

ESTABILIDAD DEL PUNTO DE OPERACIÓN

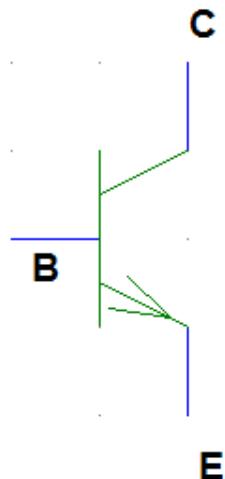
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MODOS DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR.....	3
3. SENSIBILIDAD	6
4. CIRCUITO DE POLARIZACION FIJA	8
4.1. CALCULO DE FACTORES DE SENSIBILIDAD PARA POLARIZACION FIJA	10
4.2. CALCULO DE LA VARIACION DE ICQ PARA UNA POLARIZACION FIJA.....	11
4.3. CONCLUSIONES:	11
5. CIRCUITO DE POLARIZACION POR TENSION DE EMISOR.....	13
5.1. CALCULO DE FACTORES DE SENSIBILIDAD DEL CIRCUITO DE POLARIZACION POR TENSIÓN DE EMISOR.....	15
5.2. CONCLUSIONES:	16
6. ANALICE CIRCUITO DE POLARIZACION	16
6.1. CONCLUSIONES:	17
7. VARIACIONES DE LA TENSION VBE E ICB0 RESPECTO A LA TEMPERATURA.	18
8. CIRCUITO DE POLARIZACION POR REALIMENTACION DE COLECTOR	19
9. CIRCUITO DE POLARIZACION POR EMISOR, POR DIVISOR DE TENSION, AUTOPOLARIZACION O UNIVERSAL.....	21
9.1. CONCLUSIONES.....	24
10. CORRIENTE DE COLECTOR EN FUNCION DE LA CORRIENTE DE PORTADORES MINORITARIOS PARA UNA POLARACION FIJA	25
10.1.CONCLUSIONES	28
11. CALCULO DE LA VARIACIÓN DE LA CORRIENTE DE COLECTOR PARA UNA POLARIZACION UNIVERSAL	29
11.1.CALCULO DE ICQ A VALORES NOMINALES.....	30
11.2. CALCULO DE LA VARIACION DE ICQ.	31
11.3.CONCLUSIONES:	34
12. RECALCULO DE LA VARIACION DE ICQ PARA POLARIZACION UNIVERSAL (1%):.....	35
12.1.CONCLUSIONES:	36

13. RECALCULO DE LA VARIACION DE Icq PARA POLARIZACION UNIVERSAL	
(0.1%):.....	36
13.1.CONCLUSIONES:	37
14. COMPENSACION RESPECTO A LA TEMPERATURA POR UN DIODO	38
14.1.CONCLUSIONES	39
15. COMPENSACIÓN CON RESPECTO A LA TEMPERATURA POR DOS DIODOS.	40
15.1.CONCLUSIONES	42

