

6 de septiembre de 2013

Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación

Nombre: _____

Instrucciones para la realización del examen:

RESOLUCIÓN

- 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
- Los alumnos repetidores no tienen que realizar la "cuestión sobre las prácticas en el laboratorio"
- Empezar la "cuestión sobre las prácticas", las "cuestiones teóricas" y cada uno de los "problemas" en un folio en blanco
- La calificación de la "cuestión sobre las prácticas" representa 0.5 puntos de la calificación global.
- La calificación de las "cuestiones teóricas" más los "problemas" representan 6.5 puntos de la calificación global.

Duración: 2 horas y media

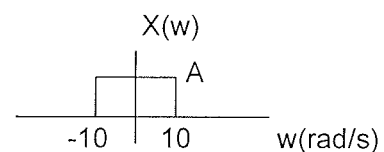
CUESTION SOBRE LAS PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO

1. Especificar el procedimiento a seguir para realizar el diagrama de bode del sistema de comunicaciones en modulación AM, considerando desde la entrada al módulo emisor hasta la salida del módulo receptor. Especificar el máximo de detalles.

CUESTIONES TEÓRICAS (4 PUNTOS)

1. (1 punto) 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- μ ($\mu=255$). Siendo claramente mejor el caso uniforme, ¿cuál es el motivo de que el estándar para telefonía establezca la Ley- μ en lugar de cuantización uniforme?
2. (1 punto) 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:
 - a. Modulador DSB-SC ($\omega_c=10^5$ rad/s)
 - b. Modulador SSB-USB ($\omega_c=10^3$ rad/s) y a continuación un Modulador AM ($\omega_c=10^5$ rad/s)
 - c. Modulador AM ($\omega_c=10^3$ rad/s) y a continuación un Modulador SSB-USB ($\omega_c=10^5$ rad/s)

Nota: considere $X(\omega)$ según la siguiente figura:



3. (1 punto) Especifique en qué consiste la distorsión lineal de un canal de comunicaciones. ¿Qué efectos produce sobre la señal que se transmite?
4. (1 punto) Ventajas y desventajas de la modulación delta

PROBLEMAS (6 PUNTOS)

1. (4 puntos) Se desea diseñar un sistema de comunicaciones en la banda de microondas terrestres con la configuración 1 transmisor – 5 receptores. La figura adjunta muestra el diagrama de bloques del sistema de comunicaciones, y en detalle, el diagrama del receptor. El objetivo es transmitir simultáneamente los 5 mensajes diferentes ($m_1(t), \dots, m_5(t)$) a cada uno de los receptores. Los mensajes están normalizados en amplitud, tienen media 0, potencia 0.5 W y tienen un ancho de banda, cada uno, de 5 MHz. La distancia máxima entre transmisor y receptor es de 5 km. Se ha decidido utilizar la banda de microondas de [5725-5850] MHz. La normativa establece para el uso de esta banda que la PIRE debe ser inferior a 4W. El canal introduce una atenuación (pathloss) 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^{-22} W/Hz. Se va a realizar el estudio considerando 3 esquemas de modulación/demodulación: SSB, AM y FM.

