Aplicada II (práctico).

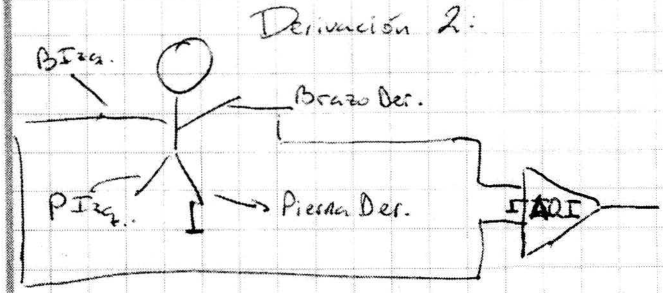
29/08/16.

Trabajo Práctico N° 3:

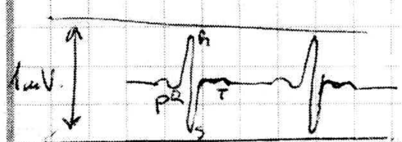
AOs. de instrumentación: resp. en frec.

Amplificador de ECG. (electrocardiograma).

Derivación 2:



Terminal de Wilson. ⟹ Cuando se usan 5 electrodos. (Derivaciones unipolares).



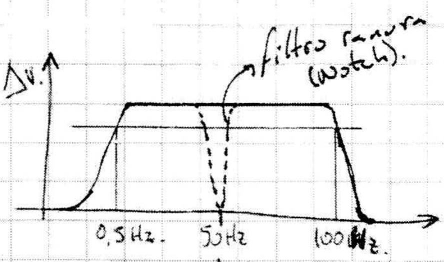
Tiene amplitud variable (hasta 5 mV. → personas grandes, hasta 1mV.

Interesa la morfología.

Interesa la frec.

Rango de frecuencia = 0,5Hz a 100 Hz.

$\downarrow$ FL. $\quad \downarrow$ FH.

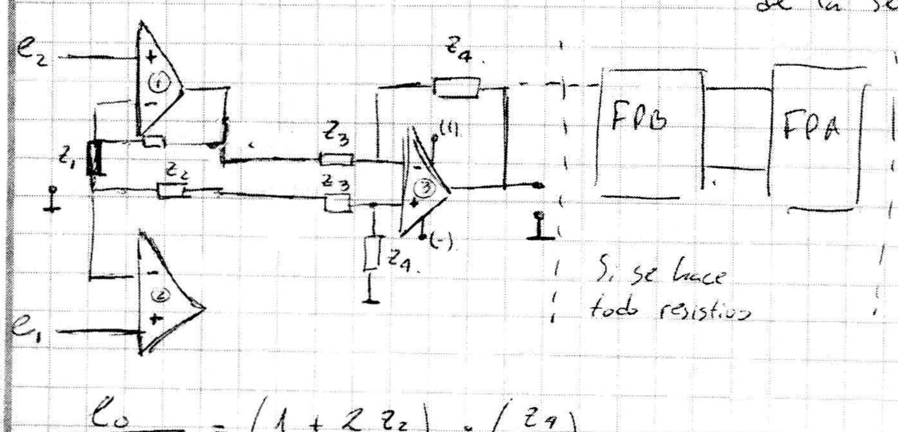


Debe tener una ganancia de 1000.

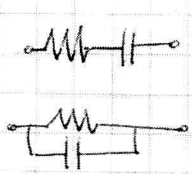
Frec. que se puede inducir (generar ruido). → Puede generar como un "bigotito" debajo de la señal.

El RRMC(dB) $= 20 \log \dfrac{\Delta md}{\Delta mc} = 60$ → 80db por normas

modo dif. (1000); modo común.



Si se hace todo resistivo



Si no Z_3 y Z_4 sirven para el corte de frec.

$$\frac{e_0}{e_2 - e_1} = \left(1 + 2\frac{Z_2}{Z_1}\right) \cdot \left(\frac{Z_4}{Z_3}\right)$$

Mediciones:

1°) Resp. en frec.

2°) Ganancia.

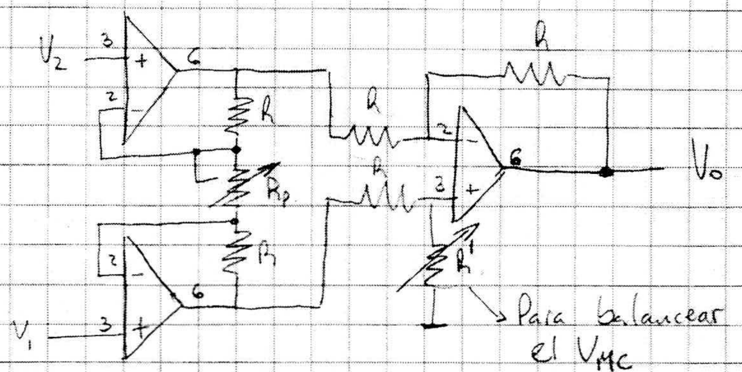
3°). RRMC. (Rel. Rechazo Modo Común)

Verificar que la señal salga.

Conectar los e_n.

Ver la resp. en frec.

~~R = 100k , Rp = 4,55k~~



$f_{oL} = 0{,}05\ Hz$

$f_{oH} = 100\ Hz$

$RRMC = 80\ dB$

$Z_i = 5M\Omega$

$A_d = 60\ dB$ (1000 veces)

$V_i = 1\ mV$

$V_0 = 1V$

$$V_0 = \left(1 + \frac{2R}{R_P}\right)(V_1 - V_2) = K \cdot (V_1 - V_2)$$

$$CMRR\,(\log) = 20 \log\left(\frac{A_d}{A_c}\right) \qquad A_v = \frac{V_0}{(V_1 - V_2)} = \underbrace{\left(1 + \frac{2R}{R_p}\right)}_{} = 1000$$

Con $R = 100k$

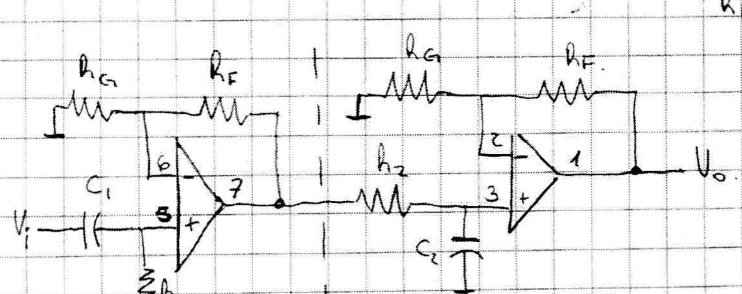
$$R_P = \frac{2 \cdot (100k)}{(1000-1)} = 200\Omega$$

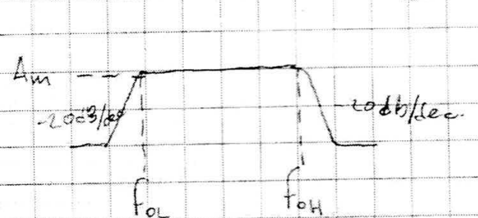
Filtro pasa banda.

