

19 de septiembre de 2014

Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación

Nombre: _____

Instrucciones para la realización del examen:

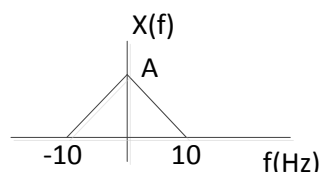
- Es obligatorio entregar el enunciado del examen. Escribir el nombre en todos los folios, y enumerarlos.
- Sólo está permitido el uso de bolígrafo y calculadora no programable.
- No se permite almacenar material debajo de la mesa. No se permite pedir prestada la calculadora.
- Empezar las "cuestiones teóricas" y los "problemas" en un folio en blanco.

Duración: 2 horas y media

CUESTIONES TEÓRICAS (10 PUNTOS)

- (2.5 puntos) Sea $x(t)$ la entrada a un modulador/moduladores e $y(t)$ su salida, represente gráficamente con el mayor detalle posible la Transformada de Fourier de $y(t)$, para los siguientes casos:
 - Modulador AM ($f_c=10^5$ Hz)
 - Modulador SSB-USB ($f_c=10^3$ Hz) y a continuación un Modulador DSB ($f_c=10^5$ Hz)
 - Modulador AM ($f_c=10^3$ Hz) y a continuación un Modulador SSB-LSB ($f_c=10^5$ Hz)

Nota: considere $X(f)$ según la siguiente figura:



- (2.5 puntos) ¿Cómo se puede distinguir la distorsión lineal de la no lineal?
- (2.5 puntos) Considere la cuantización PCM de una señal. Para el caso de una señal sinusoidal de amplitud igual al máximo del rango de cuantización, utilizando 8 bits por muestra, los valores de la SNR son 49.76 dB para cuantización uniforme y 37.89 dB para cuantización Ley-mu ($\mu = 255$). Siendo claramente mejor el caso uniforme, ¿cuál es el motivo de que el estándar para telefonía especifique ley-mu en lugar de cuantización uniforme?
- (2.5 puntos) Dibuje y explique el diagrama de bloques de un receptor superheterodino AM. ¿Cómo se elimina el canal imagen?

PROBLEMAS (10 PUNTOS)

- (5 puntos) Sea $x(t)$ una señal modulada en frecuencia (FM): $x(t) = A_c \cos\left(\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau\right)$, con una constante de modulación $k_f=2\pi \cdot 150$, y $m(t)$ una señal de información en banda base compuesta de dos tonos puros: $m(t) = m_1(t) + m_2(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t) = \cos(2\pi 150 t) + 1,1 \cos(2\pi 1600 t)$

La señal modulada $x(t)$ se puede expresar usando un desarrollo en serie con coeficientes las funciones de Bessel, pudiendo expresarse como:

$$x(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} J_n(\beta_1) J_m(\beta_2) \cos(2\pi f_c t + 2\pi n f_1 t + 2\pi m f_2 t)$$

donde $\beta_i = \frac{\Delta f_i}{B_i} = \frac{k_f m_{p_i} / 2\pi}{B_i}$, siendo B_i el ancho de banda de la señal $m_i(t)$, $i=1,2$.

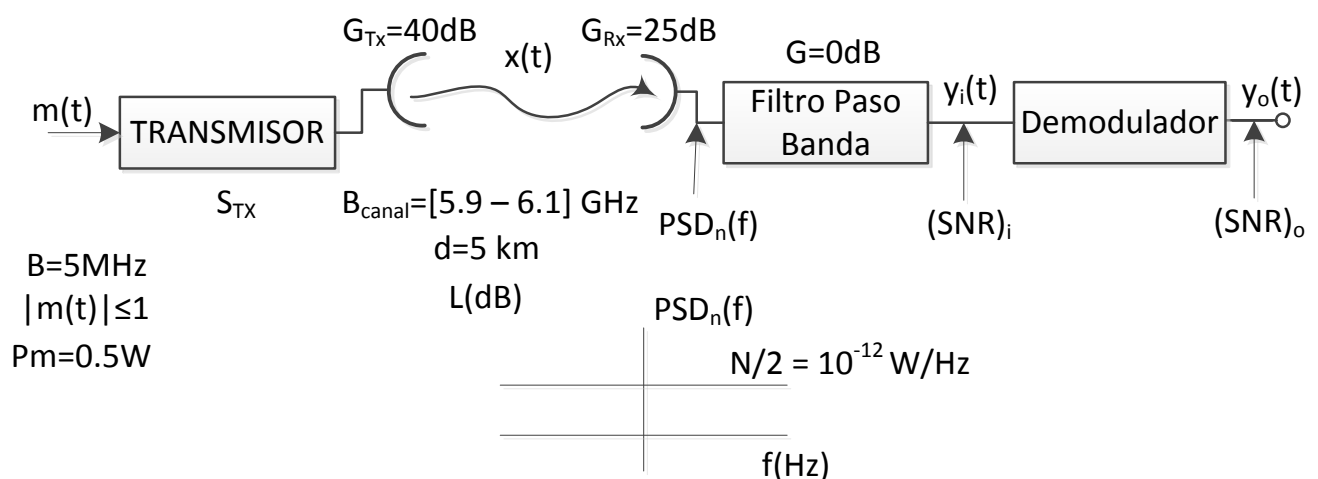
- a) (0.5p) Calcule β_1 y β_2 .
- b) (2 p) De acuerdo a la tabla siguiente, ¿cuál sería el ancho de banda de la señal $x(t)$?

