

 	TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN Examen ordinario, enero de 2016	
---	---	---

Apellidos:

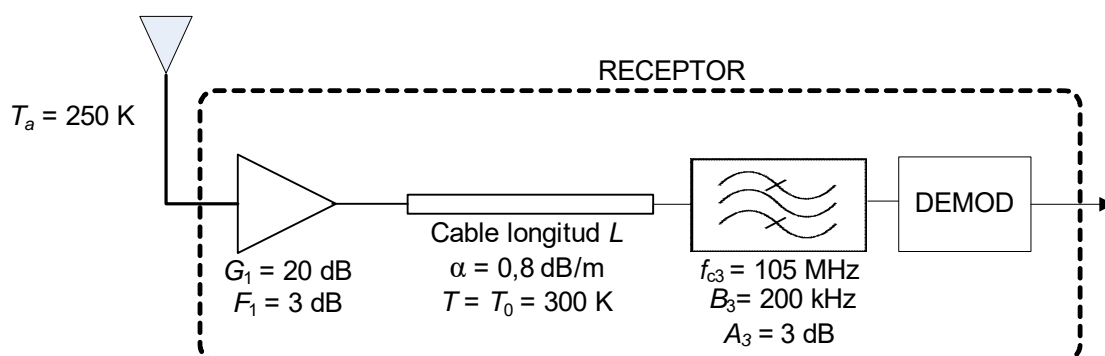
Nombre: DNI:

El examen de la primera parte de la asignatura consta de dos ejercicios (de valor 2,5 puntos cada uno) y un problema (de valor 5 puntos). Responder en hojas de examen, utilizando hojas distintas para cada ejercicio o problema. Numere las hojas.

Es obligatorio entregar el enunciado, como comprobación de asistencia.

EJERCICIO 1 (2,5 puntos). Se requiere una relación señal a ruido, S/N , de al menos 40 dB a la entrada del demodulador del receptor representado en la figura.

- La potencia recibida en la antena es -75 dBm.
- La temperatura de ruido captada por la antena es 250 K.
- El amplificador tiene 20 dB de ganancia y factor de ruido 3 dB.
- La atenuación específica del cable es 0,8 dB/m. Su longitud es L y su atenuación total a_2 .
- El filtro paso banda está centrado en 105 MHz y tiene un ancho de banda de 200 kHz; introduce una atenuación de 3 dB en la banda de paso.
- Todo el sistema se encuentra a temperatura física $T_0 = 300$ K y está adaptado a 50Ω .
- Constante de Boltzmann $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.



1) Determinar la expresión de la temperatura equivalente del receptor en función de la atenuación del cable, a_2 (atenuación en veces de potencia).

2) Calcular la longitud máxima del cable, L , para cumplir el requisito de calidad.

EJERCICIO 2 (2,5 puntos). Un sistema de comunicaciones digitales banda base se emplea para transmitir M canales vocales telefónicos multiplexados en el tiempo. Para ello se dispone de:

- M conversores analógico-digital de frecuencia de muestreo 12 kHz, cuantificación uniforme, 10 bits de resolución, fondo de escala o nivel de sobrecarga $x_{sc} = \pm 1$ V.
- Un multiplexor en el tiempo, que no añade ningún tipo de información de señalización o control. El multiplex TDM puede transmitir un régimen binario máximo de 1,44 Mbits/s.

Los canales vocales se caracterizan por un valor cuadrático medio, $\langle x^2(t) \rangle$, de $0,15 \text{ V}^2$, y una frecuencia máxima de 5 kHz.

1) Calcular la relación señal-ruido de cuantificación a la salida de cualquiera de los conversores analógico-digital.