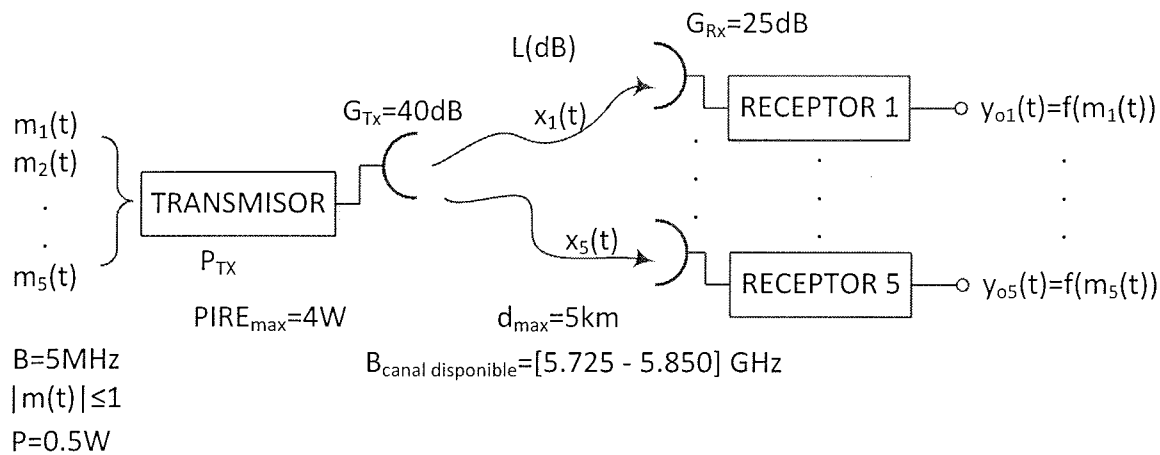
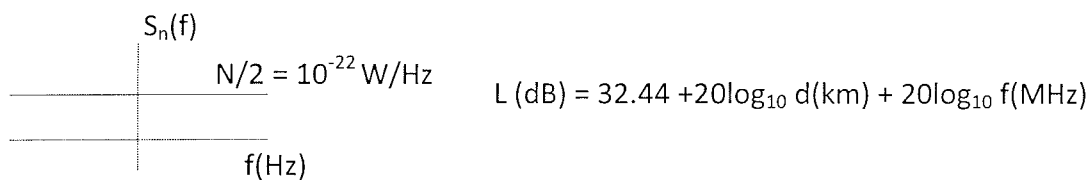
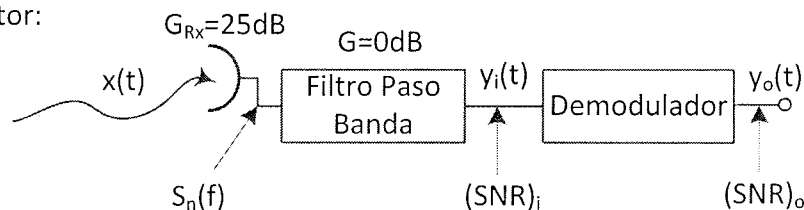


Diagrama receptor:



Señales de entrada y salida para cada uno de los esquemas de demodulación:

SSB	AM	FM
$y_i(t) = m(t)\cos w_c t + \hat{m}(t)\sin w_c t + n_i(t)$ $y_o(t) = m(t) + n_o(t)$	$y_i(t) = A[1 + \mu m(t)]\cos w_c(t) + n_i(t)$ $y_o(t) = A\mu m(t) + n_o(t)$ $\mu=0.8$	$y_i(t) = A\cos \left[w_c t + k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right] + n_i(t)$ $y_o(t) = k_f m(t) + n_o(t)$

- a) ¿Qué técnica de acceso al medio emplearía para transmitir simultáneamente los 5 mensajes? (0.25 puntos)
- b) Para cada una de las técnicas de modulación/demodulación (SSB, AM y FM), indique cómo distribuiría el ancho de banda de las señales moduladas en el ancho de banda del canal de transmisión para tener la menor atenuación posible. ¿Cuál es la frecuencia de las 5 portadoras en cada esquema de transmisión (SSB, AM y FM)? Considere una separación mínima entre canales (señales moduladas) de 0.5 MHz. Nota: para el caso de la modulación FM, intente ocupar todo el ancho de banda disponible (el primer canal empieza en 5725 MHz y el último canal termina en 5850 MHz). (1.5 puntos)
- c) Sabiendo que la PIRE, para transmitir los 5 mensajes simultáneamente, debe ser inferior a 4W,
 - c.1. ¿Cuál es la potencia máxima que el transmisor puede radiar (P_{TX})?, ¿cuál es la PIRE máxima para cada enlace (para la comunicación entre 1 Transmisor y 1 Receptor)? (0.5 puntos)
 - c.2. ¿Cuál es el canal (señal modulada) que presentará una relación señal/ruido de salida (SNR_o) menor? Calcule dicha relación señal/ruido de salida (SNR_o) para cada esquema de modulación/demodulación (SSB, AM y FM). (1.5 puntos)
- d) Indique qué técnica de modulación/demodulación emplearía (SSB, AM o FM) en función de la SNR_o . ¿Y en función del ancho de banda del canal ocupado? (0.25 puntos)

Nota: Cuando corresponda, compruebe que los sistemas estén funcionando en zona no umbral.