Amplitudes de las funciones de Bessel.

$n \backslash \beta$	0,1	0,2	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10
0	0,9975	0,9900	0,9604	0,9385	0,7652	0,2239	-0,2601	-0,3971	-0,1776	-0,2459
1	0,0499	0,0995	0,1960	0,2423	0,4401	0,5767	0,3391	-0,0660	-0,3276	0,0435
2	0,0012	0,0050	0,0197	0,0306	0,1149	0,3528	0,4861	0,3641	0,0466	0,2546
3			0,0013	0,0026	0,0196	0,1289	0,3091	0,4302	0,3648	0,0584
4					0,0025	0,0340	0,1320	0,2811	0,3912	-0,2196
5						0,0070	0,0430	0,1321	0,2611	-0,2341
6						0,0012	0,0114	0,0491	0,1310	-0,0145
7							0,0025	0,0152	0,0534	0,2167
8								0,0040	0,0184	0,3179
9									0,0055	0,2919
10										0,2075
11										0,1231
12										0,0634
13										0,0290
14										0,0120
15										0,0045

- c) (1p) Represente gráficamente el espectro de $x(t)$.
- d) (0.5p) Si $A_c=10$ V, ¿cuál es la potencia de $x(t)$?
- e) (1p) Si la señal $x(t)$ pasa por un filtro paso-banda con ancho de banda de 2600 Hz centrado a la frecuencia portadora, ¿cuál será la potencia y el ancho de banda de la señal $x(t)$ filtrada?

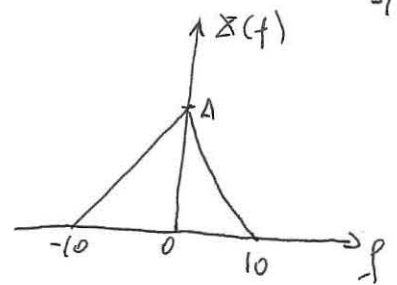
2. (5 puntos) Se desea diseñar un sistema de comunicaciones en la banda de microondas terrestres. La figura adjunta muestra el diagrama de bloques del sistema de comunicaciones. El mensaje está normalizado en amplitud ($m_p=1$), tiene media 0, potencia 0.5 W y tienen un ancho de banda de 5 MHz. La distancia máxima entre transmisor y receptor es de 5 km. Se ha decidido utilizar una frecuencia de portadora de 6 GHz, con un ancho disponible de canal de [5.9 – 6.1] GHz. El canal introduce una atenuación en espacio libre de L (dB). Suponga que el sistema está afectado por ruido blanco, cuya densidad de potencia espectral, $S_n(f)$, justo a la entrada del filtro paso banda en el receptor, es de 10^{-12} W/Hz. Se va a realizar el estudio considerando 3 esquemas de modulación/demodulación: SSB (USB), AM ($\mu=0.8$) y FM ($\beta=2$). Nota: cuando corresponda, compruebe que está trabajando en zona no umbral.



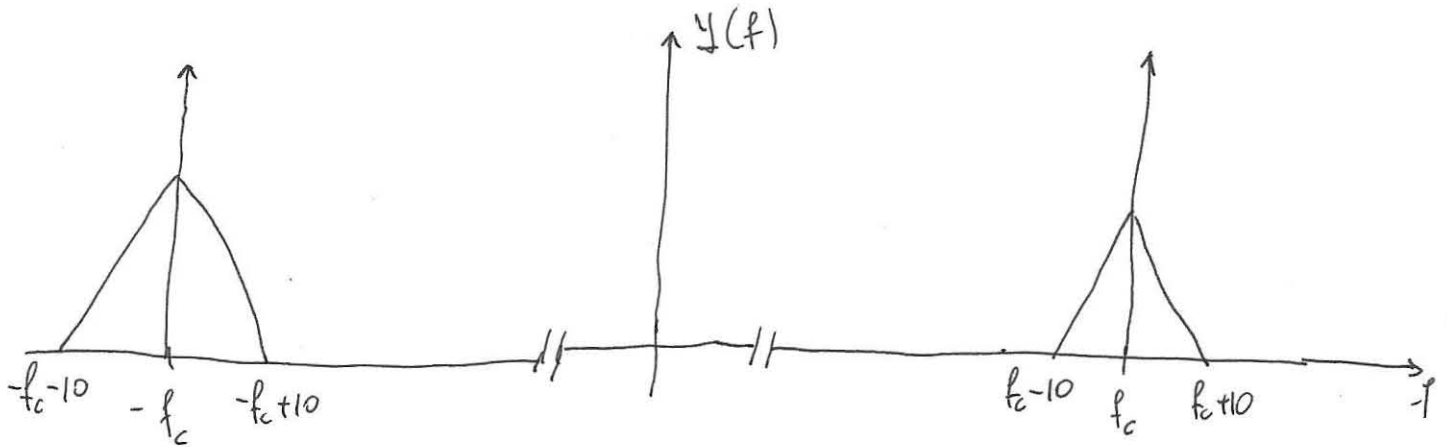
- a) (2.5p) Para cada una de las técnicas, indique el ancho de banda de canal utilizado y la potencia de transmisión necesaria, S_{TX} , para tener una SNR_o de al menos 40dB.
- b) (1p) Indique qué técnica de modulación/demodulación emplearía (SSB, AM o FM) en función de la S_{TX} . ¿Y en función del ancho de banda del canal ocupado?
- c) (1.5p) Si la S_{TX} no puede ser superior a 1KW, ¿qué técnica modificaría (SSB, AM o FM) para cumplir el requisito de que la SNR_o sea de al menos 40dB. Si es necesario modifique el ancho de banda de la señal modulada.