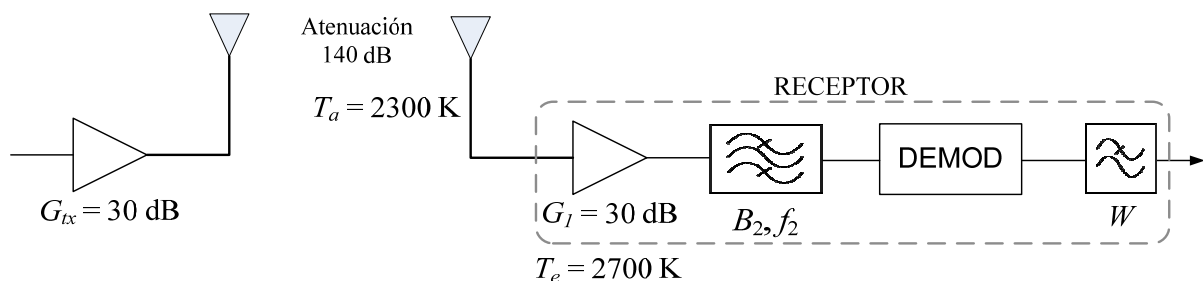
2) Determinar el número máximo de canales vocales, M , que pueden transmitirse con el codificador de línea.

PROBLEMA 1 (5 puntos). Deben evaluarse dos sistemas de comunicaciones analógicos que transmiten una misma señal moduladora, $x(t)$, de ancho de banda 20 kHz y valor cuadrático medio normalizado $\langle x_n^2(t) \rangle = 0,30$. En ambos casos se exige una calidad mínima, $(S/N)_s$, de 50 dB a la salida del receptor. La frecuencia de portadora es $f_c = 150$ MHz.

- El sistema 1 emplea modulación DBL.
- El sistema 2 emplea modulación FM con preénfasis/deénfasis. Desviación máxima de frecuencia: $\Delta f = 90$ kHz. Frecuencia de corte del filtro de preénfasis: 5 kHz.

Los bloques comunes a ambos sistemas se representan en la figura.

- La temperatura de ruido captada por la antena es 2300 K.
- La temperatura equivalente de ruido del receptor es 2700 K.
- El amplificador del receptor tiene 30 dB de ganancia.
- El filtro paso banda está centrado en f_2 y tiene un ancho de banda B_2 ; no introduce atenuación ni ruido en la banda de paso.
- El amplificador del transmisor tiene una ganancia, G_{tx} , de 30 dB.
- Todo el sistema está adaptado a 50Ω .



- 1) Para ambos sistemas, indique valores adecuados para el filtro paso banda (valor de la frecuencia central, f_2 , y el ancho de banda, B_2) y para el filtro post-detección (valor de la frecuencia máxima, W).
- 2) Para ambos sistemas, calcular la potencia mínima de señal (en dBm) que se requiere a la entrada del receptor para garantizar la calidad mínima exigida. Para FM compruebe que el sistema trabaja por encima del umbral.
- 3) Determinar la potencia mínima y la potencia equivalente de pico, PEP, que debe transmitirse en cada caso (tras el amplificador G_{tx}). En este apartado expresar todas las potencias en W.
- 4) Para el sistema que emplea modulación FM, suponga que el amplificador del transmisor está trabajando en el punto de compresión a 1 dB. Determinar la potencia a la entrada de dicho amplificador.