2. (2 puntos) Una señal paso banda viene dada por la siguiente expresión:

$$x(t) = \frac{1}{2} \cos[(\omega_c + \omega_1)t] + \frac{1}{2} \cos[(\omega_c - \omega_1)t] + \cos[(\omega_c + \omega_2)t] + \cos[(\omega_c - \omega_2)t] \\ + 2 \sin[(\omega_c + \omega_3)t] + 2 \sin[(\omega_c - \omega_3)t]$$

Obtenga la expresión canónica de esta señal, especifique sus componentes en fase y cuadratura y dé la expresión de su equivalente paso-baja. ¿Qué tipo de modulación representa la señal $x(t)$?

Nota: $\cos(a \pm b) = \cos(a)\cos(b) \mp \sin(a)\sin(b)$

$$\sin(a \pm b) = \sin(a)\cos(b) \pm \cos(a)\sin(b)$$

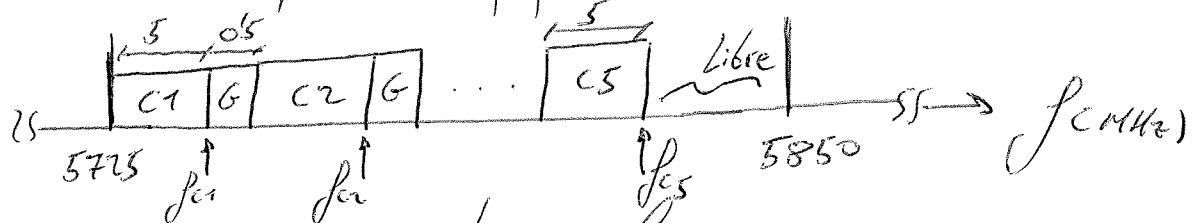
Resolución Problema 1

a) FDMA (Acceso al Medio por División en Frecuencia)

Explicar en qué consiste

b) Ocupamos las frecuencias más bajas del canal, ya que serán las menos afectadas por la atenuación $\rightarrow L = f(\text{frecuencia})$

SSB la señal que nos proporcionan es LSB



G: guarda, separación entre canales

$$B_{SSB} = 5 \text{ MHz}$$

$$f_{c1} = 5730 \text{ MHz}$$

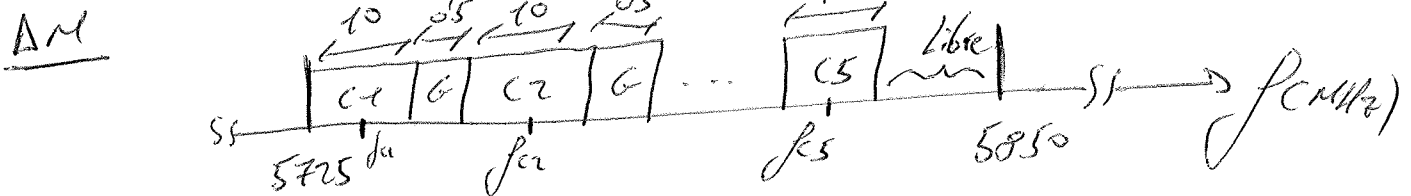
$$f_{c3} = 5741 \text{ MHz}$$

$$f_{c2} = 5735.5 \text{ MHz}$$

$$f_{c4} = 5746.5 \text{ MHz}$$

$$f_{ci} = 5730 + (i-1) * 5.5 \text{ (MHz)}; i = 1:5$$

$$f_{c5} = 5752 \text{ MHz}$$



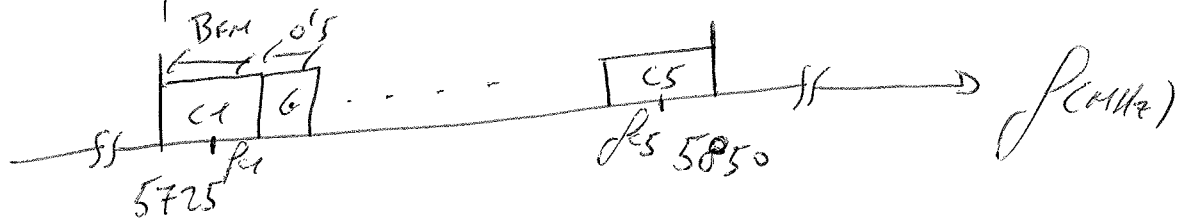
$$B_{AM} = 10 \text{ MHz}$$

$$f_{ci} = 5730 + (i-1) * 10.5 \text{ (MHz)}; i = 1:5$$

$$f_{c1} = 5730 \text{ MHz}; f_{c2} = 5740.5 \text{ MHz}; f_{c3} = 5751 \text{ MHz}$$