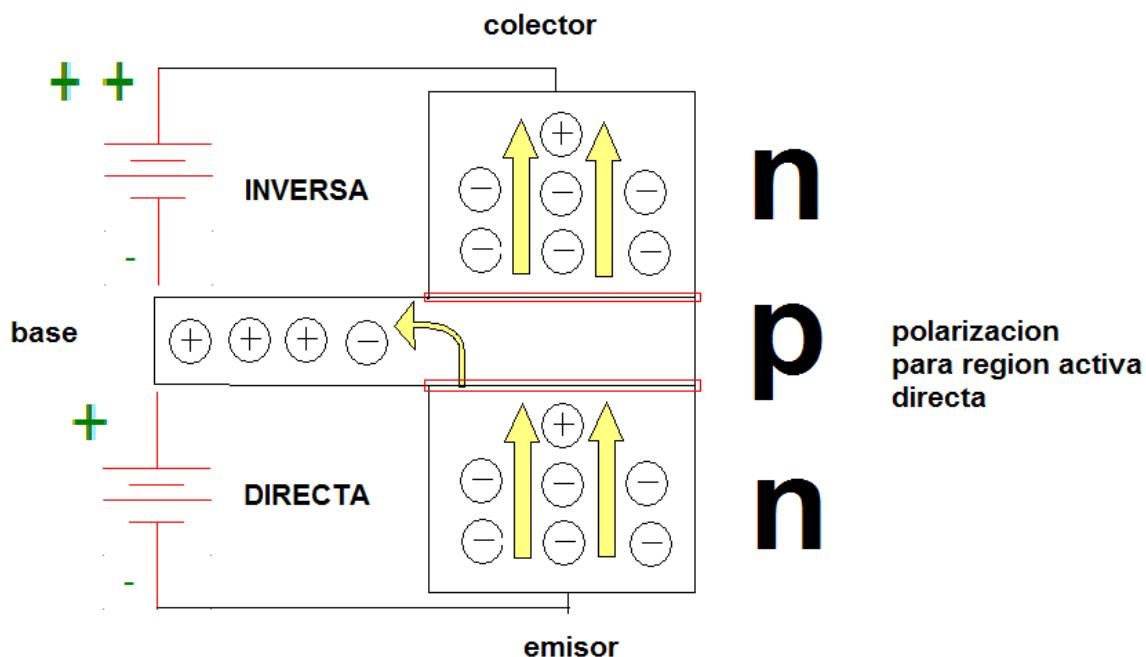
ESTABILIDAD DEL PUNTO DE OPERACIÓN

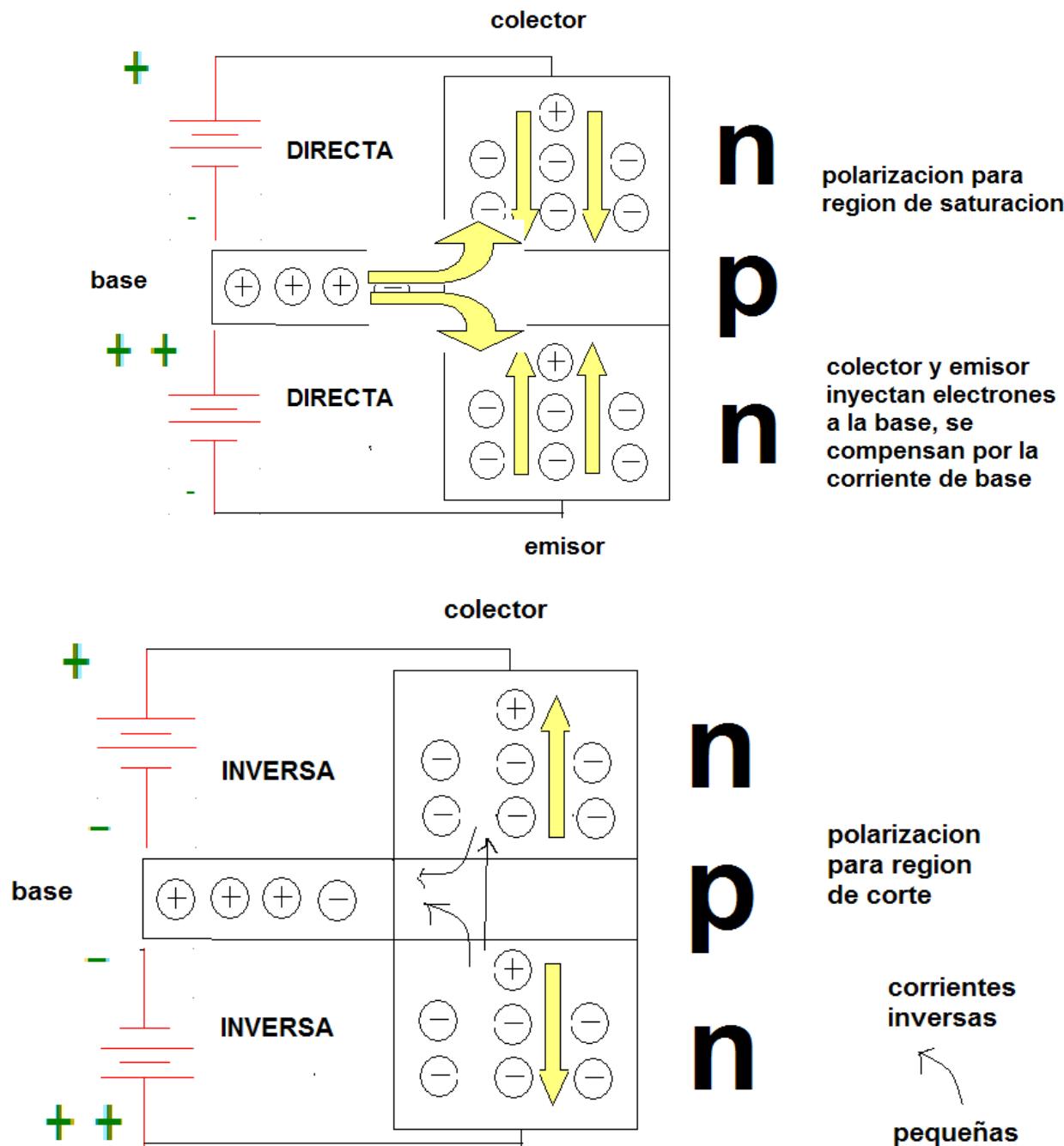
1. INTRODUCCIÓN

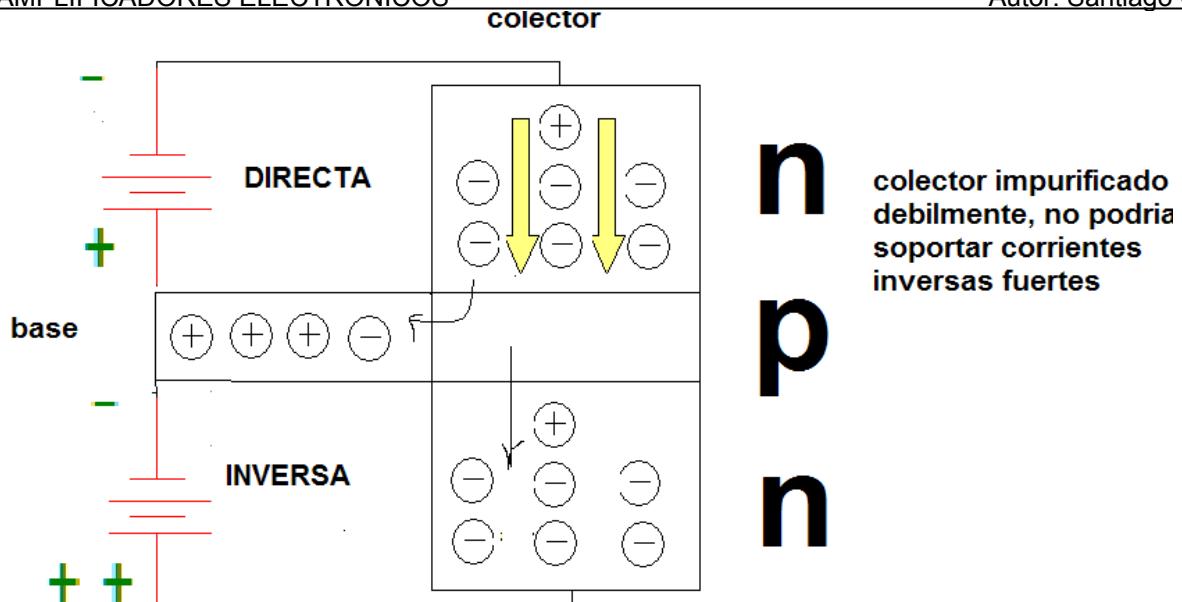
Transistor: Elemento de tres terminales (base, colector, emisor) que sirve para amplificar una señal, este dispositivo es una fuente de corriente controlada por corriente, su nombre se debe a la unión de dos palabras: transferencia y resistor, o transferencia de resistencia, y esto es debido a que la impedancia de entrada del transistor es baja, y su impedancia de salida es alta.



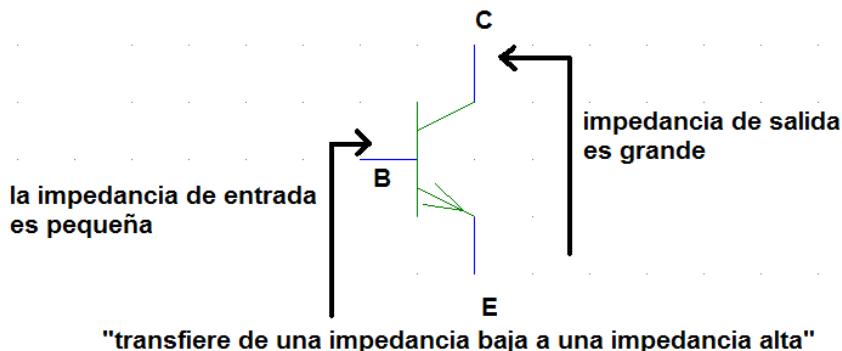
2. MODOS DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR







Cuando este dispositivo se polariza en la región activa directa el flujo de electrones "real" es del emisor al colector, es por esto que sus terminales reciben estos nombres: el emisor "emite" electrones, mientras que el "colector" los colecta:



Recuerde que la corriente convencional va de positivo a negativo, debido a que en la antigüedad no se conocía la existencia del electrón.

El símbolo del transistor nos dice mucho acerca de cómo debe polarizarse para situarse en la región activa directa, observe la flecha que existe entre las terminales B-E, esta flecha nos indica que la terminal B debe ser mas positiva que la E, es decir, la unión PN debe polarizarse en directa, ahora observe las terminales B-C, la ausencia de la flecha nos indica que la terminal B debe ser menos positiva que la C, es decir la unión PN existente debe polarizarse en inversa. Una situación homóloga pasa para los transistores PNP.

DEFINICIONES UTILES PARA LA MATERIA

Polarizacion: dar condiciones de corriente y voltaje en un circuito eléctrico.

3. SENSIBILIDAD

Medida del cambio de alguna de las características de funcionamiento de una red que se produce, por cambiar de valor uno o mas de sus elementos.

Utilidad:

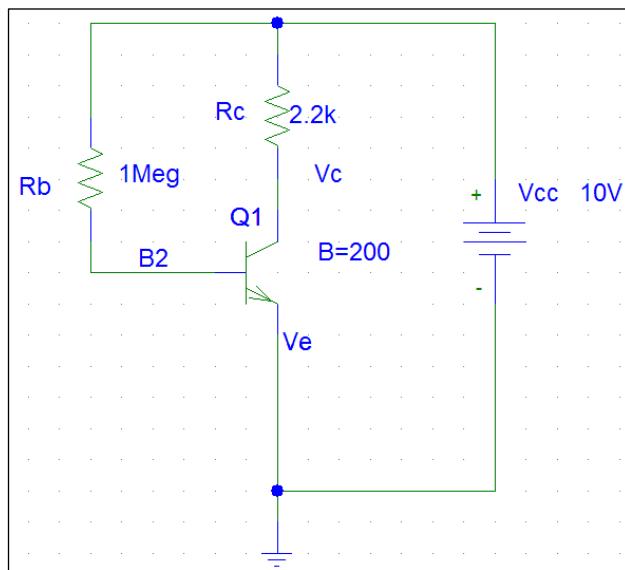
- Evalúa cambios en el funcionamiento de una red eléctrica en general.
- Solo para cambios infinitesimales (%5, 10%)

Su definición matemática es como sigue:

$$S_x^N = \frac{\frac{dN(\omega)}{dx}}{\frac{dN(\omega)}{dx}} = \frac{x}{N(\omega)} \frac{dN(\omega)}{dx}$$

Se lee: "sensibilidad de una función de red N(w) con respecto a un parámetro x"

4. CIRCUITO DE POLARIZACION FIJA



DATOS

$\beta_{tipico} = 200$
 $100 < \beta < 300$
 $V_{CC} = 10[V] \pm 0.5$
 $V_{BE} = 0.7$
 $100 < V_{BE} < 300$
 $R_B = 1[M\Omega] \pm 5\%$
 $R_C = 2.2[k\Omega] \pm 5\%$

$$V_{CC} = 1[M\Omega](I_B) + V_{BE}$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE}}{1[M\Omega]} = I_B$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{1[M\Omega]}$$

$$I_B = \frac{10 - 0.7}{1[M\Omega]}$$

$$I_B = 9.3[\mu A]$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_C = (200)(9.3[\mu A])$$

$$I_C = 1.86[mA]$$

$$V_{CC} = 2.2[k\Omega](I_C) + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - 2.2[k\Omega](I_C)$$

$$V_{CE} = 10 - 2.2[k\Omega](1.86[mA])$$

$$V_{CE} = 5.908$$

$$I_{BQ} = 9.3[\mu A]$$

$$I_{CQ} = 1.86[mA]$$

$$V_{CEQ} = 5.908[V]$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_{CQ} = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \right)$$

$$I_{CQ} = I_{CQ}(V_{CC}, V_{BE}, R_B, \beta)$$

Si la relación es lineal, y las variaciones son pequeñas:

$$\Delta I_{CQ} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial V_{CC}} \right) \Delta V_{CC} + \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial V_{BE}} \right) \Delta V_{BE} + \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial R_B} \right) \Delta R_B + \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial \beta} \right) \Delta \beta$$

4.1. CALCULO DE FACTORES DE SENSIBILIDAD PARA POLARIZACION FIJA

Es un factor que nos dice que tanto varía un parámetro del circuito.