ENTREGAR ESTA HOJA AL FINALIZAR

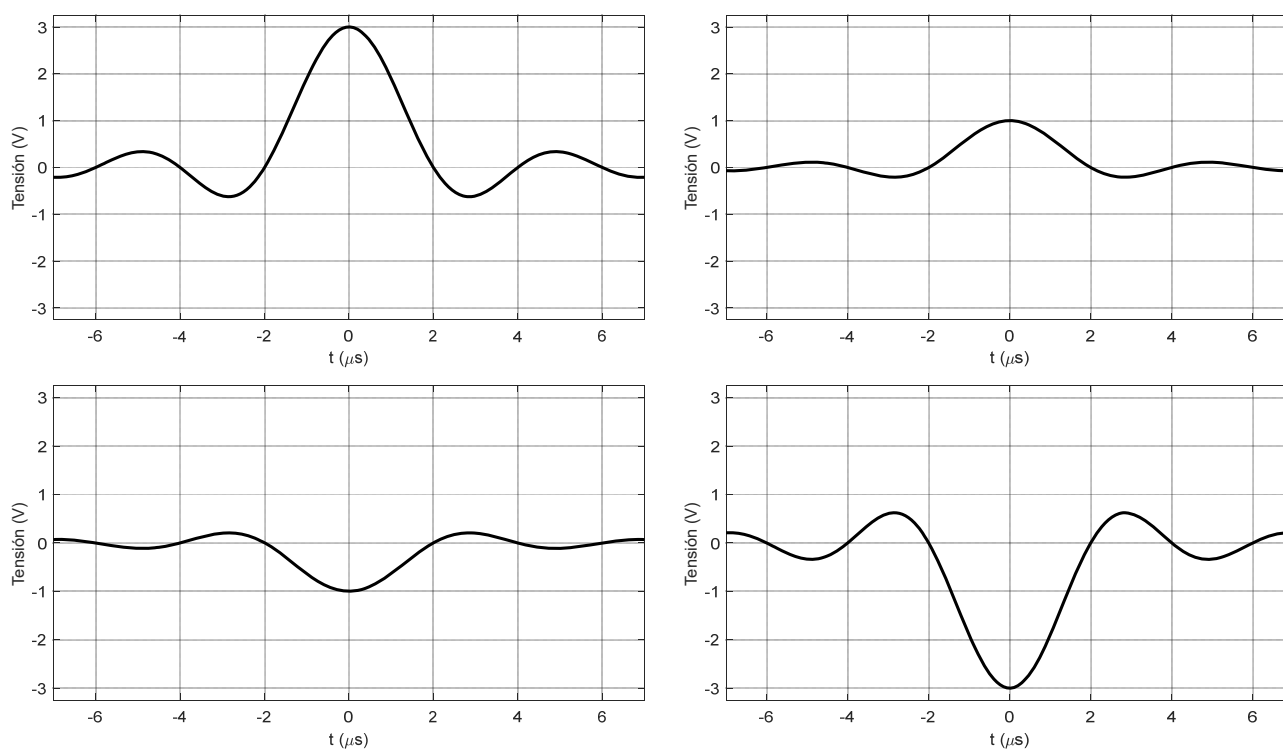
Apellidos:

Nombre: DNI:

El examen de la segunda parte de la asignatura consta de dos ejercicios (de valor 2,5 puntos cada uno) y un problema (de valor 5 puntos). Responder en hojas de examen, utilizando hojas distintas para cada ejercicio o problema. Numere las hojas.

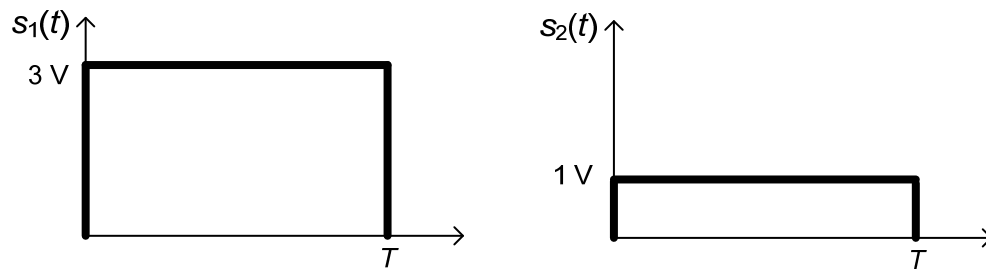
Es obligatorio entregar el enunciado, como comprobación de asistencia.

EJERCICIO 3 (2,5 puntos). En un sistema de transmisión banda base se emplean señales de tipo coseno alzado, con factor de roll-off $\alpha = 0,15$. Se representan en la figura las 4 señales utilizadas.



- 1) Determinar el máximo régimen binario que puede transmitirse.
- 2) Indicar el ancho de banda necesario en el canal de comunicación para que no se produzca interferencia entre símbolos (ISI).