cuestion 1

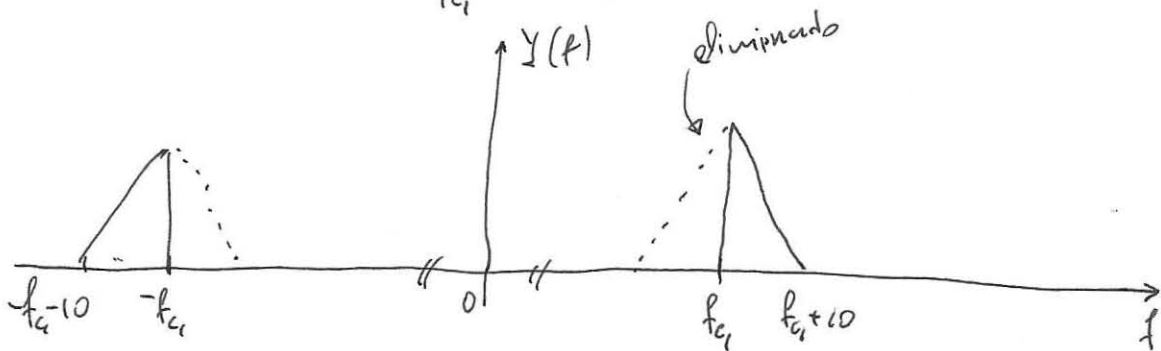
señal entrada $x(t)$, espectro $X(f)$



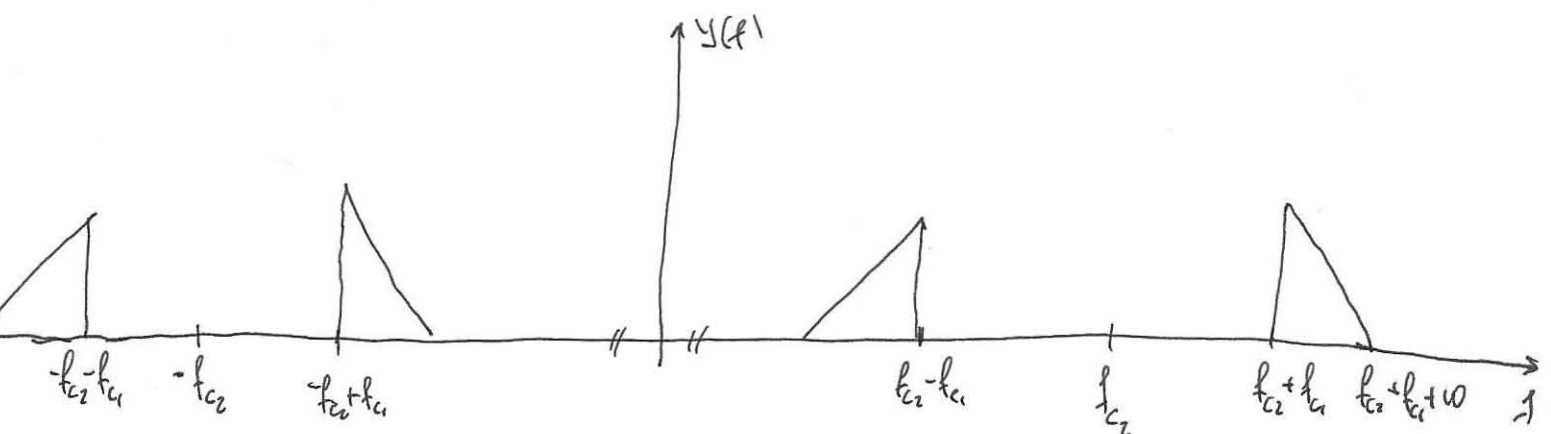
a) Modulación AM, $f_c = 10^5 \text{ Hz}$, salida $y(t)$