$$f_{c4} = 5761.5 \text{ MHz}; f_{c5} = 5772 \text{ MHz}$$

FM Ocupamos todo el ancho de banda del canal.



$$5850 - 5725 = 125 = 5 B_{FM} + 4 B_G = 5 B_{FM} + 4 \cdot 0.5;$$

$$B_{FM} = 24.6 \text{ MHz}; \quad f_{c1} = 5725 + \frac{24.6}{2} = 5737.3 \text{ MHz}$$

$$f_{ci} = 5737.3 + (i-1) \cdot 25.4 \text{ (MHz)}; \quad i = 1:5$$

$$f_{c1} = 5737.3 \text{ MHz}; \quad f_{c2} = 5762.4 \text{ MHz}; \quad f_{c3} = 5787.5 \text{ MHz}$$

$$f_{c4} = 5812.6 \text{ MHz}; \quad f_{c5} = 5837.7 \text{ MHz}$$

c) $PIRE_{TOTAL} \leq 4 \text{ W} \quad (6.02 \text{ dBW})$

c.1) PIRE: Potencia Isótropa Radiada Equivalente

$$PIRE \text{ (dBW)} = P_{TX} \text{ (dBW)} + G_{TX}^{ant} \text{ (dB)}$$

$$P_{TX} \text{ (dBW)} = 6.02 - 40 = \underline{-33.98 \text{ dBW}} \quad (4 \cdot 10^{-4} \text{ W}; 0.4 \text{ mW})$$

Tenemos 5 canales. Suponiendo que la densidad de potencia se distribuye equiprobablemente entre los 5 canales:

$$PIRE \text{ (por canal)} = \frac{PIRE \text{ (total)}}{5} = \underline{0.8 \text{ W}} \quad (-0.97 \text{ dBW})$$

C.2) El canal 5 tendrá menor valor de SNR_0 , ya que es el canal más afectado por la atenuación (mayor frecuencia). Como la frecuencia es muy alta, tendré valores muy elevados de atenuación.

Voy a calcular la atenuación para la frecuencia de la portadora del canal, f_{c5} . También podía haber cogido la frecuencia más alta del canal (caso peor).

$$L(\text{dB}) = \begin{cases} 32'44 + 20 \log_{10} 5 + 20 \log_{10} 5752 = 121'62 \text{ dB para SSB} \\ " + " + 20 \log_{10} 5772 = 121'65 \text{ dB para AM} \\ " + " + 20 \log_{10} 5837'7 = 121'74 \text{ dB para FM} \end{cases}$$

Voy a seguir trabajando con valores diferentes de atenuación por cada esquema de modulación, aunque en realidad son muy parecidos. Las expresiones de $y_i(t)$ e $y_o(t)$ son las vistas en clase.

$$\frac{SSB}{\left(\frac{S}{N}\right)_0} = \frac{\overline{m^2(t)}}{NB} = \frac{S_i}{NB} = \gamma$$

$$NB = 2 \cdot 10^{-22} \cdot 5 \cdot 10^6 = 10^{-15} \text{ W} \rightarrow -150 \text{ dBW}$$

$$S_i (\text{dBW}) = \text{PIRE}_{\text{canal}} (\text{dBW}) - L_{SSB} (\text{dB}) + G_{RX} (\text{dB}) =$$

$$= -0'97 \text{ dBW} - 121'62 \text{ dB} + 25 \text{ dB} = -97'59 \text{ dBW}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = \gamma = \frac{S_i}{NB} = -97'59 + 150 = \underline{\underline{52'41 \text{ dB}}}$$

$$\frac{AM}{(S/N)_0} = \frac{\mu \overline{m^2(t)}}{1 + \mu^2 \overline{m^2(t)}} \cdot \gamma$$

$$NB = -150 \text{ dBW}$$

$$S_i = -0'97 \text{ dBW} - 121'65 \text{ dB} + 25 = -97'62 \text{ dBW}$$

$$\gamma = \frac{S_i}{NB} = -97'62 + 150 = 52'38 \text{ dB} > \gamma_{th} = 10 \text{ dB}$$