EJERCICIO 4 (2,5 puntos). Para realizar una transmisión de datos en banda base se emplean las dos señales que se muestran en la figura. Ambas señales se transmiten con la misma probabilidad, siendo el régimen binario de 100 kbit/s. La línea de transmisión introduce una atenuación de 130 dB. El receptor se caracteriza por una temperatura de ruido total equivalente de 10000 K. Considerar $R = 1 \Omega$. Determinar la probabilidad de bit erróneo, P_b .



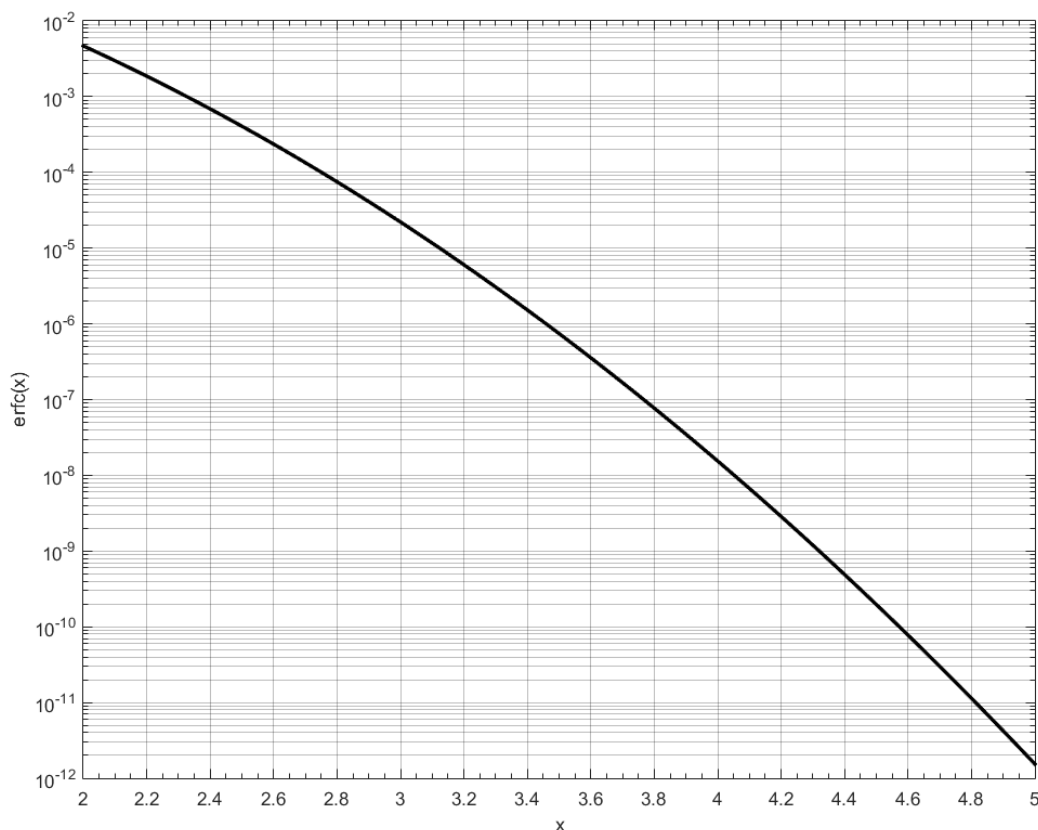
Nota. Se aconseja determinar la posición de las señales en una base ortonormal y calcular la distancia d entre ellas, todo ello en recepción; no es necesario determinar la expresión de dicha base. Después, utilizar las fórmulas del receptor binario óptimo, que se recuerdan a continuación. Se adjunta gráfica de función de error complementario.

- Probabilidad de error en receptor binario óptimo con símbolos equiprobables:

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{d}{\sigma_0 2\sqrt{2}} \right)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{N_0}{2}}$$

- Gráfica de función de error complementario:



PROBLEMA 2 (5 puntos). Se desea diseñar un sistema de modulación digital cuya constelación **en emisión**, normalizada en energía, se muestra en la Figura 1; todos los símbolos están situados en una circunferencia de radio $4 \cdot 10^{-5}$. El medio de transmisión tiene una atenuación de 60 dB. La frecuencia de la portadora es de 1 GHz y se quiere transmitir una señal digital de $R_b = 6$ Mbps. Considerar $R = 1 \Omega$.