$$I_{CQ} = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \right)$$

$$S_{V_{CC}}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\beta}{R_B} \right)$$

$$S_{V_{BE}}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial V_{BE}} \right)$$

$$S_{R_B}^{I_{CQ}} = \left(-\frac{\beta}{R_B^2} \right)$$

$$S_{\beta}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial \beta} \right)$$

$$S_{\beta}^{I_{CQ}} = \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \right)$$

$$S_{R_B}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial R_B} \right)$$

$$S_{V_{BE}}^{I_{CQ}} = \left(-\beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B^2} \right) \right)$$

$$S_{\beta}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial \beta} \right)$$

$$\Delta I_{CQ} = \left(\frac{\beta}{R_B} \right) \Delta V_{CC} + \left(-\frac{\beta}{R_B} \right) \Delta V_{BE} + \left(-\beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B^2} \right) \right) \Delta R_B + \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \right) \Delta \beta$$

4.2. CALCULO DE LA VARIACION DE ICQ PARA UNA POLARIZACION FIJA

<i>DATOS</i>
$\beta = 200$
$V_{CC} = 10[V]$
$V_{BE} = 0.7$
$R_B = 1[M\Omega]$
$R_C = 2.2[k\Omega]$

$\Delta V_{CC} = 1[V]$
$\Delta V_{BE} = 200[mV]$
$\Delta R_B = 100[k\Omega]$
$\Delta \beta = 200$

Sustituyendo:

$$\Delta I_{CQ} = \left(\frac{\beta}{R_B} \right) \Delta V_{CC} + \left(-\frac{\beta}{R_B} \right) \Delta V_{BE} + \left(-\beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B^2} \right) \right) \Delta R_B + \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \right) \Delta \beta$$

$$\Delta I_{CQ} = \left(\frac{200}{1[M\Omega]} \right) (1[V]) + \left(-\frac{200}{1[M\Omega]} \right) (200[mV]) + \left(-200 \left(\frac{10 - 0.7}{(1[M\Omega])^2} \right) \right) (100[k\Omega]) + \left(\frac{10 - 0.7}{1[M\Omega]} \right) (200)$$

$$\Delta I_{CQ} = (200 \times 10^{-6}) (1[V]) + (-200 \times 10^{-6}) (200[mV]) + (-1.86 \times 10^{-9}) (100[k\Omega]) + (9.3 \times 10^{-6}) (200)$$

$$\Delta I_{CQ} = (200[\mu V]) - 40[\mu V] - 186[\mu V] + 1.86[mV]$$

$$\boxed{\Delta I_{CQ} = 1.834[mV]}$$

4.3. CONCLUSIONES:

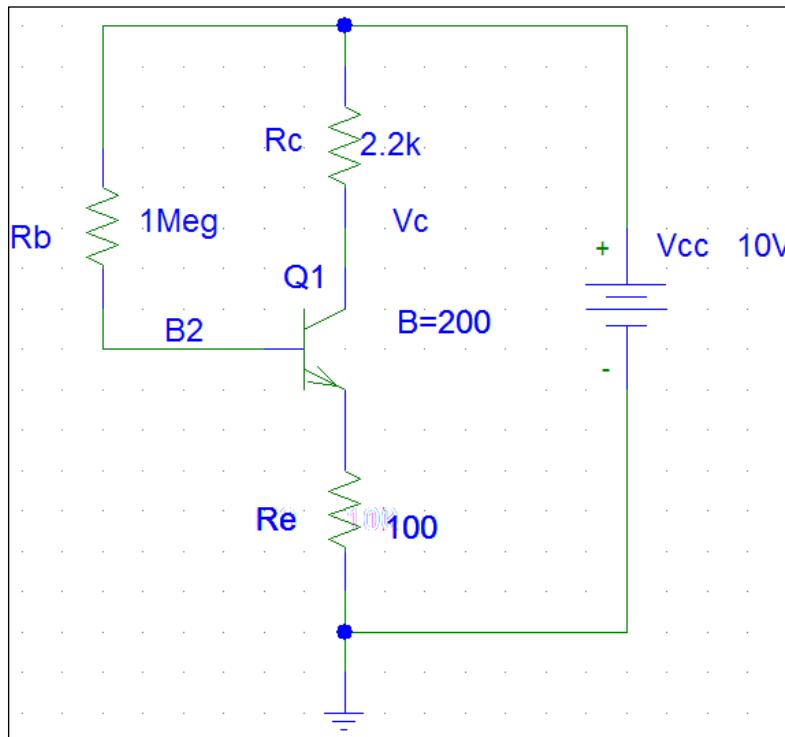
La variación de la corriente de colector es grande, por lo que el circuito es inestable con respecto a la variable betha.

$$\boxed{\Delta I_{CQ} = 1.834[mV]}$$

$$\boxed{I_{CQ} = 1.86[mA]}$$

5. CIRCUITO DE POLARIZACION POR TENSION DE EMISOR

A continuación analizaremos el siguiente circuito, y haremos su análisis de sensibilidad, y veremos como varia el punto de operación con la resistencia RE en el emisor.



DATOS
$\beta_{tipico} = 200$
$100 < \beta < 300$
$V_{CC} = 10[V] \pm 0.5\%$
$V_{BE} = 0.7$
$100 < V_{BE} < 300$
$R_B = 1[M\Omega] \pm 5\%$
$R_C = 2.2[k\Omega] \pm 5\%$
$R_E = 0.1[k\Omega] \pm 5\%$

$$V_{CC} = 1[M\Omega](I_{BQ}) + V_{BE} + R_E(I_E)$$

$$V_{CC} = 1[M\Omega](I_{BQ}) + V_{BE} + R_E(I_{BQ}(\beta + 1))$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE}}{1[M\Omega] + R_E(\beta + 1)} = I_{BQ}$$

$$I_{BQ} = \frac{10 - 0.7}{1[M\Omega] + 100(200 + 1)}$$

$$I_{BQ} = 9.1168[\mu A]$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$I_{CQ} = (200)([\mu A])$$

$$I_C = 1.8234[mA]$$

$$V_{CC} = 2.2[k\Omega](I_{CQ}) + V_{CEQ} + R_E I_{EQ}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - 2.2[k\Omega](I_{CQ}) - R_E I_{EQ}$$

$$V_{CEQ} = 10 - 2.2[k\Omega](1.8234[mA]) - (100)(1.8234[mA])$$

$$V_{CEQ} = 5.806[V]$$

$$I_{BQ} = 9.1168[\mu A]$$

$$I_{CQ} = 1.8243[mA]$$

$$V_{CEQ} = 5.806[V]$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E(\beta + 1)}$$

$$I_{CQ} = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E(\beta + 1)} \right)$$

$$I_{CQ} = I_{CQ}(V_{CC}, V_{BE}, R_B, R_E, \beta)$$

Si la relación es lineal, y las variaciones son pequeñas:

$$\Delta I_{CQ} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial V_{CC}} \right) \Delta V_{CC} + \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial V_{BE}} \right) \Delta V_{BE} + \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial R_B} \right) \Delta R_B + \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial R_E} \right) \Delta R_E + \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial \beta} \right) \Delta \beta$$

5.1. CALCULO DE FACTORES DE SENSIBILIDAD DEL CIRCUITO DE POLARIZACION POR TENSIÓN DE EMISOR

$$S_{V_{CC}}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\beta}{R_B + R_E(\beta + 1)} \right) = \frac{200}{1M + 100(201)} = 196.06 \times 10^{-6}$$

$$S_{V_{BE}}^{I_{CQ}} = \left(-\frac{\beta}{R_B + R_E(\beta + 1)} \right) = -\frac{200}{1M + 100(201)} = -196.06 \times 10^{-6}$$

$$S_{R_B}^{I_{CQ}} = \left(-\beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{[R_B + R_E(\beta + 1)]^2} \right) \right) = \left(-200 \left(\frac{10 - 0.7}{[1M + 100(201)]^2} \right) \right) = -1.7874 \times 10^{-9}$$

$$S_{R_E}^{I_{CQ}} = \left(-\beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{[R_B + R_E(\beta + 1)]^2} \right) (\beta + 1) \right) = \left(-200 \left(\frac{10 - 0.7}{[1M + 100(200+1)]^2} \right) (200 + 1) \right) = -359.27 \times 10^{-9}$$

$$S_{\beta}^{I_{CQ}} = \frac{-\beta R_E (V_{CC} - V_{BE})}{(R_B + R_E(\beta + 1))^2} + \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{(R_B + R_E(\beta + 1))} = \frac{-200(100)(10 - 0.7)}{(1M + 100(200+1))^2} + \frac{(10 - 0.7)}{(1M + 100(200+1))}$$

$$S_{\beta}^{I_{CQ}} = -178.74 \times 10^{-9} + 9.116 \times 10^{-6} = 8.93 \times 10^{-6}$$

$$\begin{aligned} \Delta I_{CQ} &= (196.06 \times 10^{-6})(1[V]) - (196.06 \times 10^{-6})(200[mV]) \\ &+ (-1.7874 \times 10^{-9})(100[k\Omega]) + (-359.27 \times 10^{-9})(10) + (8.93 \times 10^{-6})(200) \end{aligned}$$