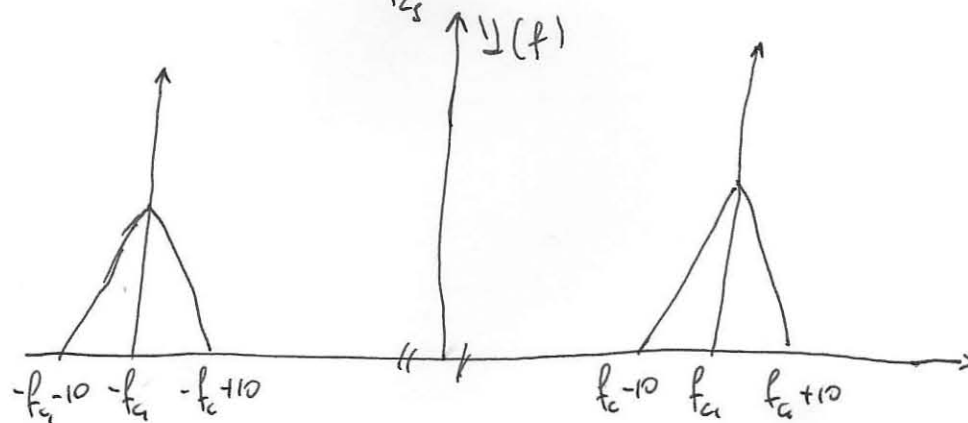
b) 1) Modulación SSB-VSB $f_c = 10^3 \text{ Hz}$



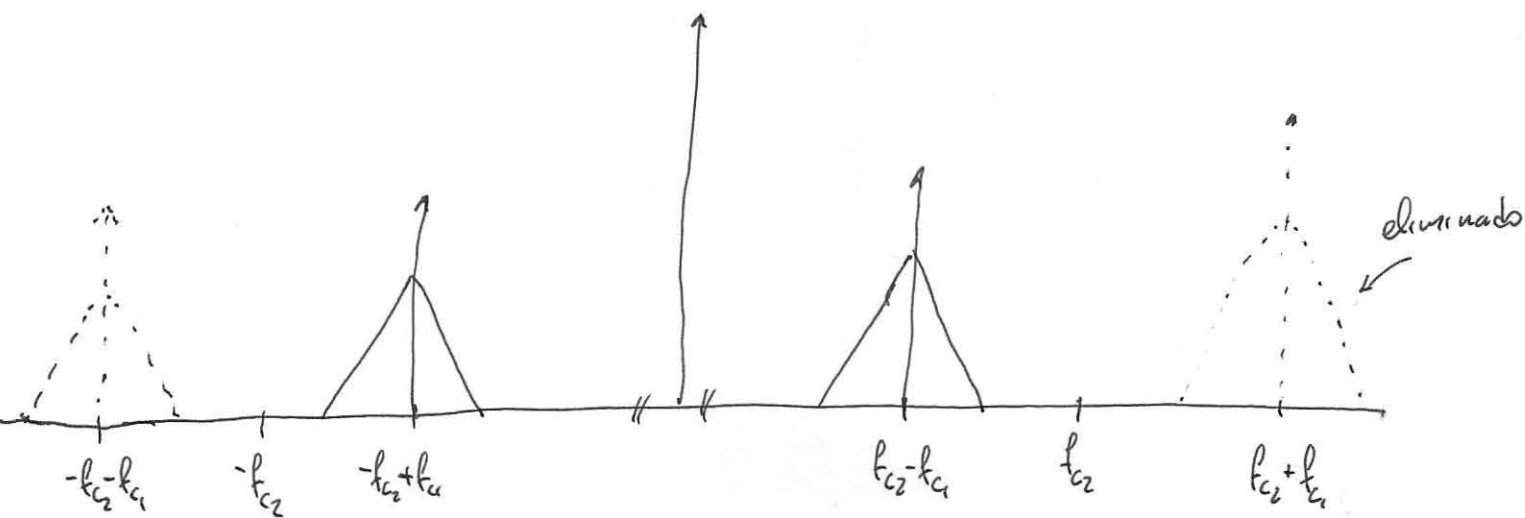
2) Segundo modulación DSB $f_{c2} = 10^5 \text{ Hz}$



c) 1) Modulación AM $f_{cs} = 10^3 \text{ Hz}$



2) segunda modulación SSB-LSB ($f_{cs} = 10^5 \text{ Hz}$)



①

FM

$$x_{FM}(t) = A_c \cos \left[\omega_c t + K_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right]$$

$$A_c = 10V ; K_f = 2\pi 150$$

$$m(t) = m_1(t) + m_2(t) = \cos(2\pi 150t) + 1,1 \cos(2\pi 1800t)$$

$$x_{FM}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} J_n(\beta_1) J_m(\beta_2) \cos$$

$$\beta_i = \frac{\Delta f_i}{B_i} = \frac{K_f m_{pi}/2\pi}{B_i} \quad i = 1, 2$$

a) Para el caso del problema, $m_i(t)$ tonos puros,
 $B_i = f_i ; i = 1, 2$ y de acuerdo a las expresiones

$$m_{p1} = 1V \quad y \quad m_{p2} = 1,1V$$

por tanto
$$\beta_1 = \frac{K_f m_{p1}/2\pi}{f_1} = \frac{150 \cdot 2\pi \cdot 1/2\pi}{150} = 1$$

$$\beta_2 = \frac{2\pi 150 \cdot 1,1/2\pi}{1800} = 0,091 \approx 0,1$$

b) De acuerdo a los valores de β_i y a la expresión de $x(t)$ en función de sumatorios y a la tabla de valores de las funciones $J_n(\beta_i)$, se observa que para