1) Escriba la expresión en el dominio del tiempo $s_i(t)$ correspondiente a los dos primeros símbolos transmitidos, $s_1(t)$ y $s_2(t)$, suponiendo la secuencia de bits 000011. Debe expresarlo en modulo y fase, es decir,

$$s_i(t) = A_i \cos(\omega_c t + \phi_i)$$

por lo que deberá obtener los valores de A_i , ω_c y ϕ_i de ambos símbolos.

2) Calcule el número de ciclos de portadora que hay en cada símbolo.

3) Indique qué tipo de modulación (M-PAM, M-ASK, M-PSK, M-QAM...) se tiene en el punto A de la Figura 2 (no olvide el valor de M). Calcule el ancho de banda de la señal en el punto A si se ha empleado un coseno alzado, con $\alpha = 0,2$, en el modulador 4-PAM.

4) Se realiza un experimento transmitiendo un fichero de 10^6 bits, comprobándose que se han recibido 1000 bits erróneos. Calcule la densidad de potencia de ruido a la entrada del receptor, N_0 .

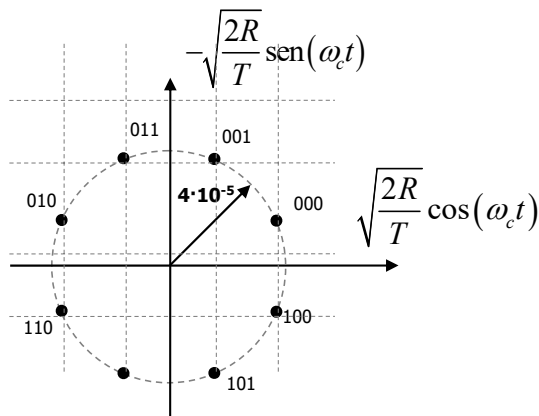


Figura 1. Constelación en emisión, normalizada en energía

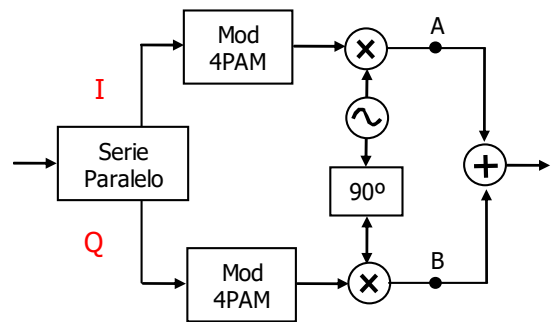


Figura 2. Diagrama de bloques del modulador

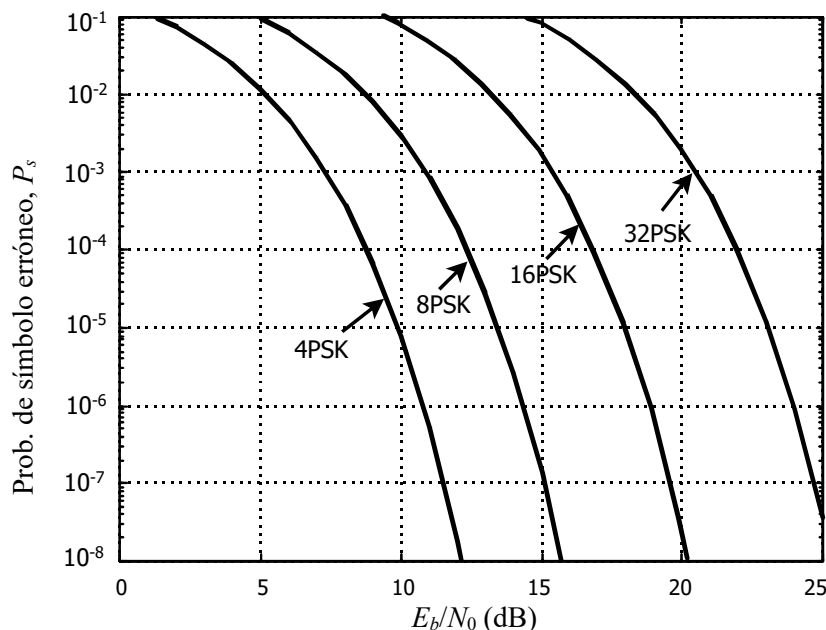


Figura 3. Probabilidad de error de símbolo para modulaciones PSK en función de E_b/N_0 (dB)

