DIAGRAMA POLAR Y DIAGRAMA DE BODE DE CIRCUITO DE MODELO LINEAL EQUIVALENTE DE UN AMPLIFICADOR TRANSISTORIZADO EN BAJA FRECUENCIA

Dado el circuito de la Figura 1 , obtenga la función de transferencia, trace el diagrama polar y el diagrama de Bode del mismo.

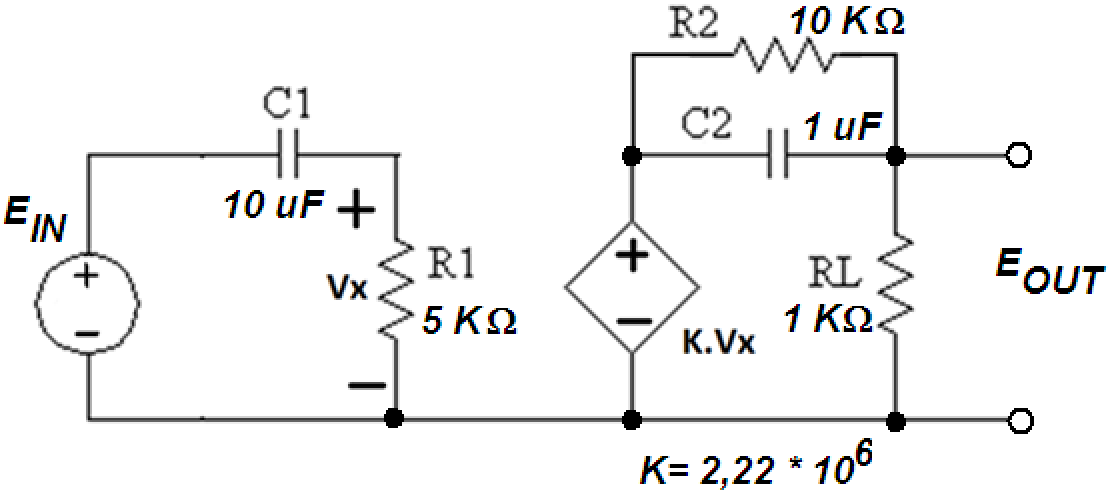


FIGURA 1. Circuito de modelo equivalente de un amplificador transistorizado en baja frec.

Determinamos la función de transferencia :

$$E_{IN(P)} = I_{IN} \times \left(R_1 + \frac{1}{C_1\,P}\right) \qquad \text{por lo tanto :} \qquad V_X = \frac{E_{IN} \times R_1}{\left(R_1 + \frac{1}{C_1\,P}\right)}$$

$$E_{OUT(P)} = \frac{K \times V_X}{\dfrac{R_2 \times \dfrac{1}{C_2\,P}}{R_2 + \dfrac{1}{C_2\,P}} + R_L} \times R_L = \frac{K \times \dfrac{E_{IN} \times R_1}{\left(R_1 + \dfrac{1}{C_1\,P}\right)}}{\dfrac{R_2 \times \dfrac{1}{C_2\,P} + R_L \times \left(R_2 + \dfrac{1}{C_2\,P}\right)}{R_2 + \dfrac{1}{C_2\,P}}} \times R_L =$$

$$F_{(P)} = \frac{E_{OUT(P)}}{E_{IN(P)}} = \frac{K \times R_1 \times R_L \times \left(R_2 + \dfrac{1}{C_2\,P}\right)}{\left(R_1 + \dfrac{1}{C_1\,P}\right) \times \left[R_2 \times \dfrac{1}{C_2\,P} + R_L \times \left(R_2 + \dfrac{1}{C_2\,P}\right)\right]}$$