$\beta_1 = 1$ existen 5 valores de $J_n(\beta_1)$ distintos de cero
 $J_n(\beta_1) \neq 0$ para $n = 0, 1, 2, 3, 4$

y para $\beta_2 = 0,1$ existen 3 valores de $J_m(\beta_2)$ distintos de cero
 $J_m(\beta_2) \neq 0$ para $m = 0, 1, 2$

El espectro (ancho de banda) de $x(t)$ está centrado en f_c (wc) y tiene componentes desde

$$f_c - n f_1 - m f_2$$

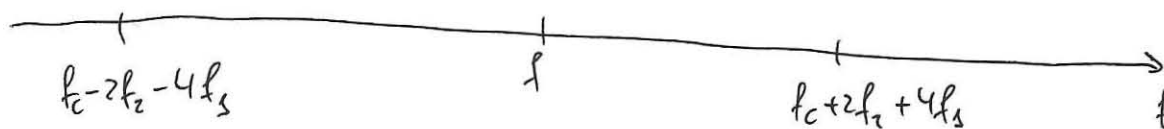
hasta

$$f_c + n f_1 + m f_2$$

utilizando los valores máximos de m y n

por tanto el ancho banda estaría en el siguiente intervalo de frecuencias

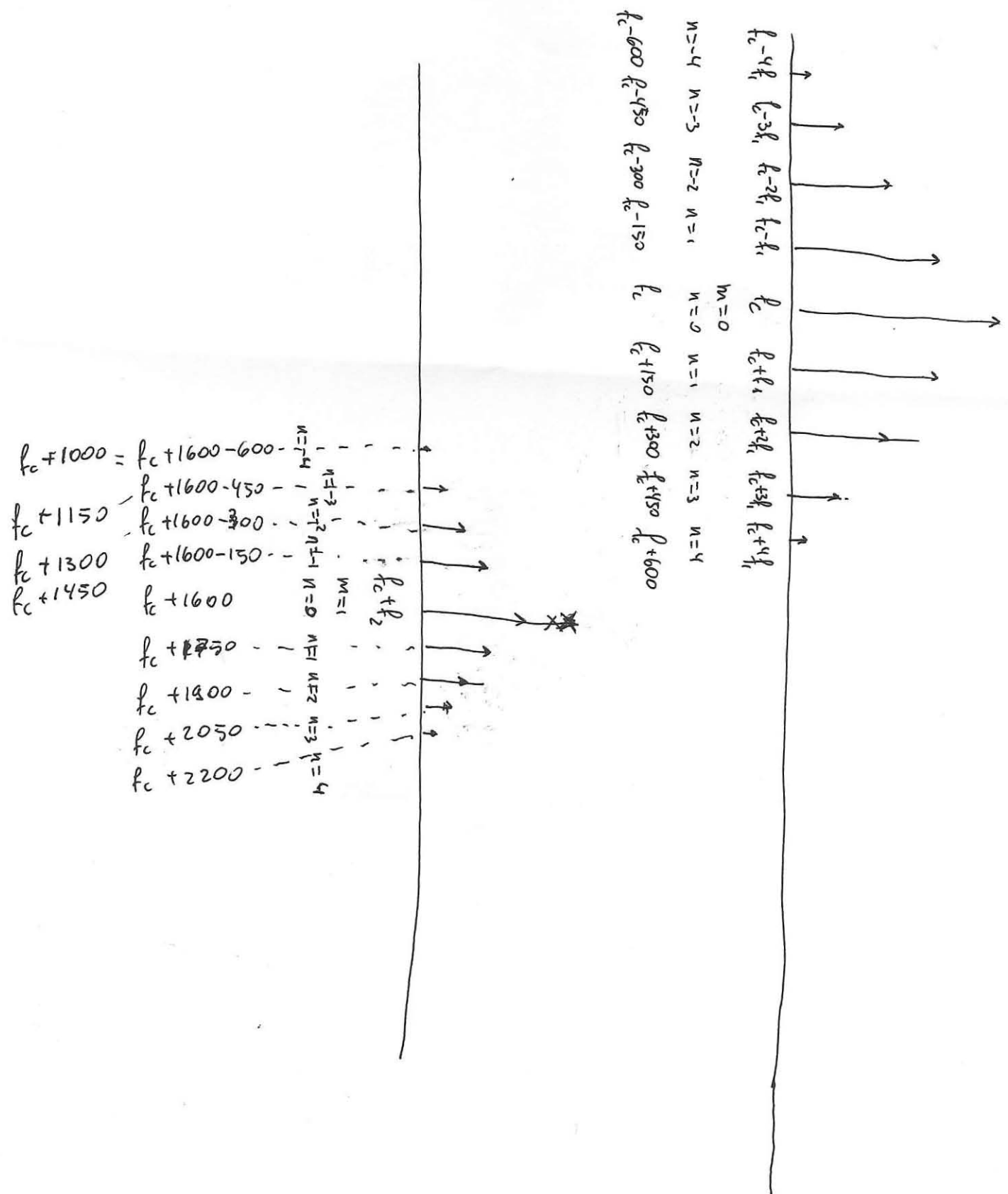
$$f_c - 2f_2 - 4f_1, \quad f_c + 2f_2 + 4f_1$$