NO RESPONDER EN ESTA HOJA

ENTREGAR ESTA HOJA AL FINALIZAR

SOLUCIONES

Ejercicio 1

$$1) T_e = 297 + 6 \cdot a_2$$

$$T_{eT} = 547 + 6 \cdot a_2$$

$$2) N = S - 40 \text{ dB} = -115 \text{ dBm} (3,1522 \cdot 10^{-15} \text{ W})$$

$$N = k T_{eT} B \rightarrow T_{eT} = 1146 \rightarrow a_2 = 100 (A_2 = 20 \text{ dB})$$

$$A_2 = \alpha \cdot L = 20 \text{ dB} \rightarrow L = 25 \text{ m}$$

Ejercicio 2

$$1) \Delta = 2^{-9} \text{ V}$$

$$\frac{s}{n} = \frac{0,15}{\frac{\Delta^2}{12}} = 471859 \rightarrow 56,7 \text{ dB}$$

$$2) \text{ Régimen binario que aporta cada canal: } 12 \text{ kHz} \cdot 10 \text{ bits} = 120000 \text{ bits/s.}$$

$$\text{Luego } M = 12, \text{ ya que } 120000 \cdot 12 = 1,44 \cdot 10^6 \text{ bits/s.}$$

Problema 1

$$1) f_2 = 150 \text{ MHz en ambos casos.}$$

$$B_2 = 40 \text{ kHz para DBL.}$$

$$B_2 = 2 \cdot (\Delta f + W) = 220 \text{ kHz para FM, aplicando fórmula de Carson.}$$

$$2) \text{ DBL: } z = 10^5$$

$$p_{rx} = z \cdot N_0 \cdot W = 1,38 \cdot 10^{-10} \text{ W } (-68,6 \text{ dBm})$$

$$\text{FM: } M = \frac{1}{3(f_{corte}/W)} = 5,33$$

$$D = \Delta f / W = 4,5$$

$$\frac{s}{n} = 3 \cdot D^2 \cdot \langle x_n^2 \rangle \cdot z \cdot M = 10^5 \rightarrow z = 1028,8$$

$$z > z_u = 40(D+1) = 220$$

$$p_{rx} = z \cdot N_0 \cdot W = 1,42 \cdot 10^{-12} \text{ W } (-88,5 \text{ dBm})$$

$$3) \text{ DBL: } P_{tx} = -68,6 + 140 = 71,4 \text{ dBm } (13804 \text{ W})$$

$$PEP = \frac{P_{tx}}{\langle x_n^2 \rangle} = 46013 \text{ W}$$

$$\text{FM: } PEP = P_{tx} = -88,5 + 140 = 51,5 \text{ dBm } (141,2 \text{ W})$$

4) Al trabajar en el punto de compresión a 1 dB la ganancia es $30 - 1 = 29 \text{ dB}$. Luego la potencia a la entrada es $51,5 - 29 = 22,5 \text{ dBm}$

Ejercicio 3

1) El primer nulo está en 2 μ s, por lo que el periodo de símbolo, $T = 2 \mu$ s, $R_s = 1/T = 500$ Mbaudios, $R_b = 2 \cdot R_s = 1$ Mbit/s.

$$2) B = (R_s/2) \cdot (1 + \alpha) = 287,5 \text{ kHz.}$$

Ejercicio 4

Ambas señales están situadas en el eje positivo de una base ortonormal. Bastará con determinar las distancias al origen, es decir, raíz de energía, y restar ambos valores.