Operamos :

$$F_{(P)} = \frac{E_{OUT(P)}}{E_{IN(P)}} = \frac{K \times R_1 \times R_L \times R_2 + \dfrac{K \times R_1 \times R_L}{C_2\,P}}{\left(\dfrac{R_1 * R_2}{C_2\,P} + R_1 \times R_2 \times R_L + \dfrac{R_1 \times R_L}{C_2\,P} + \dfrac{R_2}{C_1\,C_2\,P^2} + \dfrac{R_2 \times R_L}{C_1\,P} + \dfrac{R_L}{C_1\,C_2\,P^2}\right)}$$

$$F_{(P)} = \frac{E_{OUT(P)}}{E_{IN(P)}} = \frac{\dfrac{1}{C_2\,P} \times (KR_1R_LR_2C_2\,P + KR_1R_L)}{\dfrac{1}{C_1\,C_2\,P^2}(R_1R_2C_1\,P + R_1R_2R_LC_1\,C_2\,P^2 + R_1R_LC_1\,P + R_2 + R_2R_LC_2\,P + R_L)}$$

$$F_{(P)} = \frac{E_{OUT(P)}}{E_{IN(P)}} = \frac{\dfrac{C_1\,C_2\,P^2}{C_2\,P} \times (KR_1R_LR_2C_2\,P + KR_1R_L)}{[R_1R_2R_LC_1\,C_2\,P^2 + (R_1R_2C_1 + R_1R_LC_1 + R_2R_LC_2)P + (R_2 + R_L)]}$$

$$F_{(P)}=\frac{E_{OUT\,(P)}}{E_{IN\,(P)}}=\frac{K\times P\times (R_1R_2R_LC_2\,C_1\,P+R_1R_LC_1\,)}{[R_1R_2R_LC_1\,C_2\,P^2+(R_1R_2C_1\,+R_1R_LC_1\,+R_2R_LC_2\,)P+(R_2+R_L)]}$$

$$F_{(P)}=\frac{E_{OUT\,(P)}}{E_{IN\,(P)}}=\frac{K\times P\times (R_1R_2R_LC_2\,C_1\,P+R_1R_LC_1\,)}{(R_1R_2R_LC_1\,C_2\,)\left[P^2+\frac{(R_1R_2C_1\,+R_1R_LC_1\,+R_2R_LC_2\,)}{(R_1R_2R_LC_1\,C_2\,)}P+\frac{(R_2+R_L)}{(R_1R_2R_LC_1\,C_2\,)}\right]}$$

$$F_{(P)}=\frac{E_{OUT\,(P)}}{E_{IN\,(P)}}=\frac{K\times P\times \left(\frac{R_1R_2R_LC_2\,C_1}{R_1R_2R_LC_1\,C_2}P+\frac{R_1R_LC_1}{R_1R_2R_LC_1\,C_2}\right)}{\left[P^2+\frac{(R_1R_2C_1\,+R_1R_LC_1\,+R_2R_LC_2\,)}{(R_1R_2R_LC_1\,C_2\,)}P+\frac{(R_2+R_L)}{(R_1R_2R_LC_1\,C_2\,)}\right]}$$

$$F_{(P)}=\frac{E_{OUT\,(P)}}{E_{IN\,(P)}}=\frac{K\times P\times \left(P+\frac{1}{R_2C_2}\right)}{\left[P^2+\frac{(R_1R_2C_1\,+R_1R_LC_1\,+R_2R_LC_2\,)}{(R_1R_2R_LC_1\,C_2\,)}P+\frac{(R_2+R_L)}{(R_1R_2R_LC_1\,C_2\,)}\right]}$$

Dando valores a los componentes, obtenemos :

$$F_{(P)}=\frac{E_{OUT\,(P)}}{E_{IN\,(P)}}=\frac{2{,}22\times 10^6\times P\times (P+100)}{[P^2+1120\times P+22000]}=\frac{2{,}22\times 10^6\times P\times (P+100)}{(P+20)\times (P+1100)}$$

Para realizar el cálculo mediante el método analítico emplearemos:

$$F_{(P)}=\frac{E_{OUT\,(P)}}{E_{IN\,(P)}}=\frac{2{,}22\times 10^6\times (P^2+100\times P)}{[P^2+1120\times P+22000]}$$