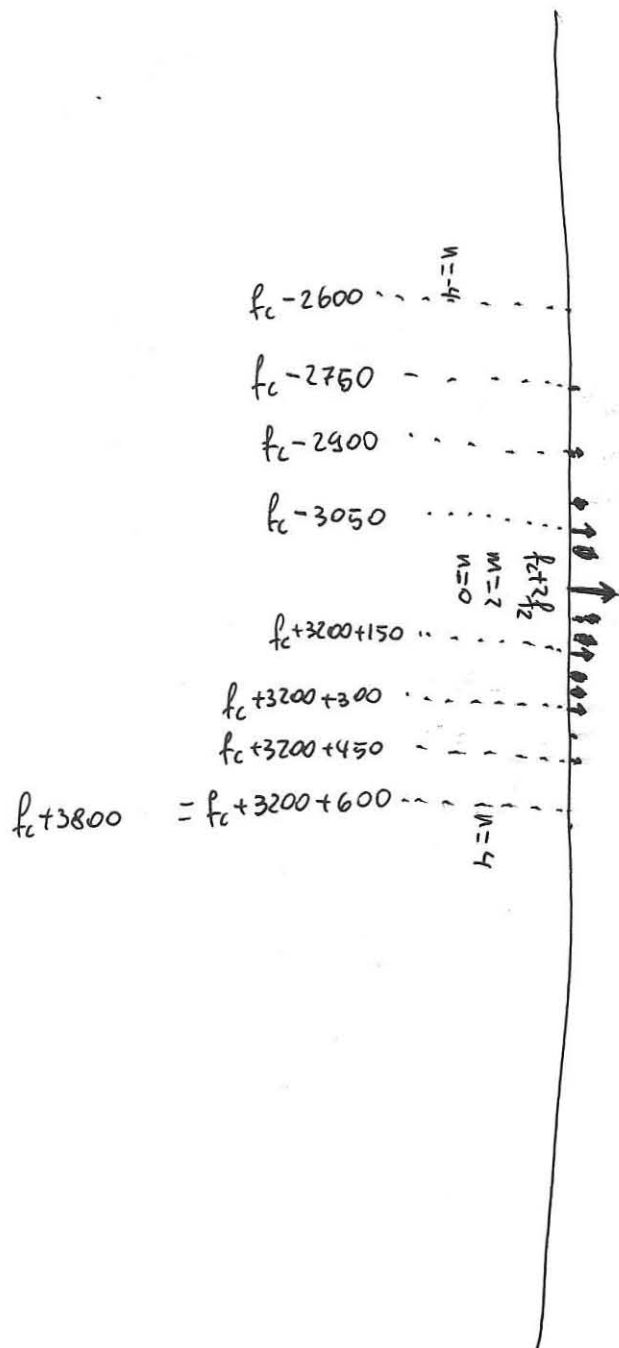
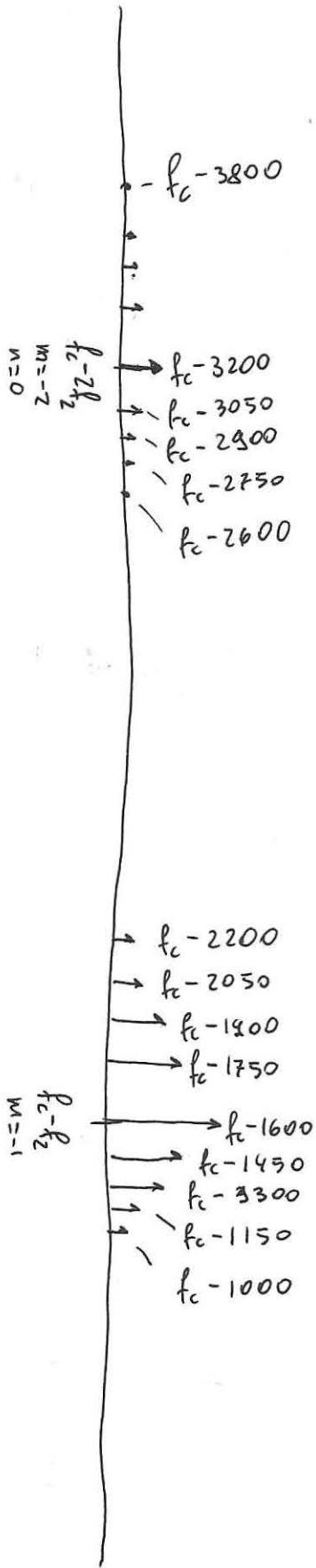
y el ancho de banda sería $B_{FM} = 2(2f_2 + 4f_1) = \cancel{2(2 \times 150 + 4 \times 150)} \quad \cancel{9400 \text{ Hz}}$