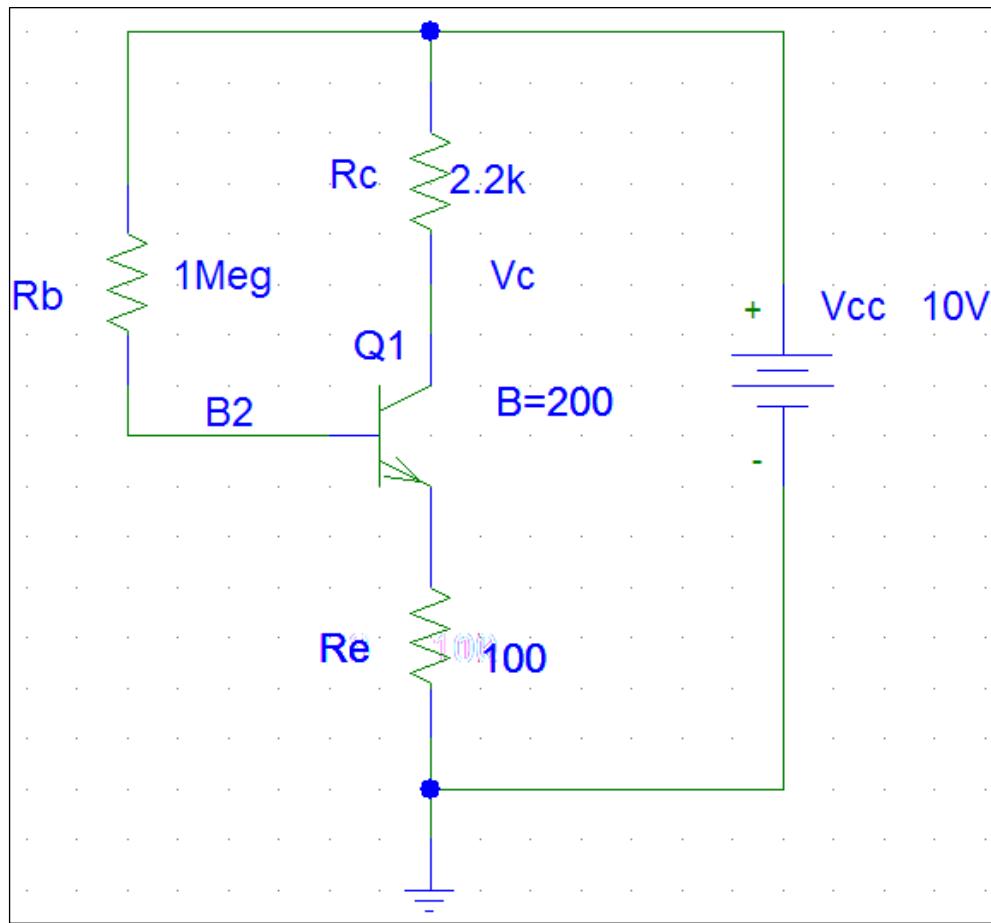
$$\Delta I_{CQ} = 196.06 \times 10^{-6} - 39.21 \times 10^{-6} - 178.74 \times 10^{-6} - 3.5927 \times 10^{-6} + 1.786 \times 10^{-6}$$

$$\boxed{\Delta I_{CQ} = -23.7[\mu A]} \quad \boxed{I_{CQ} = 1.8243[mA]}$$

5.2. CONCLUSIONES:

Vemos que el punto de operación es estable para esta configuración a diferencia del de polarización fija.

6. ANALICE CIRCUITO DE POLARIZACION



$$I_{CQ} = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)} \right)$$

Tomando la expresión anterior y considerando que

$$R_E (\beta + 1) \gg R_B$$

$$R_B = 0.1 [R_E (\beta + 1)]$$

Entonces:

$$I_{CQ} = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E (\beta + 1)} \right)$$

$$I_{CQ} = \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E} \right)$$

y entonces se hace independiente de la constante beta.

$$R_B = 0.1 [100 (200 + 1)]$$

$$R_B = 0.1 [100 (201)]$$

$$R_B = 2.010 [k\Omega]$$

$$R_E = 100 [\Omega]$$

$$R_B = 2.010 [k\Omega]$$

$$I_{CQ} = \left(\frac{10 - 0.7}{100} \right)$$

$$I_{CQ} = 93 [mA]$$

$$V_{CC} = R_C I_{CQ} + V_{CE} + R_E I_E$$

$$V_{CE} = 10 - (2.2 [k\Omega]) (93 [mA]) - (100) (93 [mA])$$

$$V_{CE} = 10 - (2.2 [k\Omega]) (93 [mA]) - (100) (93 [mA])$$

$$V_{CE} = -203.9 [V]$$

6.1. CONCLUSIONES:

Al realizar el cálculo para los valores de resistencia del circuito, estos valores hacen que el transistor se polarice en la región de saturación, por lo que hay que rediseñar el circuito, para poder polarizarlo en la región activa directa.

$$\boxed{V_{CE} = -203.9[V]} \\ \boxed{I_{CQ} = 93[mA]}$$

POLARIZADO EN REGION DE SATURACION

7. VARIACIONES DE LA TENSION VBE E ICB0 RESPECTO A LA TEMPERATURA.

$$\boxed{V_{CB02} = V_{CB01} e^{k(T_2 - T_1)}}$$

$$\frac{V_{CB02}}{V_{CB01}} = 2$$

$$2V_{CB01} = V_{CB01} e^{k(T_2 - T_1)}$$

$$2 = e^{k(T_2 - T_1)}$$

$$\ln(2) = \ln(e^{k(T_2 - T_1)})$$

$$\ln(2) = k(T_2 - T_1)$$

$$k = \frac{\ln(2)}{10}$$

$$k = 0.06931$$

$$\boxed{k \approx 0.07}$$

$$\Delta V_{BE} = -k(T_2 - T_1)$$

$$k = 2 \left[\frac{mV}{^{\circ}C} \right]$$

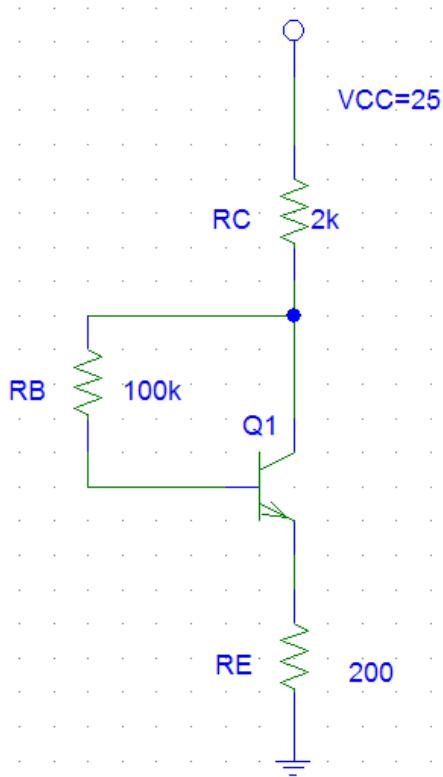
$$\boxed{\Delta V_{BE} = -2 \left[\frac{mV}{^{\circ}C} \right] (T_2 - T_1)}$$

Calcular cuanto varia Icq si la temperatura varia de 25 [°C] a 150 [°C]

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta T} = -\frac{1}{R_E} \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} + (\beta + 1) \frac{I_{CB0} (e^{k\Delta T} - 1)}{\Delta T}$$

8. CIRCUITO DE POLARIZACION POR REALIMENTACION DE COLECTOR

Analizar el siguiente circuito.



<i>DATOS :</i>
$V_{CC} = 25[V]$
$R_C = 2[k\Omega]$
$R_B = 100[k\Omega]$
$R_E = 200[\Omega]$
$\beta = 100$

$$I_1 = I_{BQ} + I_{CQ}$$

$$I_1 = I_{BQ} + \beta I_{BQ}$$

$$I_1 = I_{BQ} (\beta + 1)$$

$$V_{CC} = I_1 (2[k\Omega]) + V_{CEQ} + I_{EQ} (200) \quad \dots \quad 1$$

$$V_{CC} = (I_{BQ}(\beta + 1))(2[k\Omega]) + V_{CEQ} + I_{BQ}(\beta + 1)(200) \quad \dots \quad 2$$

$$V_{CC} = I_1 (2[k\Omega]) + I_{BQ} (100[k\Omega]) + 0.7 + 200I_{CQ}$$

$$V_{CC} = I_{BQ} (\beta + 1)(2[k\Omega]) + I_{BQ} (100[k\Omega]) + 0.7 + 200(\beta I_{BQ})$$

$$V_{CC} = I_{BQ} (\beta + 1)(2[k\Omega]) + I_{BQ} (100[k\Omega]) + 0.7 + 200((\beta + 1)I_{BQ})$$

$$V_{CC} = I_{BQ} [(\beta + 1)(2[k\Omega]) + (100[k\Omega]) + 200(\beta + 1)] + 0.7$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - 0.7}{[(\beta + 1)(2[k\Omega]) + (100[k\Omega]) + 200(\beta + 1)]}$$

$$\frac{25 - 0.7}{[(100 + 1)(2[k\Omega]) + (100[k\Omega]) + 200(100 + 1)]}$$

$$I_{BQ} = 75.42[\mu A]$$

$$I_{CQ} = 100(75.42[\mu A])$$

$$I_{CQ} = 7.542[mA]$$

$$V_{CC} = (I_{BQ}(\beta + 1))(2[k\Omega]) + V_{CEQ} + I_{BQ}(\beta + 1)(200)$$

$$25 = (75.42[\mu A](100 + 1))(2[k\Omega]) + V_{CEQ} + 75.42[\mu A](100 + 1)(200)$$