Hacemos el cambio de P→jω

$$F_{(j\omega)}=\frac{E_{OUT\,(j\omega)}}{E_{IN\,(j\omega)}}=\frac{2{,}22\times 10^6\times ((j\omega)^2+100\times (j\omega))}{[(j\omega)^2+1120\times (j\omega)+22000]}$$

$$F_{(j\omega)}=\frac{E_{OUT\,(j\omega)}}{E_{IN\,(j\omega)}}=\frac{2{,}22\times 10^6\times (-\omega^2+100\times (j\omega))}{[(22000-\omega^2)+j\,1120\,\omega]}$$

Multiplicamos y dividimos la función por el conjugado del denominador para obtener :

$$\boxed{F_{(j\omega)}=Re_{(j\omega)}+jIm_{(j\omega)}}$$

$$F_{(j\omega)}=\frac{E_{OUT\,(j\omega)}}{E_{IN\,(j\omega)}}=\frac{2{,}22\times 10^6\times (-\omega^2+100\times (j\omega))}{[(22000-\omega^2)+j\,1120\,\omega]}\times\frac{(22000-\omega^2)-j\,1120\,\omega}{(22000-\omega^2)-j\,1120\,\omega}$$

$$F_{(j\omega)}=2{,}22\times 10^6\times\left\{\frac{(\omega^4-22000\,\omega^2+112000\omega^2)}{[(22000-\omega^2)^2+\ (1120\,\omega)^2]}+j\,\frac{2200000\,\omega-100\,\omega^3+\ 1120\,\omega^3}{[(22000-\omega^2)^2+\ (1120\,\omega)^2]}\right\}$$

$$F_{(j\omega)}=2{,}22\times 10^6\times\left\{\underbrace{\frac{(\omega^4+90000\omega^2)}{[(22000-\omega^2)^2+\ (1120\,\omega)^2]}}_{Re(jw)}+\underbrace{j\,\frac{1020\,\omega^3+2200000\omega}{[(22000-\omega^2)^2+\ (1120\,\omega)^2]}}_{j\,Im(jw)}\right\}$$

Calculamos para distintos valores de ω, el valor que toma la parte Real, la parte Imaginaria, el Módulo y la Fase de la función de transferencia $F_{(j\omega)}$.

ω	Real	Imag	Módulo	Fase
0	0	0	0	90
50	146000,711	149946,6761	209285,0049	45,76389846
400	404099,2409	668380,1445	781043,0296	58,84305524
925,304	1016149,481	1016149,679	1437052,517	45,00000559
2500	1886581,672	759060,4818	2033559,249	21,91724091
10000	2195424,476	223736,7634	2206795,588	5,818951198
5,50E+15	2220000	4,11709E-07	2220000	1,06258E-11

Trazamos el diagrama polar :