- $A_v = 1 + \frac{R_F}{R_G}$

$$f_{oL} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

$$f_{oH} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$





$$f_{oL} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 0{,}071 \quad ; \quad R_1 = 100k$$

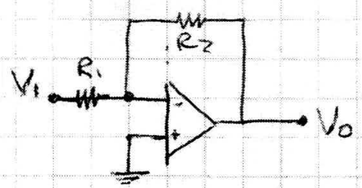
$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot (100k) \cdot 0{,}071\,Hz} = 22{,}42\ \mu F$$

$$f_{oH} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = 71{,}186\ Hz \quad ; \quad R_2 = 100k$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi\ (100k) \cdot 71{,}186\,Hz} = 22{,}36\ nF$$

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

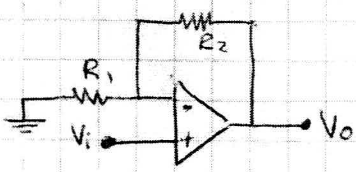
- A.O. INVERSOR



$$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$Z_i = R_1$$

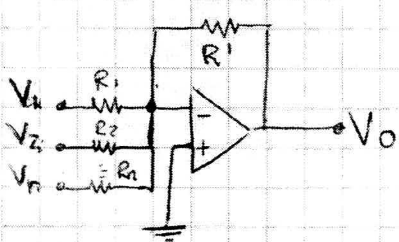
- A.O. NO INVERSOR



$$A_v = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$Z_i = \infty$$

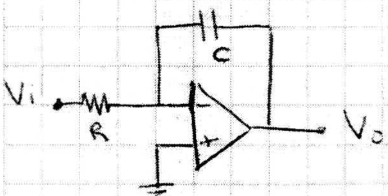
- A.O. SUMADOR



$$Z_1 = R_1$$
$$Z_2 = R_2$$
$$Z_n = R_n$$

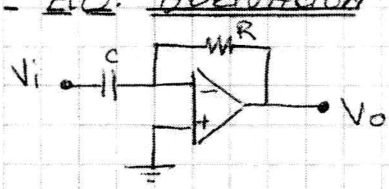
$$V_o = -R' \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \ldots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

- A.O. INTEGRACIÓN



$$V_o = -\frac{V_i}{RC} \int_0^t dt + V(t_o)$$

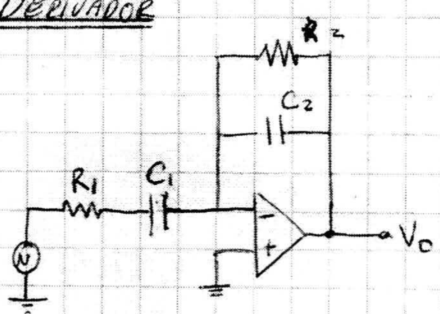
- A.O. DERIVACION

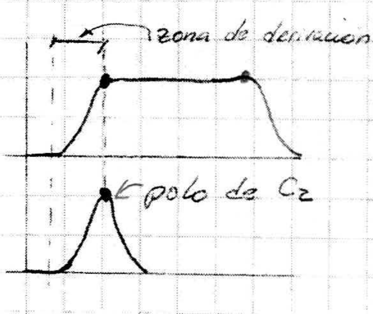


$$V_o = -RC \cdot \frac{dV_i}{dt}$$

ANALISIS DE INTEGRACION Y DERIVACION (PRACTICO)

- DERIVADOR





* DATOS:

- f_{max}.
- V_{pp}.
- Precision del 99;
- $\frac{R_1}{f_c} = Z_i$

C_2: elimina ruidos en altas frec. (es muy sensible). Fija la frec. max, mantiene A_v. en alta frec.

R_1: Determina la Z_i,

* Desarrollo de Derivador

- $\Delta vf = \frac{V_O}{V_i} = -P.R_2C_1. \quad \therefore \quad V_O = -R_2.C_1.V_i$

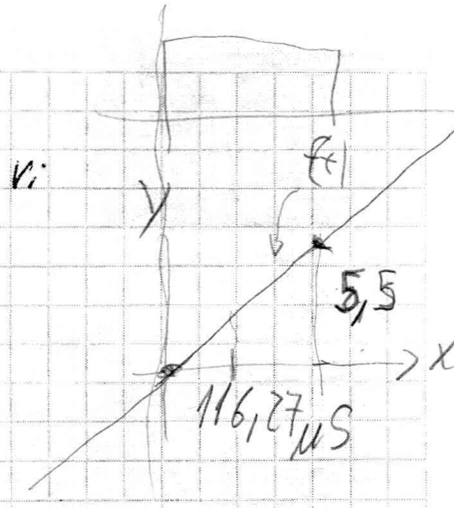
$f_{der} = \frac{f_{max}}{10} \quad \therefore \quad f_{max} = f_{der}.10$

- $f_{max} = \frac{1}{2\pi.R_1C_1} \quad \therefore \quad C_1 = \frac{1}{2\pi.R_1.f_{max}}$

$R_2 = V_O.\frac{1}{C_1.V_i}$

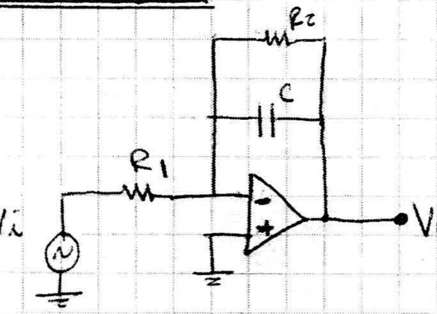
$f_C = \frac{1}{2\pi.R_2.C_2} \quad \therefore \quad C_2 = \frac{1}{2\pi.R_2.f_C}$

$\Delta V = \frac{R_2}{R_1}$



~~f(t) = 150/2,5 t~~
$f(t) = 47303.t$

INTEGRADOR



R2: Evita que la Av llegue a ser de lazo abierto del A.O. para corriente continua

* Datos

f_{max}
V_{pp}
R_1
Precision del 99%.