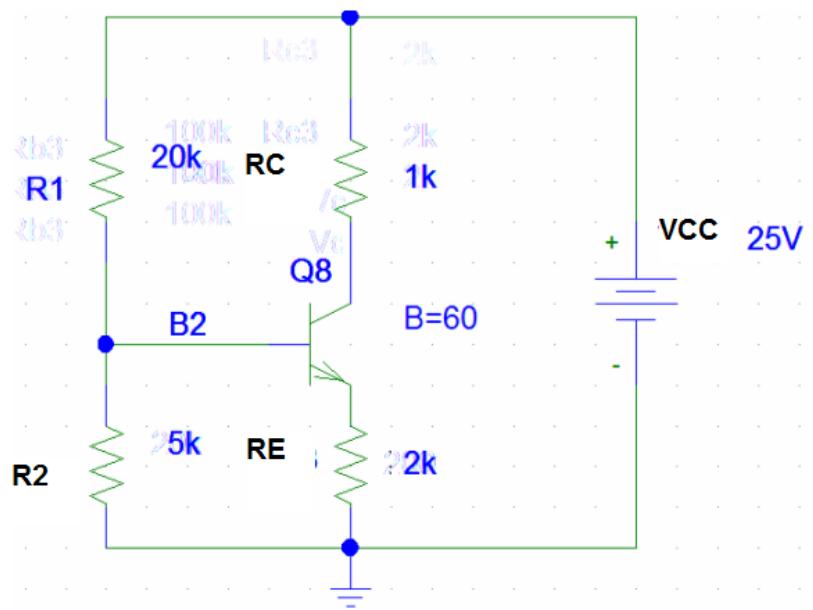
$$V_{CEQ} = 25 - [(75.42[\mu A](100 + 1))(2[k\Omega]) + 75.42[\mu A](100 + 1)(200)]$$

$$V_{CEQ} = 8.242[V]$$

de Ibq:

$$I_{CQ} = \beta \left[\frac{V_{CC} - V_{BE}}{[(\beta + 1)R_C + R_B + R_E(\beta + 1)]} \right]$$

9. CIRCUITO DE POLARIZACION POR EMISOR, POR DIVISOR DE TENSION, AUTOPOLARIZACION O UNIVERSAL.



$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0} \quad (1)$$

$$I_E = I_C + I_B \quad \text{---(2)}$$

$$I_E - I_B = I_C \quad \text{---(3)}$$

(2) en (1)

$$I_C = \alpha I_C + \alpha I_B + I_{CB0}$$

$$I_C (1-\alpha) = \alpha I_B + I_{CB0}$$

$$I_C = \frac{\alpha I_B + I_{CB0}}{(1-\alpha)}$$

$$I_C = \frac{\alpha I_B}{(1-\alpha)} + \frac{I_{CB0}}{(1-\alpha)}$$

$$\boxed{\beta = \frac{\alpha_F}{1-\alpha_F}} \quad \text{---(4)}$$

$$\boxed{I_C = \left[\frac{\alpha_F}{1-\alpha_F} \right] I_B + \left[\frac{1}{1-\alpha_F} \right] I_{CB0}} \quad \text{---(5)}$$

$$\beta (1-\alpha_F) = \alpha_F$$

$$\beta - \beta \alpha_F = \alpha_F$$

$$\beta = \alpha_F + \beta \alpha_F$$

$$\beta = \alpha_F (1 + \beta)$$

$$\boxed{\alpha_F = \frac{\beta}{(\beta + 1)}} \quad \text{---(6)}$$

6 en

$$I_C = [\beta] I_B + \left[\frac{1}{1 - \frac{\beta}{(\beta + 1)}} \right] I_{CB0}$$

$$I_C = [\beta] I_B + \left[\frac{1}{\frac{\beta + 1 - \beta}{(\beta + 1)}} \right] I_{CB0}$$

$$\boxed{I_C = [\beta] I_B + (\beta + 1) I_{CB0}} \quad \text{---(7)}$$

$$I_E - \alpha_F I_E = +I_{CB0} + I_B$$

$$I_E (1 - \alpha_F) = I_{CB0} + I_B$$

$$I_E = \frac{I_{CB0} + I_B}{(1 - \alpha_F)}$$

$$I_E = \frac{I_{CB0} + I_B}{\left(1 - \frac{\beta}{(\beta + 1)}\right)}$$

$$I_E = \frac{I_B + I_{CB0}}{\left(\frac{\beta + 1 - \beta}{(\beta + 1)}\right)}$$

$$\boxed{I_E = (\beta + 1)I_B + (\beta + 1)I_{CB0}} \quad \text{----- (8)}$$

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_2$$

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_B + R_E \beta}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

$$R_{TH} = 20k \parallel 5k = 4k$$

$$V_{TH} = \frac{5k}{20k + 5k} (25) = 5[V]$$

$$I_{BQ} = \frac{5 - 0.7}{4k + 2k(60 + 1)}$$

$$\boxed{I_{BQ} = \frac{5 - 0.7}{4k + 2k(60 + 1)} = 34.13[\mu A]}$$

$$\boxed{I_{CQ} = 2.048[mA]}$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)}$$

$$I_{CQ} = \beta \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)}$$

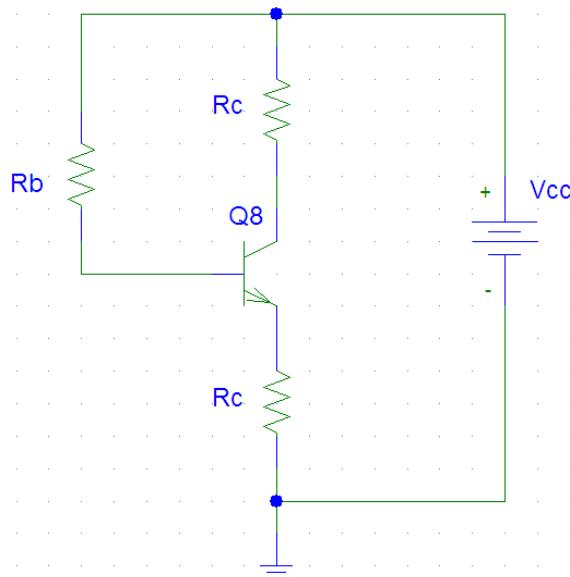
$$V_{CEQ} = 25 - 2.048[mA](1k + 2k)$$

$$V_{CEQ} = 18.86[V]$$

9.1. CONCLUSIONES

Este tipo de polarización tiene la ventaja de que la fuente en la malla de entrada es diferente a la malla de salida, es decir, controlando las resistencias R1 y R2 podemos variar la corriente en la base sin la necesidad de otra fuente de tensión, además de que maneja las 3 configuraciones comunes del transistor, (base común, emisor común, y colector común), además de que se puede compensar contra las variaciones de beta.

10. CORRIENTE DE COLECTOR EN FUNCION DE LA CORRIENTE DE PORTADORES MINORITARIOS PARA UNA POLARICIÓN FIJA



Demostrar que del circuito anterior, la expresión de I_{CQ} en función de los portadores minoritarios es:

$$I_C = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_E} + I_{CB0} \left[1 + \frac{R_B}{R_E} \right]$$

Si despreciamos la corriente de portadores minoritarios:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)} \quad I_{CQ} = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)} \right)$$

Si tomamos en cuenta la corriente de portadores minoritarios I_{CB0} :

$$I_C = [\beta] I_B + (\beta + 1) I_{CB0} \quad \text{----- A}$$

$$V_{CC} = R_B I_{BQ} + V_{BE} + R_E I_E \quad \text{----- malla de entrada}$$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E \quad \text{----- malla de salida}$$