$$B_{FM} = 2 (2f_2 + 4f_3) = 2(2 \times 1600 + 4 \times 150) = 7600 \text{ Hz} = 7.6 \text{ KHz}$$

c) Espectro en valor absoluto (módulo) y frecuencias positivas



5 quedarían por representar los componentes para $m=-1$ y $m=-2$

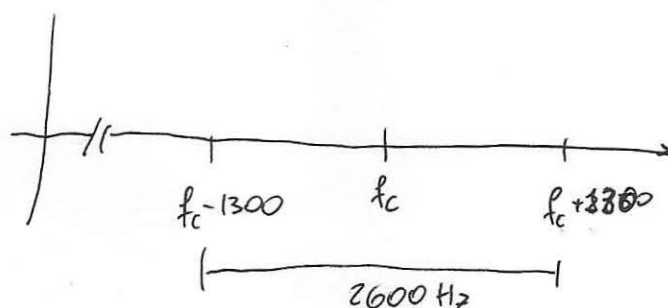


d) Si $A_c = 10 \text{ V}$

$$P_c = \frac{A_c^2}{2} = 50 \text{ W}$$

e) Si la señal modulada pasa por un filtro paso-banda centrado a f_c y con ancho de $2,6 \text{ KHz}$ dejará pasar aquellas componentes comprendidas entre

$$f_c - 1300 \text{ Hz} \quad \text{y} \quad f_c + 1300 \text{ Hz}$$



observando el espectro del apartado c) vemos que por encima de f_c el filtro dejaría pasar hasta la componente

$$f_c + 1300 \quad \text{que ocurre para } m=1 \text{ y } n=-2$$

Por debajo de f_c dejaría pasar las componentes hasta

$$m=-1 \text{ y } n=2 \text{ ó } f_c - 1300 \text{ Hz}$$

Por tanto el ancho de banda de $x_{\text{filtrada}}(t)$ sería

$$2600 \text{ Hz}$$

La señal filtrada tendría como expresión

6/6

$$\begin{aligned}
 x_{\text{filtrada}}(t) = x_f(t) = & \sum_{n=-4}^4 J_n(\beta_1) J_0(\beta_2) \cos(2\pi f_c t + 2\pi n f_s t) \\
 & + \sum_{n=-4}^{-2} J_n(\beta_1) J_3(\beta_2) \cos(2\pi f_c t + 2\pi f_2 t + 2\pi n f_s t) \\
 & + \sum_{n=2}^4 J_n(\beta_1) J_{-3}(\beta_2) \cos(2\pi f_c t - 2\pi f_2 t + 2\pi n f_s t)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{x_f} = & \frac{A_c^2}{2} J_0^2(0,1) J_0^2(1) + 2 \frac{A_c^2}{2} \sum_{n=1}^4 J_n^2(\beta_1) J_0^2(0,1) + \\
 & + 2 \frac{A_c^2}{2} J_3^2(0,1) \sum_{n=2}^4 J_n^2(1) =
 \end{aligned}$$

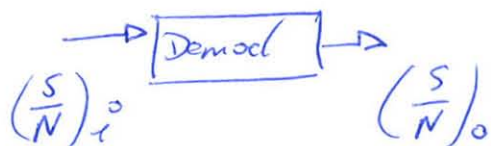
$$\begin{aligned}
 = & \frac{10^2}{2} \left[0,5826 + 2 \times (0,9975)^2 \left(0,19369 + 0,01320 + 0,00038 + 6,8 \cdot 10^{-6} \right) + \right. \\
 & \left. + 2 \times (0,0499)^2 \left(0,0132 + 0,00038 + 6,8 \cdot 10^{-6} \right) \right] =
 \end{aligned}$$

$$= 50 \left[0,5826 + 0,4125 + 6,77 \times 10^{-5} \right] = 50 \times 0,9952 =$$

$$= 49,76 \text{ W}$$

o sea contiene el 99,52% de la
señal sin filtrar

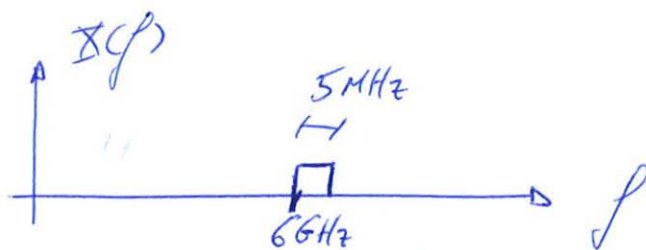
2.