③ R1 y C

se elige R1
se calcula C

$V_O = -\frac{V_i}{R_1C}\int_0^T V_i\,dt \xrightarrow{\Pi} V_O = -\frac{V_i}{R_1C}\int_0^{T/2} dt$

$C = \frac{V_i}{V_O}.\frac{1}{R_1}\frac{T}{2}$

* Desarrollo de Integrador

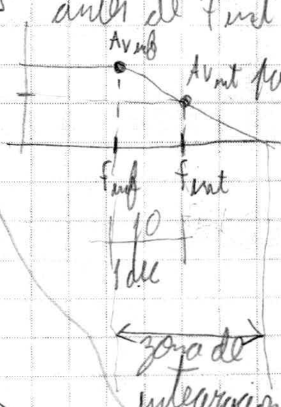
① frec de integración

$f_{int} = \frac{f_{inf}}{10} \therefore f_{inf} = 10.f_{int}$

~~$Av = \frac{V_O}{V_i} = \frac{1}{R_1.C} \therefore C = \frac{V_i}{V_O}.\frac{1}{R_1}$~~

$\cancel{Avm = \frac{R_2}{R_1}} = 10 \therefore R_2 = Avm.R_1$

determinar que el polo dominante quede una decada antes de f_{int} (frec donde se trabaja) para que se trabaje dentro de los limites de integracion



② *

$Av_{inf}.f_{inf} = Av_{int}.f_{int}$

$\hookrightarrow Av_{inf} = \frac{Av_{int}.f_{int}}{f_{inf}}$

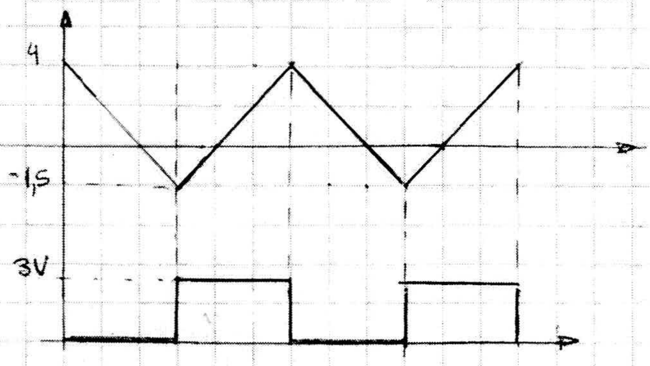
$Av_{inf} = \frac{R_2}{R_1} \rightarrow R_2 = Av_{inf}.R_1$

$Av_{(int)}\frac{V_O}{V_1} = \frac{\cancel{V_1}\;T/2/R_1C}{\cancel{V_1}}$

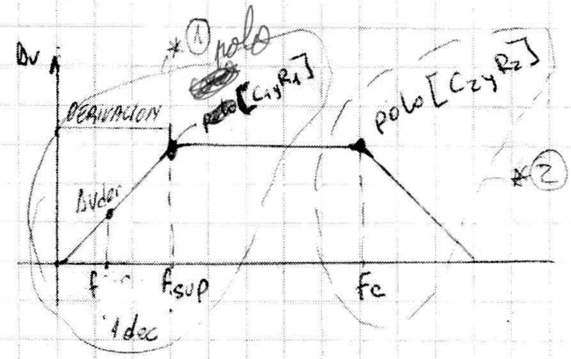
Considerando q' el prod de la ordenada y la abcisa en c/punto sobre la recta es igual al prod de otro pto cualquiera de la misma recta

$Av_{int} = -\frac{T}{2R_1C}$

ANALISIS PRACTICO DE DERIVACION



De rampa a cuadrada → Derivador



Datos

$V_i = 5{,}5V$

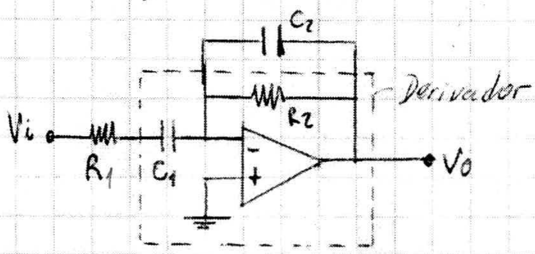
$V_s = 3V$

$f_{rampa} = 4300Hz$

Por Diseño

$R_1 = 10k\Omega \rightarrow$ (Determina Z_i)

Presicion 99%



*①– El Derivador Esta dado por:

$$V_o = -R_2 . C_1 . \frac{dV_i}{dt}$$

$N_o = R_2 C_1 47300$
$V_o =$

La funcion rampa es: $V_i = \frac{V_{ipp}}{T/2} . t + 4 = \frac{5{,}5V}{116\mu s} \ t + 4V$

$$V_i = 47300 t + 4V$$

Ahora derivo V_i respecto ~~t~~:

$$\frac{dV_i}{dt} = 47300$$

• La $V_o = 3V$, despejo R_2.

$$R_2 = \frac{V_o}{C_1 . \frac{dV_i}{dt}} = \frac{3V}{370pF . 47300}$$

$$\boxed{R_2 = 171{,}4 k\Omega}$$

¿algún criterio?

• Para una prec. del 99% $f_{(sup)} = 10 . f_{(der)}$ fijamos un polo dominante de corte, con R_1 y C_1.

$$f_{sup} = \frac{1}{2\pi . R_1 . C_1} \Rightarrow C_1 = \frac{1}{2\pi . f_{sup} . R_1}$$

$$\boxed{C_1 = 370 pf.}$$

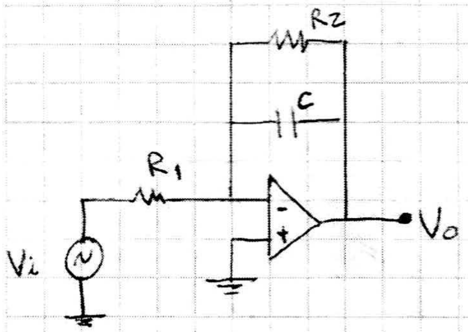
*② Para elimina ruidos se establece que la frec. de corte (f_c) es 50KHz determinada por C_2 y

$$f_c = \frac{1}{2\pi . R_2 . C_2} \qquad \left.\begin{matrix} R_2 \\ f_c \end{matrix}\right\} \text{Datos}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi . R_2 . f_c} = \frac{1}{2 . \pi . 171{,}4k\Omega . 50KHz}$$

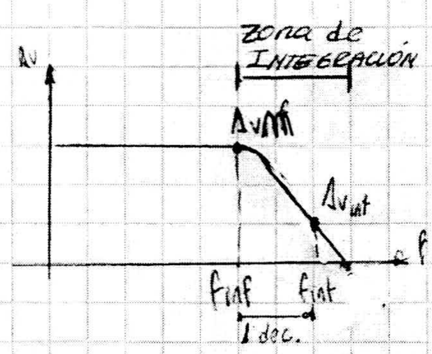
$$\boxed{C_2 = 18{,}6 pF}$$

Analisis Practico Integrador



Datos

f_{max} - V_{pp} - $R_1 = 10K\Omega$



R2: Evita que la Av llegue a ser de lazo abierto del A.O. p/ C.C.

① Frecuencia de integración esta dada por:

$$f_{int} = 10 \cdot f_{inf} \quad \therefore \quad f_{inf} = \frac{f_{int}}{10}$$

Determina que el polo dominante quede una decada antes de f_{int} (frec. dondese trabaja) para que se trabaje dentro de los limites de integración.