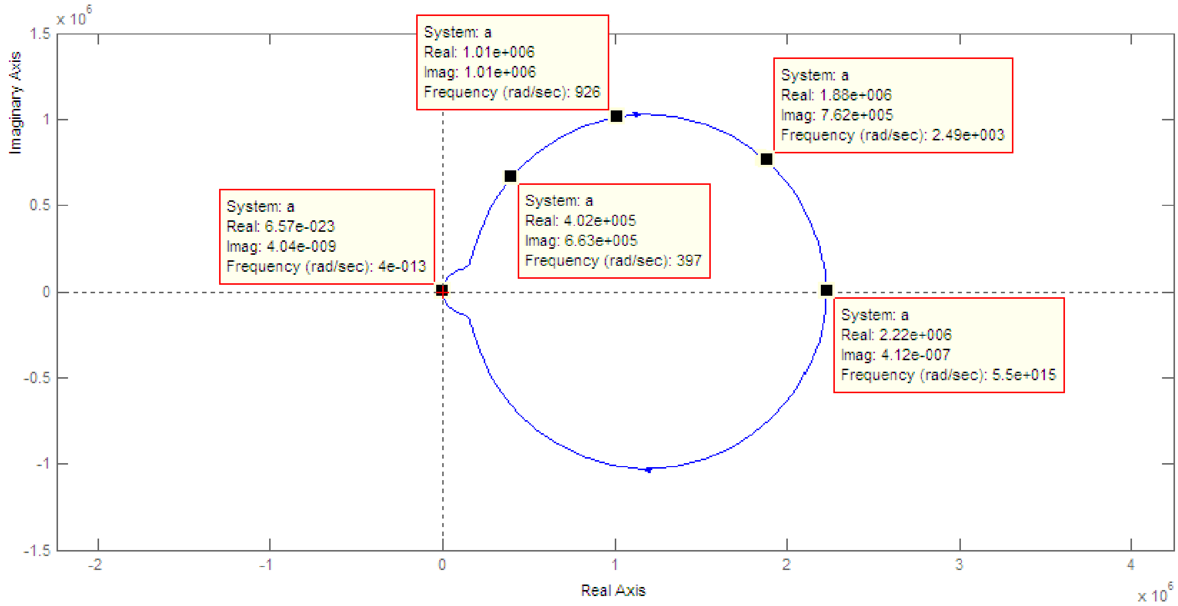


FIGURA 2. Diagrama polar del circuito mediante MATLAB.