(Fuera de zona umbral)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_0 = 10 \log_{10} \frac{0'8^2 \cdot 0'5}{1 + 0'8^2 \cdot 0'5} + \gamma \text{ (dB)} = \underline{46'23 \text{ dB}}$$

$$\frac{FM}{(S/N)_0} = 3\beta^2 \frac{\overline{m^2(t)}}{m_p^2} \cdot \gamma$$

$$B = 5 \text{ MHz}$$

$$B_{FM} = 24'6 \text{ MHz}$$

Aplicamos Regla de Carson:

$$B_{FM} = 2B(\beta + 1) \rightarrow \beta = 1'46$$

$$\gamma = \frac{S_i}{NB} ;$$

$$NB = -150 \text{ dBW}$$

$$S_i = -0'97 \text{ dBW} - 121'74 \text{ dB} + 25 \text{ dB} = -97'71 \text{ dBW}$$

$$\gamma = -97'71 + 150 = 52'29 \text{ dB}$$

$$\gamma_{th} = 20(\beta + 1) = 20(1'46 + 1) \rightarrow 16'92 \text{ dB}$$

$$= 20(\beta + 2) = 20(1'46 + 2) \rightarrow 18'40 \text{ dB}$$

Con las dos aproximaciones de γ_{th} , $\gamma > \gamma_{th}$
(Fuera de zona umbral)

FM (continuación)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = 3\rho^2 \left(\frac{\overline{m^2(t)}}{m_p^2}\right) \cdot \gamma = 3 \cdot (1.46)^2 \left(\frac{0.5}{1}\right) \cdot 10^{5.229}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \underline{57.34 \text{ dB}}$$

e) FM presenta la mejor SNR, pero ocupa mayor ancho de banda (todo el canal)

SSB ocupa el menor ancho de banda posible.

Resolución

Ejercicio 2

$$\begin{aligned}x(t) = & \frac{1}{2} \left[\cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) - \cancel{\sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t)} \right] + \\& \frac{1}{2} \left[\cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) + \cancel{\sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t)} \right] + \\& + \left[\cos(\omega_2 t) \cos(\omega_1 t) + \cancel{\sin(\omega_2 t) \sin(\omega_1 t)} \right] + \\& + \left[\cos(\omega_2 t) \cos(\omega_1 t) - \cancel{\sin(\omega_2 t) \sin(\omega_1 t)} \right] + \\& 2 \left[\cancel{\sin(\omega_1 t) \cos(\omega_3 t)} + \cos(\omega_1 t) \cancel{\sin(\omega_3 t)} \right] + \\& 2 \left[\cancel{\sin(\omega_1 t) \cos(\omega_3 t)} - \cos(\omega_1 t) \cancel{\sin(\omega_3 t)} \right] =\end{aligned}$$

$$x(t) = \cos(\omega_3 t) \cos(\omega_c t) + 2 \cos(\omega_2 t) \cos(\omega_c t) + 4 \cos(\omega_3 t) \sin(\omega_c t)$$

$$= [\cos(\omega_3 t) + 2 \cos(\omega_2 t)] \cos(\omega_c t) + 4 \cos(\omega_3 t) \sin(\omega_c t)$$

Que representa la ~~con~~ expresión canónica de $x(t)$

$$x(t) = x_s(t) \cos(\omega_c t) - x_a(t) \sin(\omega_c t)$$

Por tanto sus componentes en cuadratura son

$$x_s(t) = \cos(\omega_3 t) + 2 \cos(\omega_2 t)$$

$$x_a(t) = -4 \cos(\omega_3 t)$$

La equivalente paso baja de $x(t)$, $\tilde{x}(t) = x_s(t) + j x_a(t)$

$$\text{es } \tilde{x}(t) = [\cos(\omega_3 t) + 2 \cos(\omega_2 t)] - j 4 \cos(\omega_3 t)$$

$x(t)$ representa una modulación en cuadratura, QAM