② Dado $R_1 = 10K\Omega$, la integra de una señal esta dada por:

$$V_o = -\frac{V_i}{R_1 . C}\int_0^{T} V_i \, dt \Rightarrow V_o = -\frac{V_i}{R_1 C}\int_0^{T/2} dt \Rightarrow V_o = -\frac{V_i}{R_1 C} . t \Big|_0^{T/2}$$

$$V_o = -\frac{V_i}{R_1 . C} . \frac{T}{2}$$

$$\boxed{C = \frac{V_i}{V_o} . \frac{1}{R} . \frac{T}{2}}$$

La ganancia de integración es: $A_v(int) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_i \; T/2/R_1 C}{\cancel{V_i}}$

$$A_v(int) = -\frac{T}{2 . R_1 . C}$$

Considerando que el producto de la ordenada y la abscisa es un punto sobre la recta es igual al producto de otro punto cualquiera de la misma recta

$$A_v(inf) . f(inf) = A_v(int) . f(int)$$

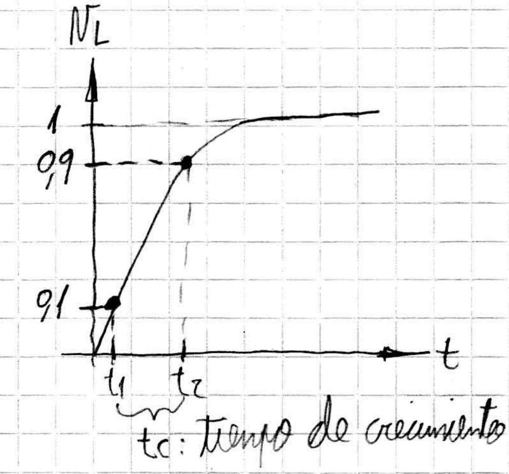
$$\boxed{A_v(inf) = \frac{A_v(int) . f(int)}{f(inf)}}$$

$$A_v(inf) = \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow \boxed{R_2 = A_v(inf) . R_1}$$

NOTA

"Metodo de medición indirecta de respuesta en frecuencia"

Caso de alta frecuencia

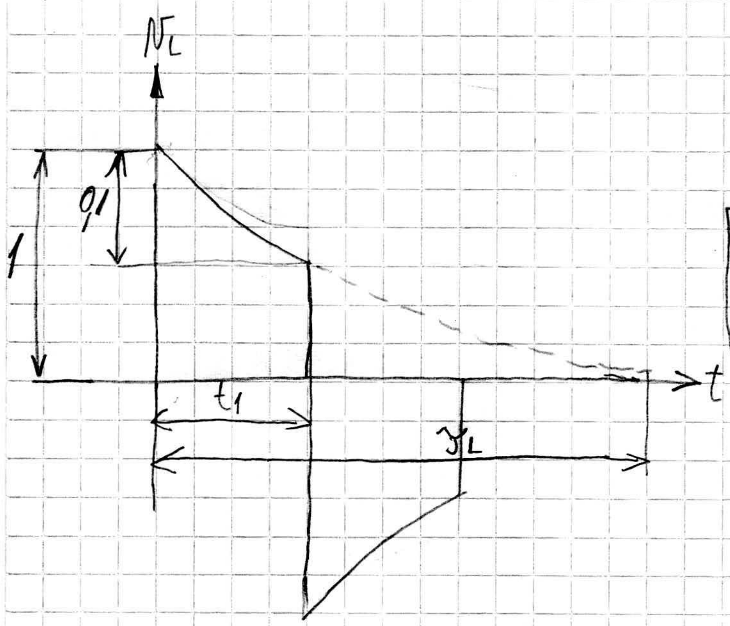


$$v_L(t_1) = 0,1 = 1\, e^{t_1/\tau_h} \quad \Big| \quad 0,9 = 1\, e^{t_2/\tau_h}$$

$$\boxed{t_c = \tau_h \cdot 2,2 = t_2 - t_1}$$

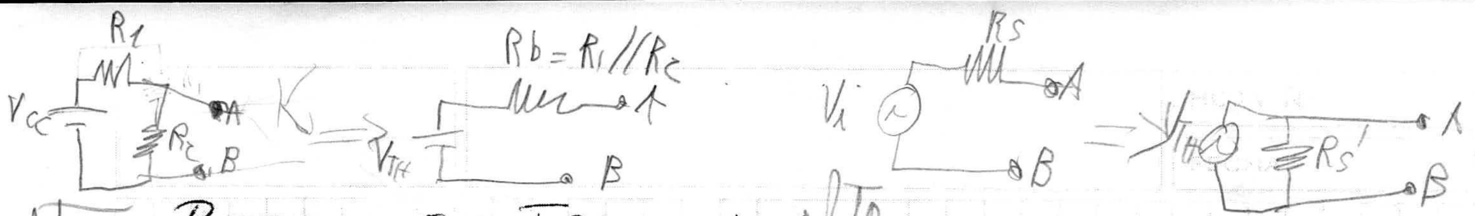
$$\boxed{\omega_h = \frac{1}{\tau_h}}$$

Caso de bajo frecuencia

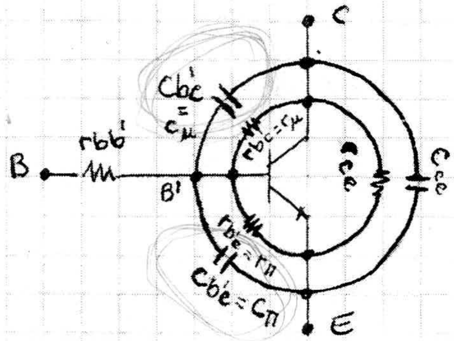


$$\boxed{\tau_L = t_1 \cdot 10}$$

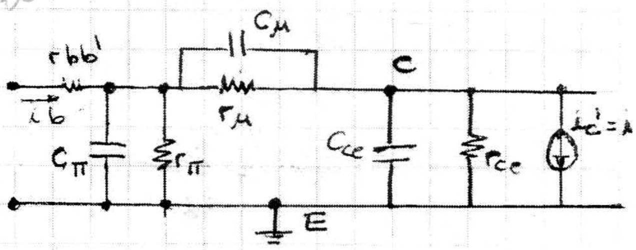
$$\boxed{\omega_L = \frac{1}{\tau_L}}$$



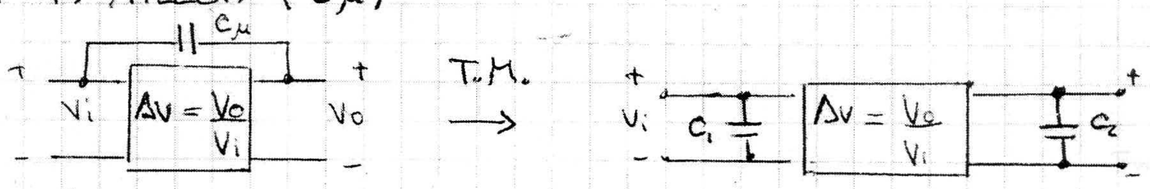
RESPUESTA EN FRECUENCIA alta



Modelo Incremental $\Rightarrow$



* $g_{b'c} \gg g_{b'e} \Rightarrow r_\mu \gg r_\pi$. Se desprecia r_μ.
* T. MILLER (C_μ)