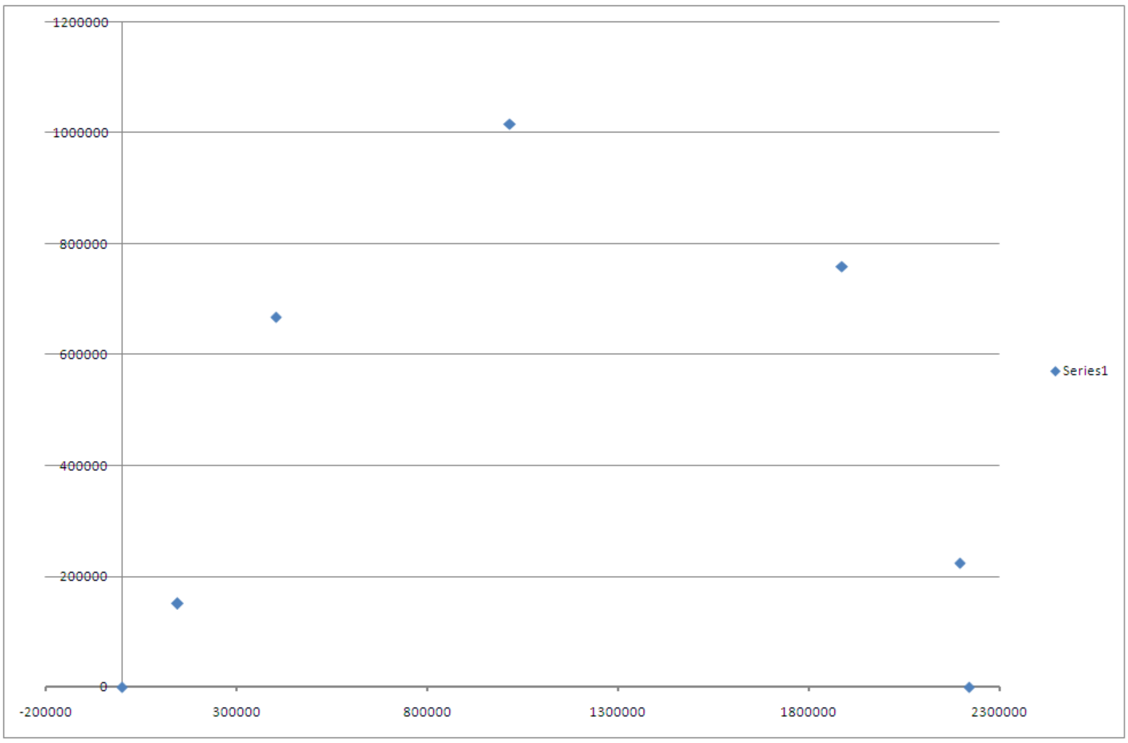
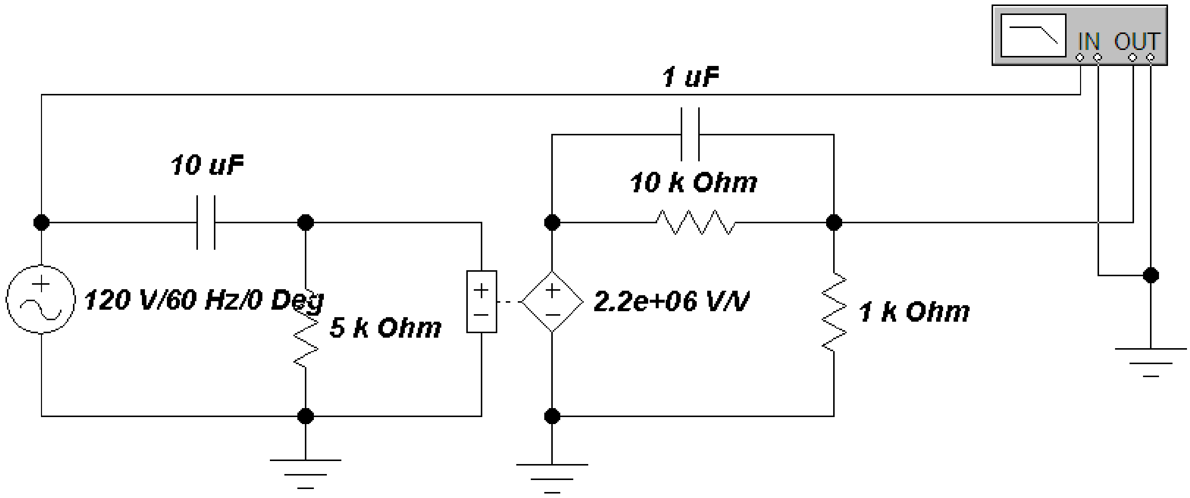
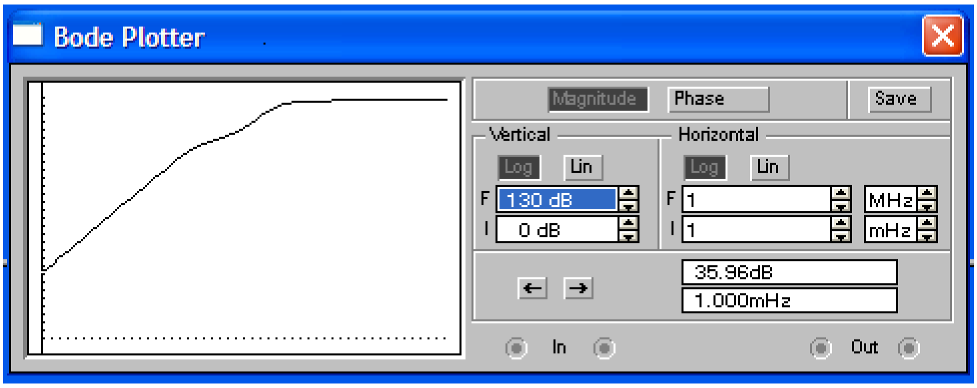
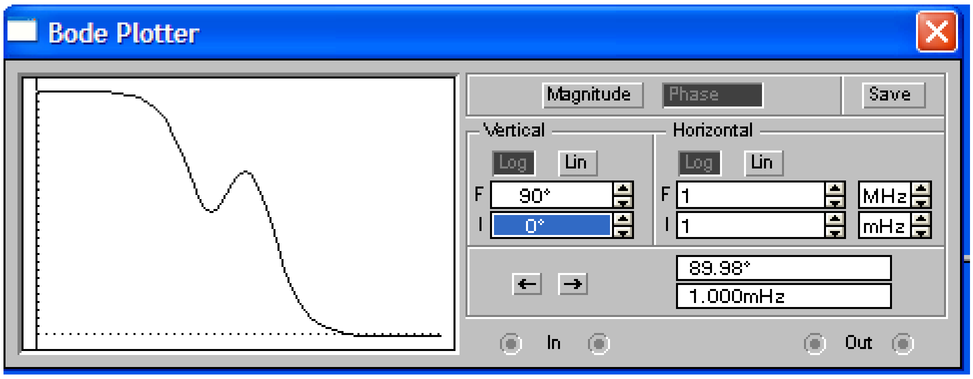


FIGURA 3. Diagrama polar del circuito trazado mediante EXEL.