Despejando I_B de $I_E = (\beta + 1) I_B + (\beta + 1) I_{CB0}$

$$I_B = \frac{I_E - (\beta + 1)I_{CB0}}{(\beta + 1)}$$

$$I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)} - I_{CB0} \quad \text{-----} \rightarrow \text{y sustituyendo en la malla de entrada:}$$

$$V_{CC} = R_B \left(\frac{I_E}{(\beta + 1)} - I_{CB0} \right) + V_{BE} + R_E I_E \quad \text{-----} \rightarrow \begin{cases} V_{CC} = \frac{R_B I_E}{(\beta + 1)} - R_B I_{CB0} + V_{BE} + R_E I_E \\ V_{CC} = I_E \left(\frac{R_B}{(\beta + 1)} + R_E \right) + V_{BE} - R_B I_{CB0} \end{cases}$$

$$I_C = \left[\frac{\beta}{(\beta + 1)} \right] I_E + I_{CB0}$$

Ahora de

$$\frac{I_C - I_{CB0}}{\left[\frac{\beta}{(\beta + 1)} \right]} = I_E$$

$$\frac{(\beta + 1)(I_C - I_{CB0})}{\beta} = I_E$$

$$V_{CC} = I_E \left(\frac{R_B}{(\beta + 1)} + R_E \right) + V_{BE} - R_B I_{CB0}$$

Sustituye en \rightarrow

Es decir:

$$V_{CC} = \left(\frac{(\beta + 1)(I_C - I_{CB0})}{\beta} \right) \left(\frac{R_B}{(\beta + 1)} + R_E \right) + V_{BE} - R_B I_{CB0}$$

$$V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0} = \left(\frac{(\beta + 1)(I_C - I_{CB0})}{\beta} \right) \left(\frac{R_B}{(\beta + 1)} + R_E \right)$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0}}{\left(\frac{R_B}{(\beta+1)} + R_E \right)} = \left(\frac{(\beta+1)(I_C - I_{CB0})}{\beta} \right)$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0}}{\left(\frac{R_B}{(\beta+1)} + R_E \right)} = \frac{(\beta+1)I_C}{\beta} - \frac{(\beta+1)I_{CB0}}{\beta}$$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0}}{\left(\frac{R_B}{(\beta+1)} + R_E \right)} + \frac{(\beta+1)I_{CB0}}{\beta} = \frac{(\beta+1)I_C}{\beta}$$

$$\left[\beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0}}{\left(\frac{(\beta+1)R_B}{(\beta+1)} + (\beta+1)R_E \right)} \right) + \frac{\cancel{\beta}}{\cancel{(\beta+1)}} \frac{(\cancel{\beta+1})I_{CB0}}{\cancel{\beta}} \right] = I_C$$

$$I_C = \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0}}{(R_B + (\beta+1)R_E)} \right) + I_{CB0}$$

$$\left[\frac{\beta(V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0})}{(R_B + (\beta+1)R_E)} + I_{CB0} \right] = I_C$$

$$I_C = \left[\frac{\beta(V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0})}{(R_B + (\beta+1)R_E)} + I_{CB0} \right] = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0}) + I_{CB0}(R_B + (\beta+1)R_E)}{(R_B + (\beta+1)R_E)}$$

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE} + R_B I_{CB0}) + I_{CB0}(R_B + (\beta+1)R_E)}{(R_B + (\beta+1)R_E)}$$

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE}) + I_{CB0}[R_B + (\beta+1)R_E + \beta R_B]}{(R_B + (\beta+1)R_E)}$$

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE}) + I_{CB0}[R_B + R_E\beta + R_E + \beta R_B]}{(R_B + (\beta+1)R_E)}$$

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE}) + I_{CB0}[R_E(\beta+1) + R_B(\beta+1)]}{(R_B + (\beta+1)R_E)}$$

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE}) + I_{CB0}(\beta+1)[R_E + R_B]}{(R_B + (\beta+1)R_E)}$$

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE}) + I_{CB0}(\beta+1)[R_E + R_B]}{(R_B + (\beta+1)R_E)}$$

si tomamos en cuenta que $\beta \gg 1$ y que $\text{Re}(\beta+1) \gg R_E$

$$I_C = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_E} + \frac{I_{CB0}(\cancel{\beta+1})[R_E + R_B]}{\cancel{(\beta+1)R_E}}$$

$$I_C = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_E} + \frac{I_{CB0}[R_E + R_B]}{R_E}$$

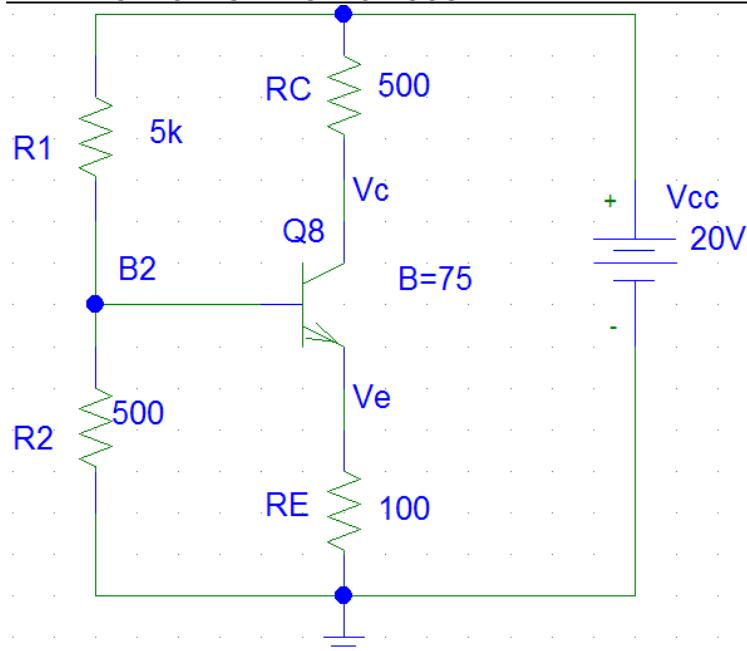
$$I_C = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_E} + I_{CB0} \left[\frac{R_E}{R_E} + \frac{R_B}{R_E} \right]$$

$$I_C = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{R_E} + I_{CB0} \left[1 + \frac{R_B}{R_E} \right] \quad \text{Lo cual queda demostrado}$$

10.1.CONCLUSIONES

Al hacer el análisis de la corriente de colector en función de los portadores minoritarios, vemos que es afectado el valor por las resistencias RE y RB.

11. CALCULO DE LA VARIACIÓN DE LA CORRIENTE DE COLECTOR PARA UNA POLARIZACION UNIVERSAL



DATOS

$$R_E = 100[\Omega] \pm 10$$

$$\beta_{tipico} = 75$$

$$49 < \beta < 99$$

$$V_{CC} = 20[V] \pm 2$$

$$I_{CB01} = 0.1[\mu A]_{25^\circ C}$$

$$V_{BE} = 0.7[V]_{25^\circ C}$$

$$T = 25^\circ C \rightarrow 125^\circ C$$

11.1.CALCULO DE ICQ A VALORES NOMINALES:

$$R_{TH} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 5k \parallel 500 = 454.5$$

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{500}{500 + 5k} (20) = 1.818[V]$$

$$I_{CQ} = 75 \left[\frac{1.818 - 0.7}{454.5 + 100(75+1)} \right] = 10.41[mA]$$

$$I_{BQ} = 138.8[\mu A]$$

$$I_{CQ} = 10.41[mA]$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_E + R_C)$$

$$V_{CEQ} = 20 - 10.41[\mu A] (100 + 500)$$

$$V_{CEQ} = 13.75[V]$$

11.2. CALCULO DE LA VARIACION DE ICQ.

Recordando la expresión de Icq en función de los portadores minoritarios para el emisor común:

$$I_C = \frac{\beta (V_{TH} - V_{BE}) + I_{CB0} (\beta + 1) [R_E + R_{TH}]}{(R_{TH} + (\beta + 1) R_E)}$$

si verificamos la condición de que $(\beta + 1)R_E \gg R_{TH}$

$$R_{TH} = 454.5$$

$$R_E = 100$$

$$(49 + 1)100 \gg 454.5$$

$$5000 \gg 454.5$$

$$R_{TH} = 0.1(49_{\min} + 1)100 = 500[\Omega]$$

Por lo que es independiente de bheta y podemos utilizar la expresión de Icq que esta en función de los portadores minoritarios e independiente de bheta:

$$I_{CQ} = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_E} + I_{CB0} \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E} \right]$$

$$S_{V_{CC}}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial V_{CC}} \right); \quad S_{V_{BE}}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial V_{BE}} \right); \quad S_{R_E}^{I_{CQ}} = \left(\frac{\partial I_{CQ}}{\partial R_E} \right)$$

Para encontrar la variación de I_{CQ} respecto a la temperatura tenemos la I_{CQ} en función de los portadores minoritarios e independiente de β :

$$I_{CQ} = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{R_E} + I_{CB0} \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E} \right]$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta T} = \frac{\left(\frac{R_2}{R_2 + R_l} \right)}{R_E} \frac{\Delta V_{CC}}{\Delta T} + \left(-\frac{1}{R_E^2} - \frac{I_{CB0} R_{TH}}{R_E^2} \right) \frac{\Delta R_E}{\Delta T} - \left(\frac{1}{R_E} \right) \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} + \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E} \right] \frac{\Delta I_{CB0}}{\Delta T}$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta T} = \frac{\left(\frac{R_2}{R_2 + R_l} \right)}{R_E} \frac{\Delta V_{CC}}{\Delta T} + \left(-\frac{1}{R_E^2} - \frac{I_{CB0} R_{TH}}{R_E^2} \right) \frac{\Delta R_E}{\Delta T} - \left(\frac{1}{R_E} \right) \frac{(-k \Delta T)}{\Delta T} + \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E} \right] \frac{I_{CB01} (e^{K \Delta T} - 1)}{\Delta T}$$

