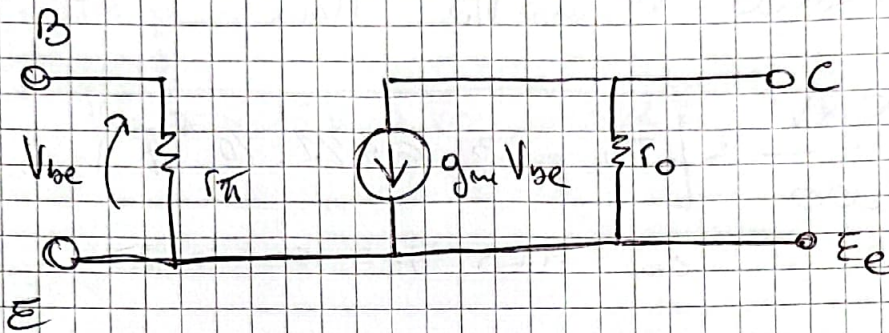
$$I_{Cmax} = 4,5551 mA$$

para obtener el R_{Cmax} :
(recta de ajuste).

Esto solo sirve si $R_C = 0$
→ notas pre sera "refuerzo"

• Parte III: Pequena Sinal

12. a) Para baixas frequências:



Transcondutancia:

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{kT/q} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \text{ A}}{25,9 \cdot 10^{-3} \text{ V}} = 3,861 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

Resistencia de entrada:

$$r_{\pi, \beta} = \frac{kT/q}{I_{CQ}} = \beta \frac{kT/q}{I_{CQ}} = \frac{\beta}{g_m} = 32375 \Omega$$

Beta

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\frac{D_n}{W_B N_A N_B}}{\frac{D_p}{W_E N_E}} = \frac{D_n W_E N_E}{D_p W_B N_A N_B}$$

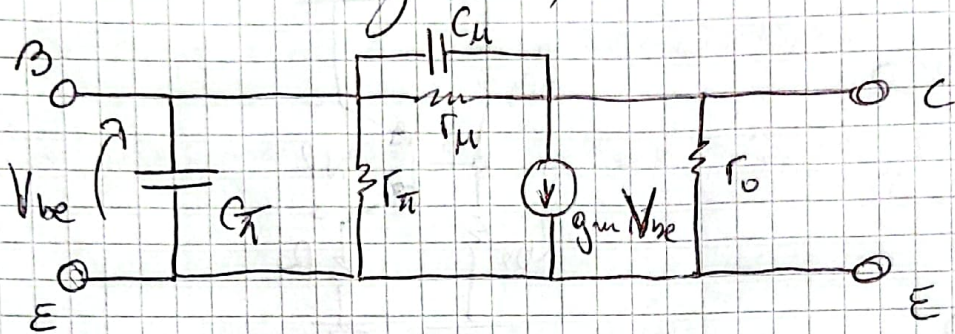
$$\beta_F = \frac{10 \text{ cm}^2/\text{s} \cdot 250 \text{ mm} \cdot 7,5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}}{5 \text{ cm}^2/\text{s} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}}$$

$$\beta_F = 125$$

Resistencia de saída:

$$r_o = \frac{V_A}{I_{C(MA)}} \approx \frac{V_A}{I_{CQ}} = \frac{35 \text{ V}}{100 \cdot 10^{-6} \text{ A}} = 350000 \Omega$$

b) Para el circuito de altas frecuencias se suman algunos parámetros:



A los parámetros obtenidos anteriormente se suman:

Resistencia de realimentación:

$$r_{\mu} > \beta_0 r_o \quad \left. \vphantom{r_{\mu} > \beta_0 r_o} \right\} r_{\mu} = \beta r_o = 43,75 \text{ M}\Omega$$

Capacidad Base-Emiter:

$$C_{\pi} = C_{dBE} = T_T g_m = 2 \text{ nS} \cdot 3,864 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\Omega}$$

$$C_{\pi} = 7,722 \cdot 10^{-11} \text{ F}$$

Capacidad Base-Collector:

$$C_{\mu} = C_{jBC} = \frac{C_{jBC0}}{\sqrt{1 + \frac{V_{CB}}{\phi_B}}}$$

$$C_{\mu} =$$

13. El circuito equivalente de transistores es el mismo que para el 12. (a)

$$R_{B1} = 100 \text{ k}\Omega$$

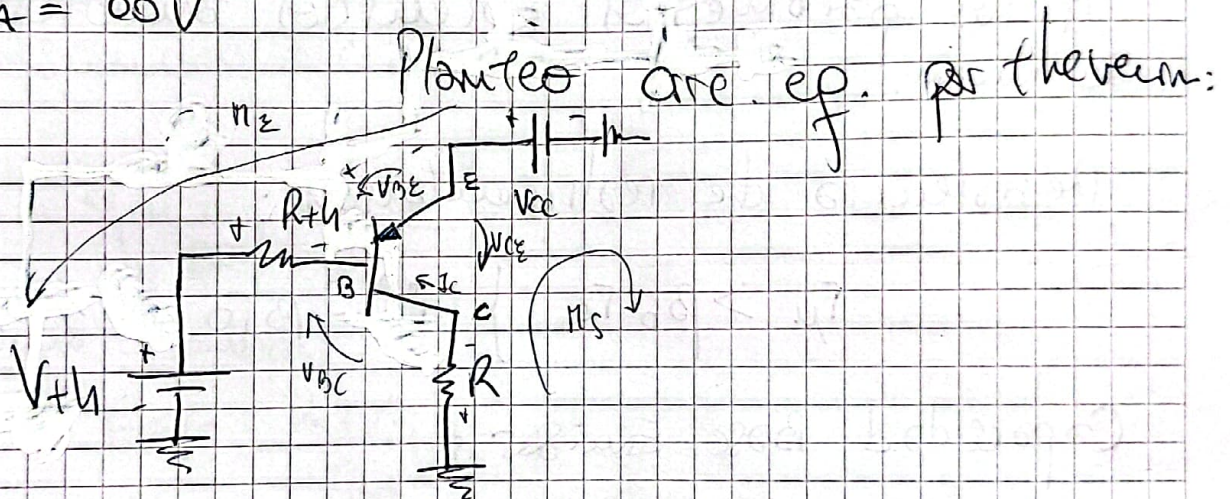
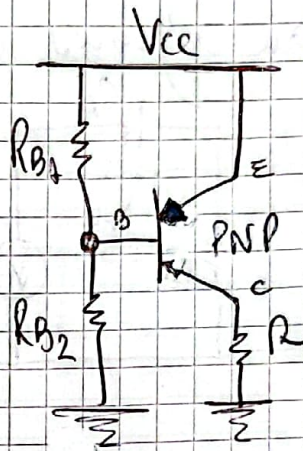
$$R_{B2} = 80 \text{ k}\Omega$$

$$R = 200 \Omega$$

$$V_{CC} = 5 \text{ V}$$

$$\beta = 200$$

$$V_A = 60 \text{ V}$$



$$R_{th} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \boxed{44,44 \text{ k}\Omega}$$

$$V_{th} = V_{CC} \cdot \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \boxed{2,22 \text{ V}}$$

$$M_E) \quad V_{CC} + V_{BE} + I_B R_{th} - V_{th} = 0$$

$$M_S) \quad -I_C R - V_{CE} - V_{CC} = 0$$

$$I_c = \beta I_B \left(1 - \frac{V_{CE}}{V_A}\right) \quad (*)$$

Suponga MAS: $V_{BE} = V_{BE(ON)} = -0,7V$

De (ME) $\Rightarrow 5V - 2,22V + 0,7V + I_B \cdot 44,44k\Omega = 0$

$$I_B = -0,0468 \text{ mA}$$

Reemplazo con (*) y (Ms)

$$-300 \cdot (-0,0468 \text{ mA}) \left(1 - \frac{V_{CE}}{60V}\right) \cdot 200\Omega - V_{CE} - 5V = 0$$

despejo...

$$V_{CE} = -2,09V < -0,2V \quad \checkmark$$

V_{CEsat}

$$I_c = 300 \cdot (-0,0468 \cdot 10^{-3}) \left(1 - \frac{V_{CE}}{60V}\right)$$

$$I_c = -0,0145A$$

$$V_{CE} = -2,09V$$

$$g_m = -\frac{I_{cQ}}{V_{CEQ}}$$

Transconductancia: $g_m = \frac{-0,0145A}{20,9mV} = 0,55984 \text{ mA/V}$

Resist. de entrada:

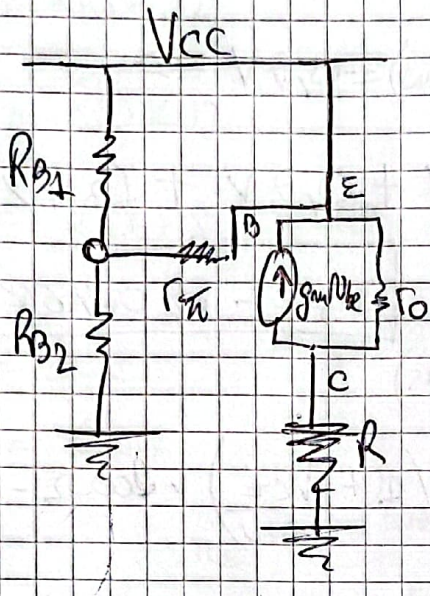
$$r_{in} = \frac{300}{g_m} = 535862 \Omega$$

Resist. de salida:

$$r_o = \frac{60V}{-0,0145A} = 4137,93 \Omega$$

$$r_o = \frac{V_A}{-I_{cQ}}$$

Se reemplaza con el circuito equivalente en el
circuito de forma que, dado que $U_{be} = 5 \text{ mV}$



$$g_m(U_{be} = 2,7992 \mu A)$$