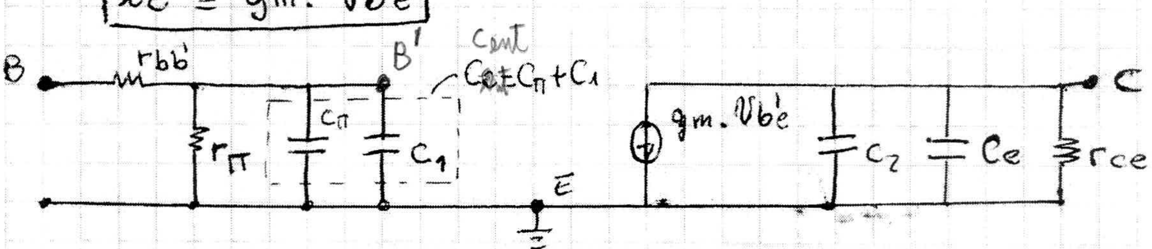
$$\begin{cases} C_{M1} = (1 + \Delta V_{(med)}) \cdot C_\mu \\ C_{M2} = \left(1 + \dfrac{1}{\Delta V_{(med)}}\right) \cdot C_\mu \end{cases} \xRightarrow{\Delta V_{(med)} \gg 1} \begin{cases} C_1 = \Delta V_{med}\, C_\mu \\ C_2 = C_\mu \end{cases}$$

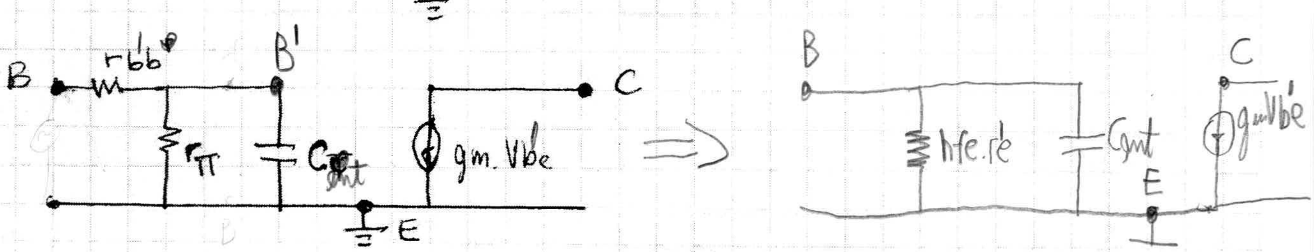
- C_1: Es un valor considerable
- C_2: Valor muy pequeño, se desprecia

* $g_{ce} \gg g_{b'c} \Rightarrow r_{ce} \gg r_\mu$. Se desprecia I_{rce}

* C_{ce} muy pequeño
* $i_c' = i_{b'} \cdot h_{fe} \cdot \dfrac{r_\pi}{r_\pi} = \dfrac{h_{fe}}{r_\pi} \cdot (i_{b'} \cdot r_\pi)$

$\boxed{i_c' = g_m \cdot V_{b'e}}$





$h_{ie} = r_{bb'} + r_\pi \,?= h_{fe}\, r_e' = \dfrac{h_{fe}\, 25\,mV}{I_E} = h_{ie}$

- $r'e = \dfrac{25mV}{I_{EQ}} = \dfrac{1}{g_m}$

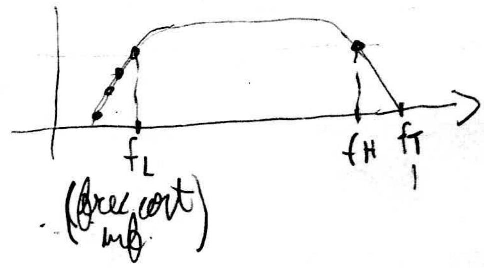
- $h_{ie} = r_\pi + r_{b'b}$

- $r_\pi = \dfrac{h_{fe}}{g_m} = \dfrac{\overset{r'e}{25mV} \cdot h_{fe}}{I_{EQ}}$

- $A_{V(med)} = \dfrac{R'_L}{r'e}$

- $f_c = \dfrac{1}{2\pi R_{eq}}$

- $C_\pi = \dfrac{g_m}{\omega_T}$



- $g_m = 40 I_{EQ}$

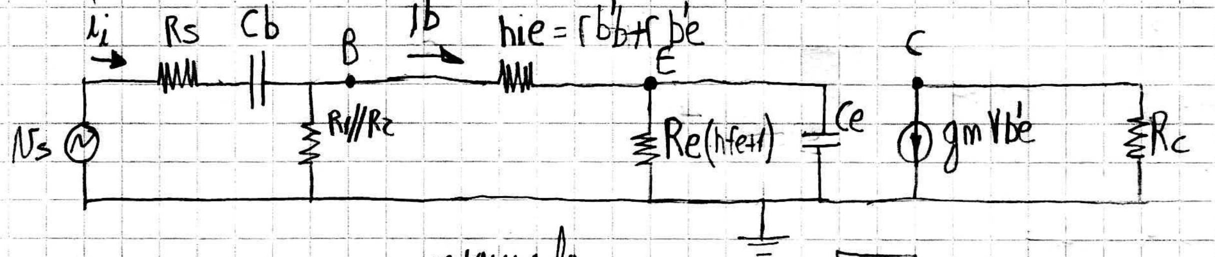
- $\omega_T = \dfrac{g_m}{C_\pi + C_\mu}$

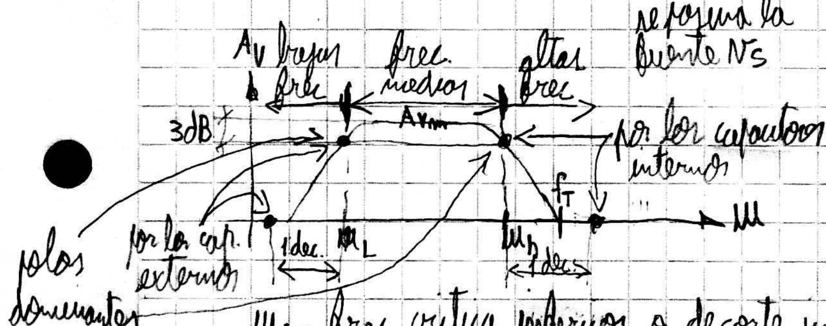
- $BW = f_h - f_L$

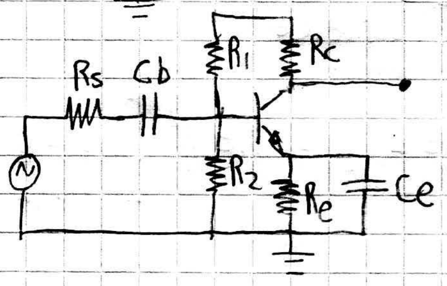
- $f_T = A_{V_m} BW$ (frec ganancia unitaria 0dB = 1)

"Respuesta en baja frecuencia"

Modelo híbrido a bajas frecuencias







ω_L = frec crítica inferior o de corte inferior f_T = frec. de transición (0dB ⇒ Av=1)

ω_h = frec crítica superior o de corte inferior.