En transmisión: $E_{s_1} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

$$E_{s_2} = 10^{-5} \text{ J}$$

En recepción: $E_{s_1} = 9 \cdot 10^{-18} \text{ J} \rightarrow \sqrt{E_{s_1}} = 3 \cdot 10^{-9}$

$$E_{s_2} = 10^{-18} \text{ J} \rightarrow \sqrt{E_{s_2}} = 10^{-9}$$

$$d = \sqrt{E_{s_2}} - \sqrt{E_{s_1}} = 2 \cdot 10^{-9}$$

$$N_0 = k \cdot T_{eT} = 1,38 \cdot 10^{-19} \rightarrow \sigma_0 = 2,6268 \cdot 10^{-10}$$

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{2 \cdot 10^{-9}}{2\sqrt{2} \cdot 2,6268 \cdot 10^{-10}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(2,6919) \cong 7 \cdot 10^{-5}$$

Problema 2

1) Al tratarse de una PSK se mantiene la amplitud constante, variando la fase.

$$T = 3 \cdot T_b = \frac{3}{R_b} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

De la gráfica: $\sqrt{E_{sTX}} = 4 \cdot 10^{-5}$

$$\omega_c = 2\pi \cdot 10^9$$

Por tanto:

$$A_1 = A_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{5 \cdot 10^{-7}}} 4 \cdot 10^{-5} = 0,08 \text{ V}$$

$$s_1(t) = 0,08 \cos \left(2\pi \cdot 10^9 t + \frac{\pi}{8} \right)$$

$$s_2(t) = 0,08 \cos \left(2\pi \cdot 10^9 t + \frac{5\pi}{8} \right)$$

2) Realizando un sencillo cálculo a partir de la frecuencia de la portadora y el tiempo de símbolo:

$$\left. \begin{array}{l} 10^9 \text{ ciclos} \rightarrow 1 \text{ s} \\ x \text{ ciclos} \rightarrow T_s = 0,5 \mu\text{s} \end{array} \right\} 500 \text{ ciclos de portadora/símbolo}$$

3) En el punto A se tiene una señal PAM multiplicada por una portadora, por tanto se trata de una ASK. Como se aprecia en la constelación hay 4 niveles de amplitud (hay cuatro posibles valores de la componente en fase), luego se trata de una 4ASK.

El ancho de banda se determina como en cualquier otra modulación digital. Hay que tener en cuenta que el régimen simbólico de cada una de las ramas fase-cuadratura es igual que el régimen simbólico calculado anteriormente.

$$B = R_s (1 + \alpha) = 2 \cdot 10^6 (1 + 0,2) = 2,4 \text{ MHz}$$

4) A partir de la probabilidad de bit erróneo, se obtiene la probabilidad de símbolo erróneo:

$$P_b = \frac{1}{1000} = 10^{-3} \Rightarrow P_s \cong 3 \cdot P_b = 3 \cdot 10^{-3}$$

Consultando en la gráfica, se obtiene que $\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{dB}} = 10 \text{ dB}$

$$\text{Por tanto, } \frac{E_b}{N_0} = 10 \text{ veces} \Rightarrow N_0 = \frac{E_b}{10}$$

Para el cálculo del valor de E_b :

$$\sqrt{E_{sTX}} = 4 \cdot 10^{-5} \Rightarrow E_{sTX} = 1,6 \cdot 10^{-9}$$

Como el medio tiene una atenuación de 60dB:

$$A_t = 60 \text{ dB} \Rightarrow a_t = 10^6 \text{ veces}$$

$$E_{sRX} = \frac{E_{sTX}}{a_t} = \frac{1,6 \cdot 10^{-9}}{10^6} = 1,6 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

Por tanto:

$$E_b \cong \frac{E_{sRX}}{3} = \frac{1,6 \cdot 10^{-15}}{3} = 0,533 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

Luego:

$$N_0 = \frac{E_b}{10} = \frac{0,5333 \cdot 10^{-15}}{10} = 53,33 \cdot 10^{-18} \text{ W/Hz}$$