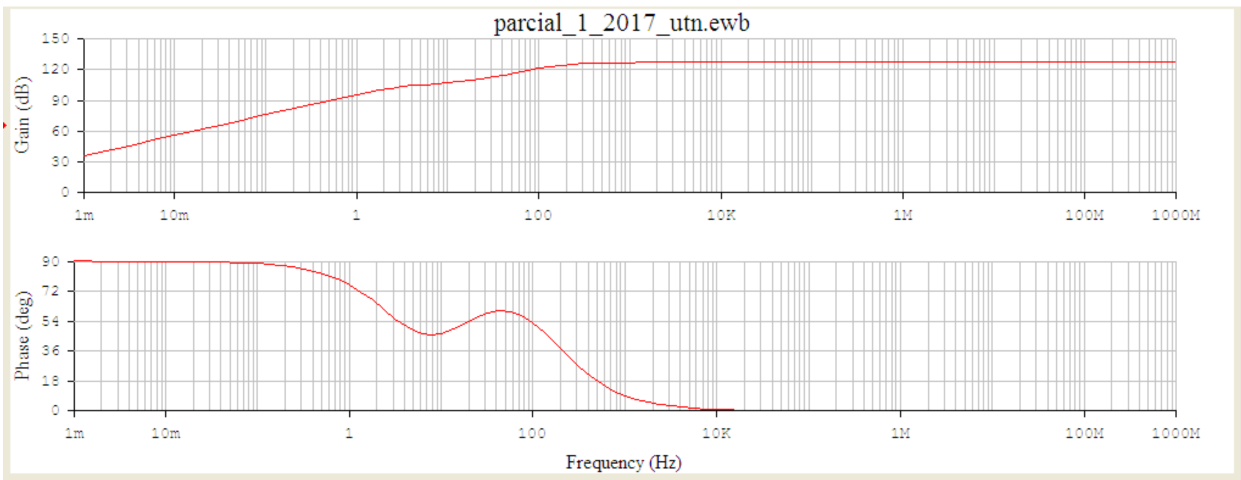
Simulamos el circuito mediante EWB5 :







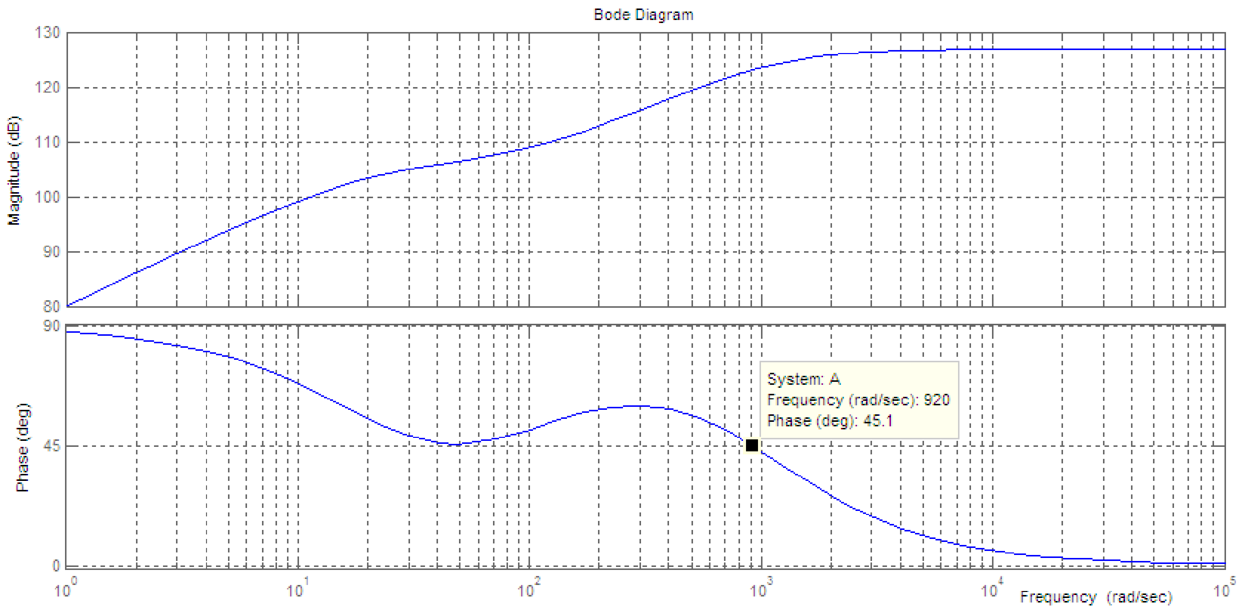
Ampliando el diagrama de Bode, obtenemos:



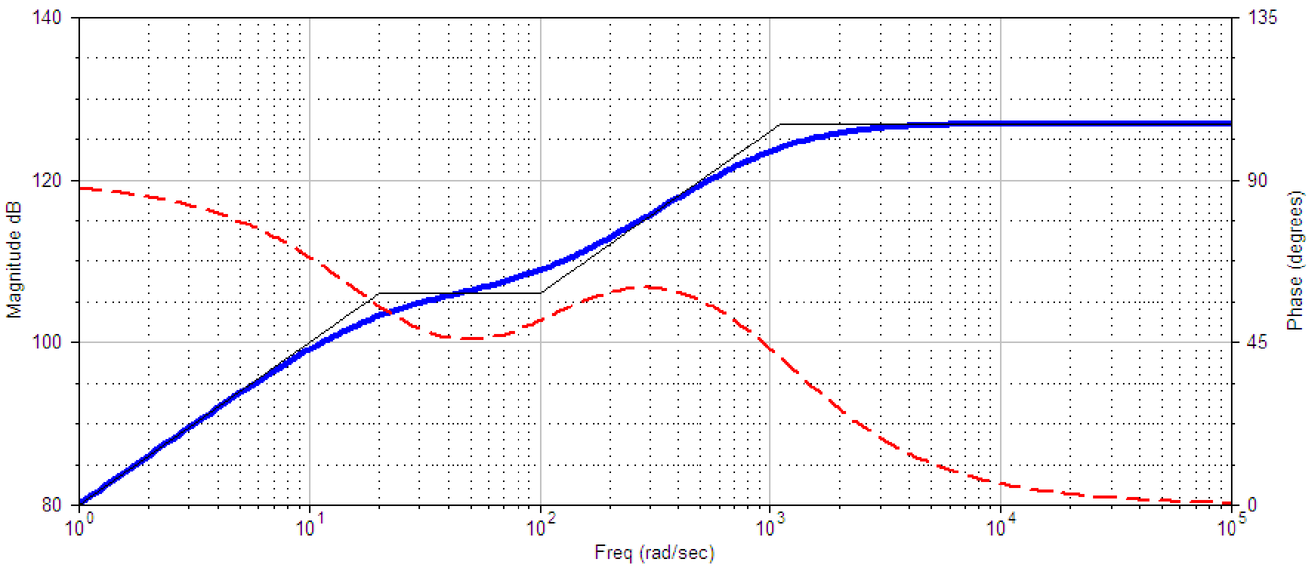
Trazando el diagrama de Bode mediante MATLAB, de la misma función :

$$F_{(P)} = \frac{E_{OUT\,(P)}}{E_{IN\,(P)}} = \frac{2{,}22 \times 10^6 \times P \times (P+100)}{[P^2 + 1120 \times P + 22000]} = \frac{2{,}22 \times 10^6 \times P \times (P+100)}{(P+20) \times (P+1100)}$$

obtenemos:



Trazando el diagrama de Bode mediante el programa Control Cad 5 (CC5), obtenemos :



Vemos que tanto con MATLAB, como con CC5, obtenemos identicos resultados al diagrama de Bode conseguido, mediante la simulación del circuito empleando EWB5.

<u>NOTA:</u> recuerde que EWB5 tiene la escala del eje X en **<u>frecuencia</u>** es decir [Hertz], mientras que MATLAB y CC5, la tiene en **<u>pulsaciónes</u>** → ω=2 *π*f , es decir en [radianes/seg] ó [rps]