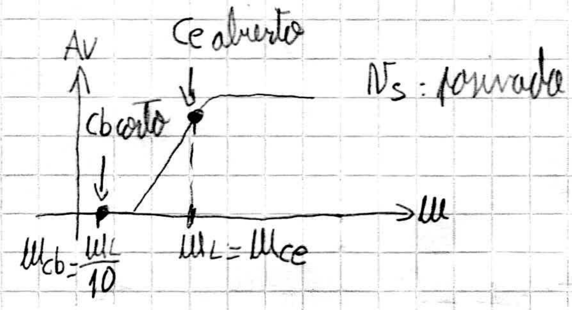
Los polos que determinan el ancho de banda vienen dados por los capacitores externos e internos, en bajas frecuencias los capacitores externos serán los que determinan los polos a bajas frecuencias (Cb y Ce). Cada capacitor determinará su polo correspondiente.

El polo dominante es el que determina la frecuencia de corte en el ancho de banda, para que este sea dominante debe estar a una década de distancia como mínimo del polo más cercano.

Entonces, como a bajas frecuencias los capacitores que determinan los polos son Cb y Ce tenemos que tener en cuenta que al momento de diseñar tenemos que elegir a uno de estos dos capacitores para que sea el que defina al polo dominante.

Es decir que hay dos análisis al momento del diseño a bajas frec:

(A) Ce define al polo dominante



$$\omega_L = \omega_{ce} = \frac{1}{R_{ce} \cdot C_e}$$

$$\boxed{R_{ce}\Big|_{cb\ corto} = R_e \,//\, \left[\frac{h_{ie} + (R_1 // R_2 // R_s)}{h_{fe}+1}\right]} \quad Ce: \text{dato}$$

$\downarrow$

ω_{Ce}

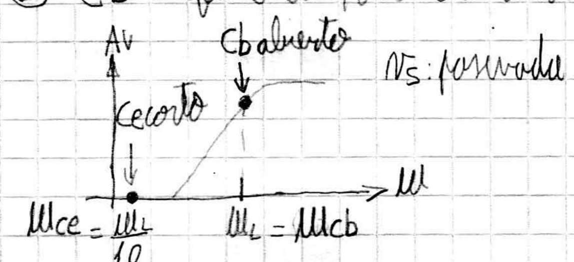
$$\frac{\omega_L}{10} = \omega_{cb} = \frac{1}{R_{cb} \cdot C_b}$$

$$\boxed{R_{cb}\Big|_{ce\ abierto} = R_s + \left[R_1 // R_2 // \left(h_{ie} + R_e (h_{fe}+1)\right)\right]} \quad Cb: \text{dato}$$

$\downarrow$

ω_{cb}

(B) Cb define al polo dominante



$$\omega_L = \omega_{cb} = \frac{1}{R_{cb} \cdot C_b}$$

$$\boxed{R_{cb}\Big|_{ce\ corto} = R_s + (R_1 // R_2 // h_{ie})} \quad Cb: \text{dato}$$

$\downarrow$

ω_{cb}

$$\frac{\omega_L}{10} = \omega_{ce} = \frac{1}{R_{ce} \cdot C_e}$$

$$\boxed{R_{ce}\Big|_{cb\ abierto} = R_e \,//\, \left(\frac{h_{ie} + R_{b1}}{h_{fe}+1}\right)} \quad Ce: \text{dato}$$

$\downarrow$

ω_{ce}

	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL CORDOBA	Electrónica Aplicada 2	
Nombre del práctico Respuesta en Frecuencia	**Apellidos y nombres**	**Curso** 4R	**Hoja** 1

Ej 2

Tema: Respuesta en Frecuencia

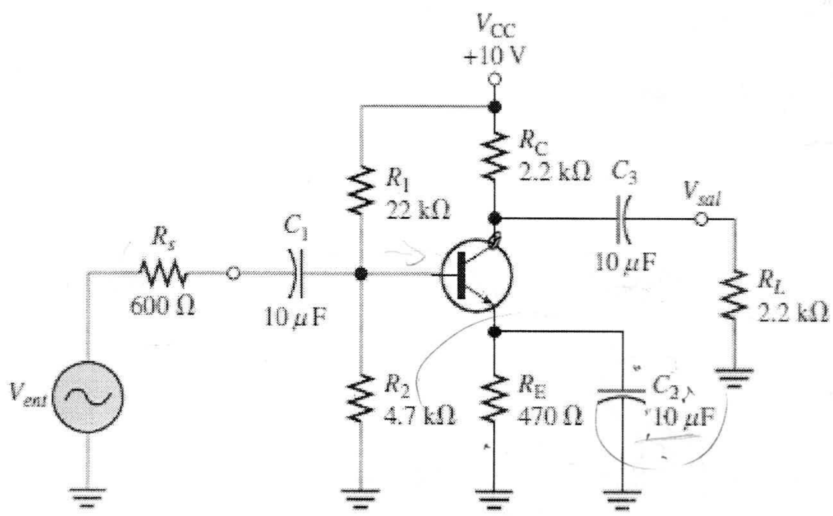
$\left(R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_?^{-1}\right)^{-1}$

Consigna:

Dado el circuito esquemático de un amplificador de una etapa acoplado por capacitor como el de la figura se pide:

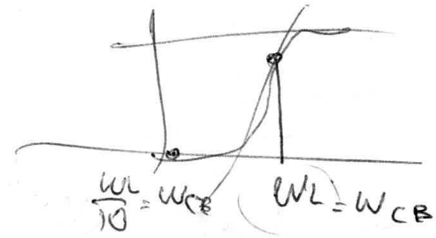
1. Calcular fh
2. Calcular AV_m
3. Calcular la respuesta en baja frecuencia tomando como polo dominante el del capacitor de emisor para una frecuencia de corte inferior fl = 20 Hz

Circuito Esquemático:



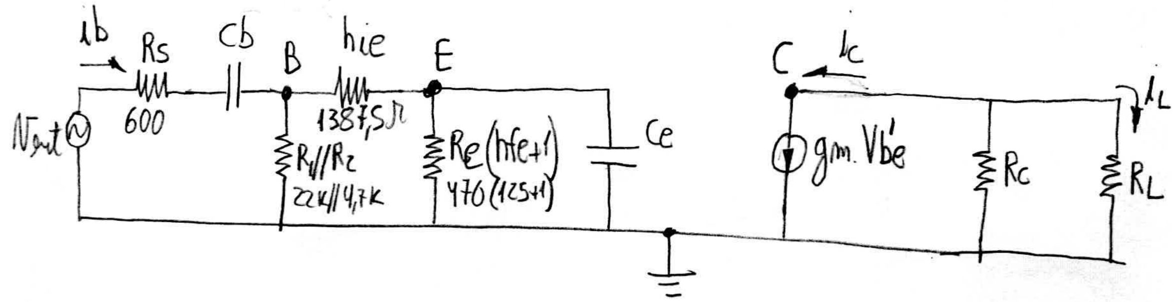
Datos :

$\beta_A =$ **hfe: 125**
Cbc : 2,4 pF
Cbe: 20 pF
rbb: 30 Ohm



Resolver y comparar con resultados del Floyd

③ Modelo hibrido a bajas frecuencias

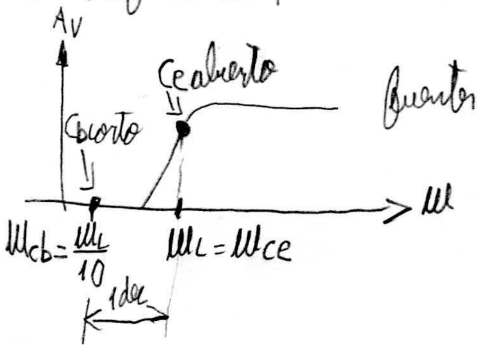


$hie = r\pi + r b'b = hfe \cdot r'e = \frac{hfe \cdot 25mV}{I_{EQ}}$ $\quad I_{EQ} = 2,26mA$

$hie = 1387,5$

$f_L = 20Hz \longrightarrow \omega_L = 125,66$ rad/seg

Ⓐ Ce define al polo dominante para una $f_L = 20$ Hz



Cuantos parecidos

$$\omega_L = 2\pi f_L = \frac{1}{Rce \cdot Ce} = \omega_{ce}$$

- $f_L = 20Hz$
- $Rce\Big|_{Cb\,corto} = Re // \left[\frac{hie + R_1//R_2//R_s}{hfe+1}\right] =$

$Rce\Big|_{Cb\,corto} = 14,66\Omega$

$$Ce = \frac{1}{2\pi f_L\, Rce} = \frac{1}{\omega_L\, Rce}$$

$$\boxed{Ce = 542\mu f}$$

$$\frac{\omega_L}{10} = \frac{2\pi f_L}{10} = \frac{1}{Rcb \cdot Cb} = \omega_{cb}$$

$Rcb\Big|_{ce\,abierto} = Rs + \left[R_1//R_2//(hie + Re(hfe+1))\right]$

$Rcb\Big|_{ce\,abierto} = 4240\Omega$

$$Cb = \frac{10}{2\pi f_L\, Rcb} \longrightarrow \boxed{Cb = 18,76\mu f}$$

Ej 2 alta frec.

1) y 2)

Solución En primer lugar determine r'_e como sigue:

$$V_B = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V_{CC} = \left(\frac{4.7\,k\Omega}{26.7\,k\Omega}\right)10\,V = 1.76\,V$$

$$V_E = V_B - 0.7\,V = 1.06\,V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.06\,V}{470\,\Omega} = 2.26\,mA$$

$$r'_e = \frac{25\,mV}{I_E} = 11.1\,\Omega$$

La resistencia total del circuito de entrada es

$$R_{ent(tot)} = R_s \parallel R_1 \parallel R_2 \parallel \beta_{ca} r'_e = 600\,\Omega \parallel 22\,k\Omega \parallel 4.7\,k\Omega \parallel 125(11.1\,\Omega) = 378\,\Omega$$

A continuación, con el fin de determinar la capacitancia, debe calcular la ganancia en frecuencias medias del amplificador para poder aplicar el teorema de Miller.

$$(2)\quad A_{v(med)} = \frac{R_c}{r'_e} = \frac{R_C \parallel R_L}{r'_e} = \frac{1.1\,k\Omega}{11.1\,\Omega} = 99$$

Al aplicar el teorema de Miller.

$$C_{ent(Miller)} = C_{bc}(A_{v(med)} + 1) = (2.4\,pF)(100) = 240\,pF$$

La capacitancia total de entrada es $C_{ent(miller)}$ en paralelo con C_{be}

$$C_{ent(tot)} = C_{ent(Miller)} + C_{be} = 240\,pF + 20\,pF = 260\,pF$$

El circuito RC de entrada en alta frecuencia resultante se muestra en la figura 10-35. La frecuencia crítica superior es

$$(1)\quad f_{cu(entrada)} = \frac{1}{2\pi(R_{ent(tot)})(C_{ent(tot)})} = \frac{1}{2\pi(378\,\Omega)(260\,pF)} = \mathbf{1.62\,MHz}$$

Ej 1

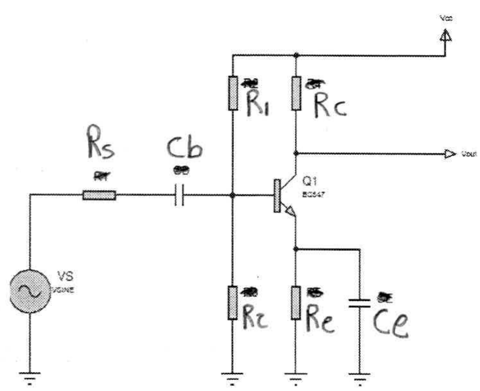
Tema: Respuesta en Frecuencia

Consigna:

Dado el circuito esquemático de un amplificador de una etapa acoplado por capacitor como el de la figura se pide:

1. Calcular fh 1 para R4 (Rl) = 100 ohm
2. Calcular AV_{m1} para R4 (Rl) = 100 ohm
3. Calcular fh 2 para R4 (Rl) = 200 ohm
4. Calcular AV_{m2} para R4 (Rl) = 200 ohm
5. Calcular el valor de la frecuencia de corte inferior fl considerando como polo dominante el del capacitor de emisor de capacidad CE = 10 μF
6. Calcular el valor de la frecuencia de corte inferior fl considerando como polo dominante el del capacitor de base de capacidad CB = 10 μF

Circuito Esquemático:



Datos :

Rs R1 R2 Rc

hfe: 100 , ~~R1~~: 500 Ohm, ~~R2~~: 7, 5 KOhm, ~~R3~~ :2,7 kOhm, ~~R4~~(RL) : 100/200 Ohm ,