La atenuación máxima del canal será:

$$L(\text{dB}) = 32'44 + 20 \log_{10} 5 + 20 \log_{10} 6100 = 122'126 \text{ dB}$$

a)

SSB
(USB)

Ancho banda canal utilizado: 5 MHz

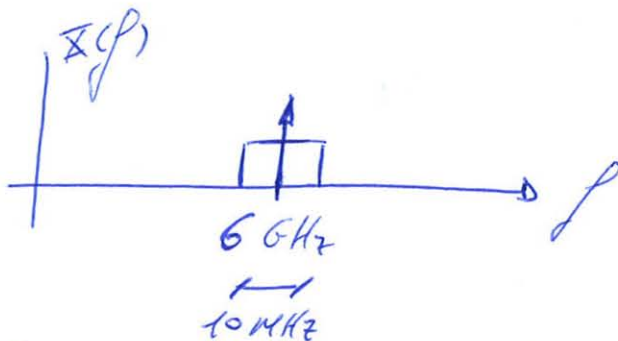
$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \gamma = \frac{S_i}{NB} = 10^4; \quad S_i = 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^6 = 1 \text{ W} = 0'4 \text{ W} \quad (-10 \text{ dBW})$$

20 dBm

$$S_i^o = S_{TX} + G_{TX} - L + G_{RX} + G_{\text{filtro}}$$

$$S_{TX} = -10 \text{ dBW} - 40 \text{ dB} + 122'126 \text{ dB} - 25 \text{ dB} - 0 \text{ dB} = \underline{47'126 \text{ dBW}}$$

AM



Ancho de banda
canal utilizado: 10 MHz

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{\mu^2 P_m}{1 + \mu^2 P_m} \gamma = 10^4; \quad \gamma = 10^4 \left(\frac{1 + 0'8^2 \cdot 0'5}{0'8^2 \cdot 0'5} \right) = \frac{S_i}{NB};$$

$$S_i = 2 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 10^4 \left(\frac{1 + 0'8^2 \cdot 0'5}{0'8^2 \cdot 0'5} \right) = 0'4125 \text{ W} \quad (-3'858 \text{ dBW})$$

$$S_{TX} = S_i + 57'126 \text{ dB} = \underline{53'2802 \text{ dBW}}$$

$$\gamma_{th} = 10$$

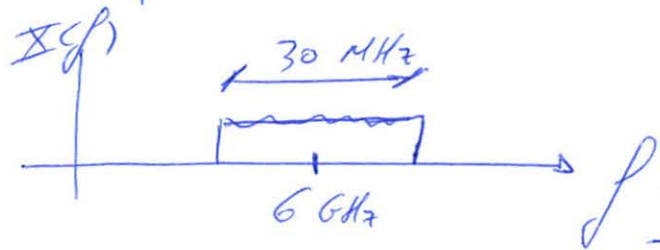
$$\gamma = 4'125 \cdot 10^4 \gg \gamma_{th}$$

Zona no umbral

FM

$\beta = 2$. Usando regla de Carson:

$$B_{\text{canal}} = 2B(\beta + 1) = 2 \cdot 5 \cdot 10^6 (2 + 1) = 30 \text{ MHz}$$



$$\gamma = 10^4 / 6$$

$$\gamma_{th} = 20(\beta + 1) = 60$$

$\gamma \gg \gamma_{th} \rightarrow$ Zona no umbral

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = 3\beta^2 \cdot \frac{m^2(t)}{m_p^2} \cdot \gamma = 10^4; \quad \gamma = 10^4 / 6 = \frac{S_i}{NB}$$

$$S_i = 2 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 10^4 / 6 = \frac{0.1}{6} \text{ W} \quad (-17.7815 \text{ dBW})$$

$$S_{TX} = S_i + 57.126 \text{ dB} = \underline{39.3445 \text{ dBW}}$$

b) SSB la que menor ancho de banda ocupa
FM la técnica con menor potencia de transmisión (mayor BW)

...

c) Ahora la $S_{TX} = 1 \text{ kW}$ (30 dBW)

Sólo podemos tocar FM. Cambiando el ancho de banda (β)

El valor max de β para ajustarnos al canal sería:

$$B_{\text{canal}} = 200 \text{ MHz} = 2B(\beta + 1) \rightarrow \beta_{\text{max}} = 19 \quad (\beta \text{ menor que este valor para ajustarnos al canal disponible})$$

$$S_{TX} = 30 \text{ dBW} \rightarrow S_i = S_{TX} - 57.126 = -27.126 \text{ dBW}$$

$$\gamma = \frac{S_i}{NB} = \frac{10^{-27.126/10}}{2 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^6} = \underline{193.8206};$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = 3\beta^2 \cdot \frac{m^2(t)}{m_p^2} \cdot \gamma = 10^4 \rightarrow \underline{\beta = 5.8648} (< 19)$$

$$\gamma_{th} = 20(\beta + 1) = \underline{137.2963} \quad \underline{\gamma > \gamma_{th}} \quad (\text{Zona no umbral})$$