Despejando la variación de I_{CQ} tenemos:

$$\Delta I_{CQ} = \frac{\left(\frac{R_2}{R_2 + R_l} \right)}{R_E} \Delta V_{CC} + \left(-\frac{1}{R_E^2} - \frac{I_{CB0} R_{TH}}{R_E^2} \right) \Delta R_E - \left(\frac{1}{R_E} \right) (-k) + \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E} \right] I_{CB01} (e^{K \Delta T} - 1)$$

Sustituyendo valores:

DATOS
$R_E = 100[\Omega] \pm 10\%$
$R_l = 5[k\Omega]$
$R_2 = 500[\Omega]$
$\beta_{tipico} = 75$
$49 < \beta < 99$
$V_{CC} = 20[V] \pm 2V$
$I_{CB01} = 0.1[\mu A]_{25^\circ C}$
$V_{BEQ} = 0.7[V]_{25^\circ C}$
$T = 25^\circ C \rightarrow 125^\circ C$

DATOS
$\Delta R_E = 20[\Omega]$
$\Delta V_{CC} = 4[V]$
$\Delta T = 100^\circ C$

$$\Delta I_{CQ} = \left(\frac{R_2}{R_E + R_l} \right) \Delta V_{CC} + \left(-\frac{1}{R_E^2} - \frac{I_{CB01} R_{TH}}{R_E^2} \right) \Delta R_E - \left(\frac{1}{R_E} \right) (-k) + \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E} \right] I_{CB01} \left(e^{K\Delta T} - 1 \right)$$

$$\Delta I_{CQ} = \left(\frac{500}{500 + 5k} \right) (4[V]) + \left(-\frac{1}{100^2} - \frac{(0.1[\mu A])(454.5)}{100^2} \right) (20) - \left(\frac{1}{100} \right) (-2[x10^{-3}]) + \left[1 + \frac{454.5}{100} \right] (0.1[\mu A]) \left(e^{0.07(100)} - 1 \right)$$

$$\Delta I_{CQ} = (909.1x10^{-6})(4[V]) + (100x10^{-6})(20) - (10x10^{-3})(-2[x10^{-3}]) + [5.554](0.1[\mu A]) \left(e^{0.07(100)} - 1 \right)$$

$$|\Delta I_{CQ} = 3.636[mA] - 2[mA] + 20[\mu A] + 608[\mu A]|$$

$$|\Delta I_{CQ} = 2.264[mA]| \rightarrow |I_{CQ_{25^\circ C}} = 10.41[mA]|$$

11.3.CONCLUSIONES:

Aquí podemos concluir que para estos valores el circuito no es estable ya que tiene un 21.75 % de desviación, la tensión Vcc es la que mas desvía el valor de la corriente de colector, le sigue la corriente de portadores minoritarios, después el incremento en la tensión base emisor y por último la resistencia Re. Rehagamos el calculo ahora para unos valores más finos, el ejercicio anterior se exagero en la variación de los parámetros, por lo que unos valores mas reales se presentan a continuación.

12. RECALCULO DE LA VARIACION DE ICQ PARA POLARIZACION UNIVERSAL (1%):

Observar cuál es el parámetro que mas desvía a la corriente de colector

DATOS

$$R_E = 100[\Omega] \pm 1\% \text{ resistencia de precisión.}$$

$$R_1 = 5[k\Omega]$$

$$R_2 = 500[\Omega]$$

$$\beta_{tipico} = 75$$

$$49 < \beta < 99$$

$$V_{CC} = 20[V] \pm 1\% \text{ fuente de precisión.}$$

$$I_{CB01} = 1[nA]_{25^\circ C}$$

$$V_{BEQ} = 0.7[V]_{25^\circ C}$$

$$T = 25^\circ C \rightarrow 125^\circ C$$

DATOS

$$\Delta R_E = 2[\Omega]$$

$$\Delta V_{CC} = 400[V]$$

$$\Delta T = 100^\circ C$$

$$\Delta I_{CQ} = \frac{\left(\frac{R_2}{R_2 + R_1}\right)}{R_E} \Delta V_{CC} + \left(-\frac{1}{R_E^2} - \frac{I_{CB01} R_{TH}}{R_E^2}\right) \Delta R_E - \left(\frac{1}{R_E}\right)(-k) + \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E}\right] I_{CB01} \left(e^{K\Delta T} - 1\right)$$

$$\Delta I_{CQ} = \frac{\left(\frac{500}{500+5k}\right)}{100} (400[mV]) + \left(-\frac{1}{100^2} - \frac{(1[nA])(454.5)}{100^2}\right)(2) - \left(\frac{1}{100}\right)(-2[x10^{-3}])$$

$$+ \left[1 + \frac{454.5}{100}\right] (1[nA]) \left(e^{0.07(100)} - 1\right)$$

$$\Delta I_{CQ} = \frac{\left(\frac{R_2}{R_2 + R_1}\right)}{R_E} \Delta V_{CC} + \left(\frac{1}{R_E} - \frac{I_{CB01} R_{TH}}{R_E^2}\right) \Delta R_E - \left(\frac{1}{R_E}\right)(-k) + \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E}\right] I_{CB01} \left(e^{K\Delta T} - 1\right)$$

$$\Delta I_{CQ} = \frac{\left(\frac{500}{500+5k}\right)}{100} (400[mV]) + \left(-\frac{1}{100^2} - \frac{(1[nA])(454.5)}{100^2}\right)(2) - \left(\frac{1}{100}\right)(-2[x10^{-3}]) + \left[1 + \frac{454.5}{100}\right](1[nA])(e^{0.07(100)} - 1)$$

$$\boxed{\Delta I_{CQ} = 363.3[\mu A] - 200[\mu A] + 20[\mu A] + 6.075[\mu A]}$$

$$\boxed{\Delta I_{CQ} = 0.189[\mu A]} \rightarrow \boxed{I_{CQ_{25^\circ C}} = 10.41[mA]}$$

12.1.CONCLUSIONES:

Como podemos ver la variación se reduce al 1.8 % , la tensión Vcc es la que mas desvía el valor, le sigue la resistencia Re, después la tensión Vbe, y por último la corriente de portadores minoritarios.

13. RECALCULO DE LA VARIACION DE Icq PARA POLARIZACION UNIVERSAL (0.1%):

Observar cual es el parámetro que mas desvía a la corriente de colector.

DATOS
$R_E = 100[\Omega] \pm 0.1\%$
$R_1 = 5[k\Omega]$
$R_2 = 500[\Omega]$
$\beta_{tipico} = 75$
$49 < \beta < 99$
$V_{CC} = 20[V] \pm 0.1\%$
$I_{CB01} = 1[nA]_{25^\circ C}$
$V_{BE} = 0.7[V]_{25^\circ C}$
$T = 25^\circ C \rightarrow 125^\circ C$

$$\Delta I_{CQ} = \frac{\left(\frac{R_2}{R_2 + R_1}\right)}{R_E} \Delta V_{CC} + \left(-\frac{1}{R_E^2} - \frac{I_{CB01} R_{TH}}{R_E^2}\right) \Delta R_E - \left(\frac{1}{R_E}\right)(-k) + \left[1 + \frac{R_{TH}}{R_E}\right] I_{CB01} (e^{K\Delta T} - 1)$$

$$\Delta I_{CQ} = \frac{\left(\frac{500}{500+5k}\right)}{100} (40[mV]) + \left(-\frac{1}{100^2} - \frac{(1[nA])(454.5)}{100^2}\right)(200x10^{-3}) - \left(\frac{1}{100}\right)(-2[x10^{-3}]) + \left[1 + \frac{454.5}{100}\right](1[nA])(e^{0.07(100)} - 1)$$

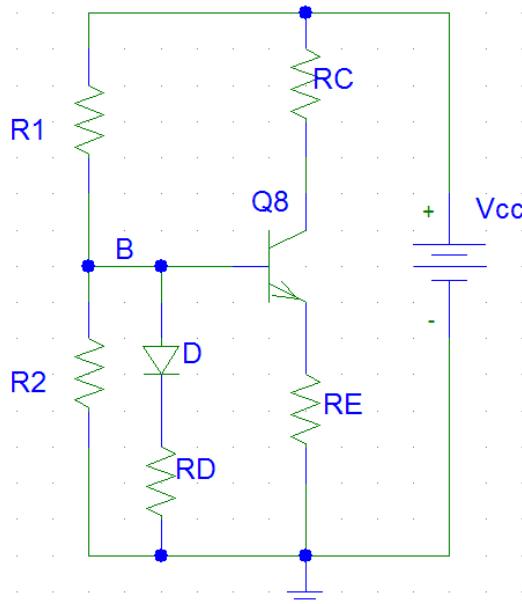
$$\Delta I_{CQ} = 36.36[\mu A] - 20[\mu A] + 20[\mu A] + 6.075[\mu A]$$

$$\Delta I_{CQ} = 42.44[\mu A] \rightarrow I_{CQ_{25^\circ C}} = 10.41[mA]$$

13.1.CONCLUSIONES:

Para estas condiciones, vemos que la tensión Vcc sigue siendo una fracción mayor a la tensión Vbe en cuanto a la contribución de la variación de la corriente colector, al último queda la variación por los portadores minoritarios. El error en por ciento es de 0.407 %

14. COMPENSACION RESPECTO A LA TEMPERATURA POR UN DIODO



$$V_{TH1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad \text{-----1}$$

$$R_{TH1} = \frac{R_2 R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{-----2}$$

$$V_{TH2} = V_D + R_D I_D \quad \text{-----3}$$

$$I_D = \frac{V_{TH1} - V_D}{R_{TH1} + R_D} \quad \text{-----4}$$

4 en 3

$$V_{TH2} = V_D + R_D \left(\frac{V_{TH1} - V_D}{R_{TH1} + R_D} \right) \quad \text{-----5}$$

$$R_{TH2} = \frac{R_{TH1} R_D}{R_{TH1} + R_D} \quad \text{-----6}$$

$$I_B = \frac{\left[\left[V_D + R_D \left(\frac{V_{TH1} - V_D}{R_{TH1} + R_D} \right) \right] - V_{BE} \right]}{R_{TH2} + (\beta + 1) R_E} \quad \text{-----7}$$

$$I_B = \frac{\left\{ \left[V_D + R_D \left(\frac{V_{TH1} - V_D}{R_{TH1} + R_D} \right) \right] - V_{BE} \right\}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E}$$

$$I_B = \frac{\left\{ \left[\frac{V_D (R_{TH1} + R_D) + R_D V_{TH1} - R_D V_D}{R_{TH1} + R_D} \right] - V_{BE} \right\}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E} =$$

$$I_B = \frac{\left\{ \left[\frac{V_D R_{TH1} + V_D R_D + R_D V_{TH1} - R_D V_D}{R_{TH1} + R_D} \right] - V_{BE} \right\}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E} =$$

$$I_B = \frac{\left\{ \left[\frac{V_D R_{TH1} + R_D V_{TH1}}{R_{TH1} + R_D} \right] - V_{BE} \right\}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E}$$

$$I_{CQ} = \beta \left\{ \frac{\frac{V_D R_{TH1} + R_D V_{TH1}}{R_{TH1} + R_D} - V_{BE}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E} \right\} \text{----- 8}$$

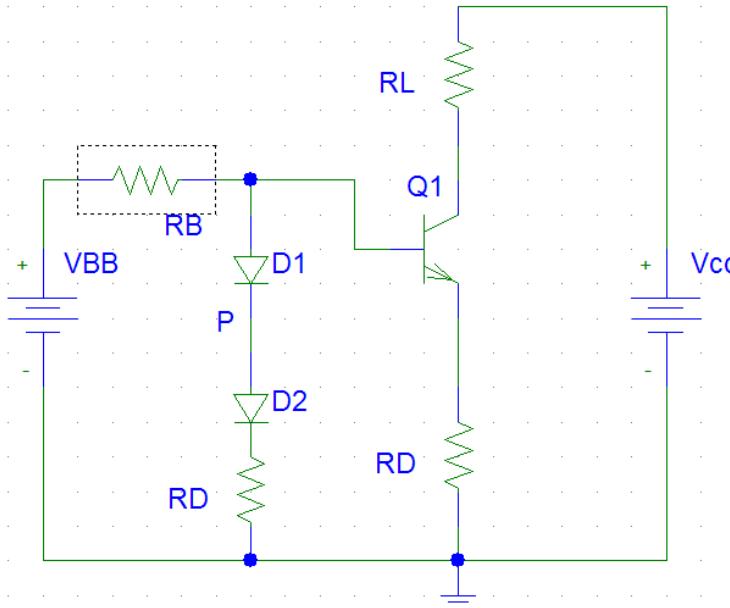
$$I_{CQ} = \left\{ \frac{\frac{\beta V_D R_{TH1} + \beta R_D V_{TH1}}{R_{TH1} + R_D} + \frac{\beta R_D V_{TH1}}{R_{TH1} + R_D} - \beta V_{BE}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E} \right\}$$

$$\frac{\Delta I_{CQ}}{\Delta T} = \left\{ \frac{\frac{\beta R_{TH1}}{R_{TH1} + R_D} \frac{\Delta V_D}{\Delta T} - \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E} \right\} \text{----- 9}$$

14.1.CONCLUSIONES

Si observamos el numerador, el factor de la variación de la tensión del diodo respecto a la temperatura se puede manipular para hacerlo igual a la variación de la tensión base emisor, por lo que el circuito puede ser estable respecto a la temperatura.

15. COMPENSACIÓN CON RESPECTO A LA TEMPERATURA POR DOS DIODOS.



Calculando un equivalente de thevenin en la base del transistor y tierra:

$$V_{TH2} = V_{D1} + V_{D2} + R_D I_D \quad \text{-----A}$$

$$I_D = \frac{V_{BB} - (V_{D1} + V_{D2})}{R_B + R_D} \quad \text{-----B}$$

Sustituyendo B en A tenemos:

$$V_{TH2} = V_{D1} + V_{D2} + R_D \left(\frac{V_{BB} - (V_{D1} + V_{D2})}{R_B + R_D} \right)$$

y la resistencia de thevenin 2 es:

$$R_{TH2} = R_B \parallel R_D$$

Entonces la corriente en la base del transistor es:

$$I_{BQ} = \frac{\left[V_{D1} + V_{D2} + R_D \left(\frac{V_{BB} - (V_{D1} + V_{D2})}{R_B + R_D} \right) \right] - V_{BE}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E}$$

Si ambos diodos son iguales:

$$V_{D_1} = V_{D_2} = V_D$$

$$I_{BQ} = \frac{\left\{ \left[2V_D + R_D \left(\frac{V_{BB} - 2V_D}{R_B + R_D} \right) \right] - V_{BE} \right\}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E}$$

Ahora suponiendo que $(\beta + 1)R_E \gg R_{TH2}$, tenemos que el circuito es independiente de β :

$$I_{CQ} = \beta \left\{ \frac{\left[2V_D + R_D \left(\frac{V_{BB} - 2V_D}{R_B + R_D} \right) \right] - V_{BE}}{R_{TH2} + (\beta + 1)R_E} \right\}$$

$$I_{CQ} = \frac{2V_D + R_D \left(\frac{V_{BB} - 2V_D}{R_B + R_D} \right) - V_{BE}}{R_E}$$

$$I_{CQ} = \frac{2V_D + \frac{R_D V_{BB} - 2R_D V_D}{R_B + R_D} - V_{BE}}{R_E}$$

$$I_{CQ} = \frac{2V_D (R_B + R_D) + R_D V_{BB} - 2R_D V_D}{R_B + R_D} - V_{BE}$$

$$I_{CQ} = \frac{2V_D R_B + 2V_D R_D + R_D V_{BB} - 2R_D V_D}{R_B + R_D} - V_{BE}$$

Como vemos dos términos se eliminan y queda:

$$I_{CQ} = \frac{2V_D R_B + R_D V_{BB}}{R_B + R_D} - V_{BE}$$

$$I_{CQ} = \frac{2V_D R_B}{R_B + R_D} + \frac{R_D V_{BB}}{R_B + R_D} - V_{BE}$$

Calculando la variación de I_{CQ} con respecto a la temperatura tenemos:

$$\frac{\Delta I_{CO}}{\Delta T} = \frac{\frac{2R_B}{R_B + R_D} \frac{\Delta V_D}{\Delta T} - \frac{V_{BE}}{\Delta T}}{R_E}$$

Igualando a cero esta expresión:

$$\frac{\frac{2R_B}{R_B + R_D} \frac{\Delta V_D}{\Delta T} - \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}}{R_E} = 0$$

$$\frac{2R_B}{R_B + R_D} \frac{\Delta V_D}{\Delta T} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}$$

$$2R_B \frac{\Delta V_D}{\Delta T} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} (R_B + R_D)$$

$$2R_B \frac{\Delta V_D}{\Delta T} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} (R_B + R_D)$$

15.1.CONCLUSIONES

Puesto que la variación de la tensión del diodo así como la variación de la tensión de la base-

emisor son iguales se simplifican $\frac{\Delta V_D}{\Delta T} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}$ y queda:

$$2R_B = (R_B + R_D)$$

$$2R_B - R_B = R_D$$

Para que el circuito sea estable respecto a la temperatura las resistencias RB y RD deben ser iguales.

$R_B = R_D$