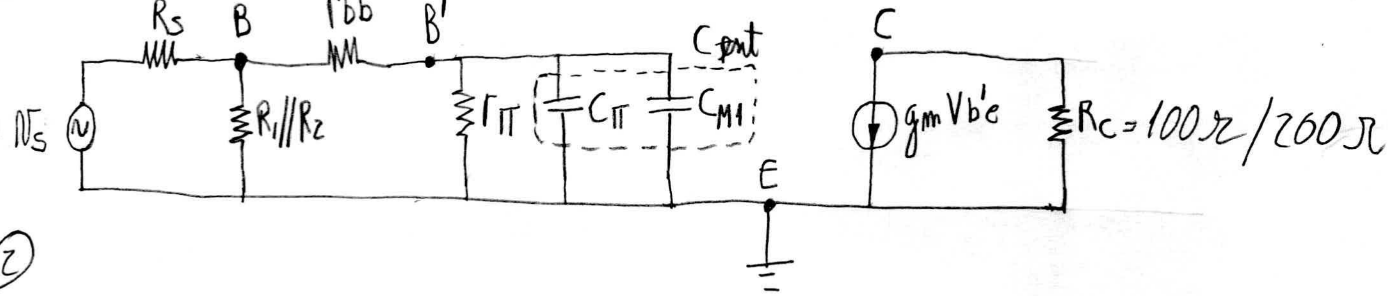
Re **~~R5~~: 0,2KOhm Ft = 750 Mhz**

Cbc : 2,5pf

rbb: 30 Ohm

Vcc: 15v

Modelo híbrido alta frec.



① y ②

$$f_{h1} = \frac{1}{2\pi R_{ent} C_{ent}}$$

• $R_{ent} = R_S // R_1 // R_2 // (h_{fe} \cdot r'_e)$

$r'_e = \frac{25\,mV}{I_E}$

$I_E = \frac{V_{BB} - V_{be}}{R_e}$

$V_{BB} = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = 3{,}97\,V$

$I_E = 16{,}35\,mA$

$r'_e = 1{,}52\,\Omega$

$R_{ent} = 110{,}56\,\Omega$

• $C_{ent} = C_\pi + C_{M1}$

• $C_\pi = \frac{g_m}{\omega_T} =$

• $g_m = 40 I_E$

$g_m = 0{,}654$

• $\omega_T = 2\pi f_T$

$\omega_T = 4{,}71 \times 10^9$ rad/seg

$C_\pi = 138{,}8\,nf$

• $C_{M1} = C_{b'c} (A_{V_m} + 1) =$

• $A_{V_m} = \frac{R'_L}{r'_e} = \frac{R_c}{r'_e}$

$A_{V_m} = 65{,}78$

$C_{M1} = 167\,pf$

$C_{ent} = 305{,}77\,pf$

Ej 1

1 y 2

$\boxed{f_{h1} = 4{,}7\ MHz}$ $\boxed{A_{vm} = 65{,}78}$

3 y 4

$$f_{h2} = \frac{1}{2\pi R_{ent} \cdot C_{ent}}$$

$\boxed{\cdot\ R_{ent} = 114{,}8\ \Omega}$

$\cdot\ C_{ent} = C_{\pi} + C_{M1}$

$\boxed{\cdot\ C_{\pi} = 138{,}78\ pf}$

$\cdot\ C_{M1} = C_{b'c}(A_{vm}+1)$

$$A_{vm} = \frac{R'_L}{r'e} = \frac{R_c}{r'e}$$

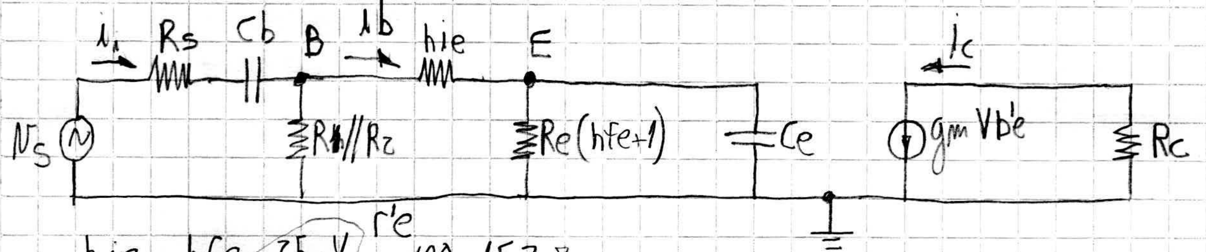
$A_{vm} = 131{,}57$

$C_{M1} = 328{,}94\ pf$

$C_{ent} = 467{,}72\ pf$

$\boxed{f_{h2} = 2{,}96\ MHz}$ $\boxed{A_{vm} = 131{,}57}$

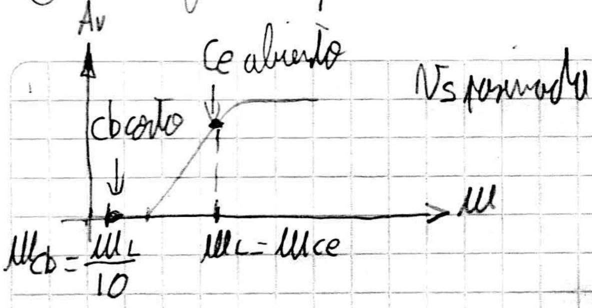
5 Modelo híbrido a bajas frecuencias



$$h_{ie} = h_{fe} \cdot \underbrace{\frac{25\,mV}{I_E}}_{r'e} = 100 \cdot 1{,}52\ \Omega$$

$h_{ie} = 152\ \Omega$

Ⓐ Ce define al polo dominante de la frec. de corte inferior.



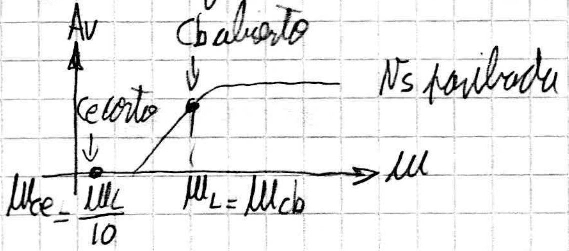
$$\omega_L = \omega_{ce} = \frac{1}{R_{ce} \cdot C_e}$$

$$R_{ce}\Big|_{cb\,corto} = R_e // \left[\frac{h_{ie} + (R_1 // R_2 // R_S)}{h_{fe}+1}\right]$$

$$R_{ce}\Big|_{cb\,corto} = 5{,}31$$

$\omega_L = 18{,}81 \times 10^3$ rad/seg $\longrightarrow$ $\boxed{f_L = 2{,}99\ KHz}$

⑥ Ⓑ Cb define al polo dominante de la frec. de corte inferior



$$\omega_L = \omega_{cb} = \frac{1}{R_{cb} \cdot C_b} = 2\pi f_L$$

$$R_{cb}\Big|_{ce\,corto} = R_S + \left[R_1 // R_2 // h_{ie}\right] =$$

$$R_{cb}\Big|_{ce\,corto} = 641{,}2\,\Omega$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi\ R_{cb} \cdot C_b} =$$

$$\boxed{f_L = 24{,}82\ Hz}$$