	TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN Examen ordinario, junio de 2017	TSC

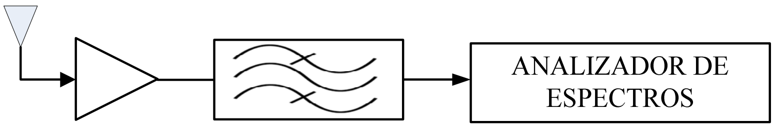
Apellidos: ....Nombre: ....

Responder en esta hoja. Si necesita espacio adicional, utilice una hoja de examen

PROBLEMA 1. Se ha caracterizado un amplificador en su **punto de compresión a 1 dB**, midiendo una potencia de salida 33,6 dBm cuando se introduce 14,6 dBm. Su figura de ruido es 13,81 dB.

1) Determinar ganancia del amplificador en la zona lineal. (20%)

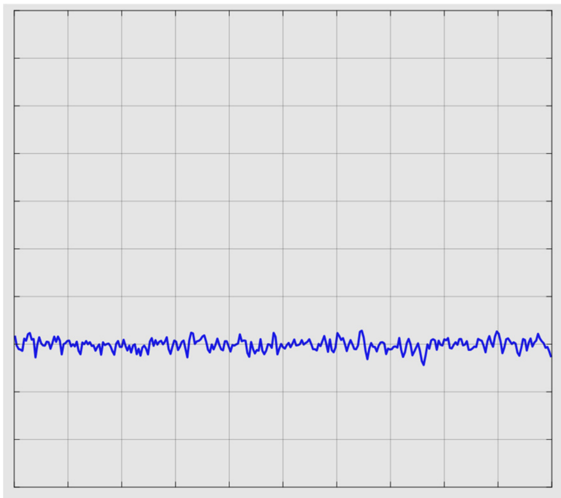
El amplificador forma parte del sistema que se muestra en la figura.



- La antena capta un ruido térmico de temperatura T_a = 300 K, así como un tono puro de amplitud 1 mV y frecuencia 800 kHz.
- El filtro paso banda es pasivo. Su atenuación es nula en la banda de paso (300-1500 kHz).
- El analizador de espectros tiene una figura de ruido de 10 dB.
- El sistema está a temperatura física T_0 = 300 K y adaptado a R = 50 Ω.
- Constante de Boltzmann, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

2) Determinar la densidad espectral de ruido que mide el analizador de espectros, comprobando que el amplificador está trabajando en zonal lineal. (40%)

3) Se adjunta pantalla del analizador de espectros, en la que ya se ha representado el ruido. Dibuje sobre la figura el tono que se visualizaría, con el nivel adecuado. Indique el ancho de banda de resolución, *RBW*, que se ha empleado. (40%)



Configuración del analizador de espectros:

Frecuencia central: 900 kHz

SPAN: 1 MHz.

Factor de escala vertical: 10 dB/división

Nivel de referencia: -20 dBm

Ancho de banda de resolución (*RBW*): a determinar

TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN

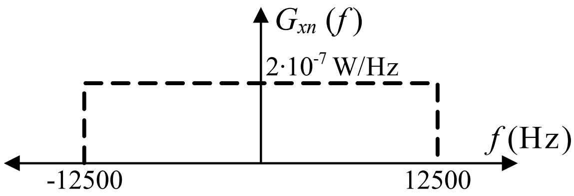
Examen ordinario, junio de 2017

Apellidos: ....Nombre: ....

Responder en esta hoja. Si necesita espacio adicional, utilice una hoja de examen

PROBLEMA 2. Un sistema radioeléctrico que emplea modulación FM se caracteriza por los siguientes parámetros:

- Señal moduladora. Normalizada en amplitud. Su densidad espectral de potencia se observa en la figura: es uniforme entre -12,5 y 12,5 kHz, con un valor de $2\cdot10^{-7}$ W/Hz.



- Transmisor. Desviación máxima de frecuencia, Δf, 150 kHz. Frecuencia de portadora, f_c, 200 MHz. Potencia equivalente de pico, *PEP,* 400 W. Mejora por preénfasis-deénfasis, M = 13 dB.
- Canal radioeléctrico con atenuación A [dB] = 59,2 + 20·log d [km] + 20·log f [MHz], siendo d la separación entre transmisor y receptor, y f la frecuencia portadora.
- Receptor. Factor de ruido 22 dB. El ruido disponible en la antena es despreciable.
- Sistema adaptado a 50 Ω.

Se requiere una **calidad final** a la salida del receptor, $(S/N)_S$, de **63 dB**.

1) Calcule el ancho de banda de la señal modulada. (15%)

2) Calcule la potencia de la señal moduladora (en W) y su valor cuadrático medio (en V^2). (20%)

3) Calcule la potencia mínima en recepción (en dBm) para alcanzar la calidad requerida. No olvide comprobar que el demodulador de FM trabaja por encima del umbral. (50%)

4) Determine la máxima separación entre transmisor y receptor, d [km]. (15%)

	TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN Examen ordinario, junio de 2017	TSC

Apellidos: .... Nombre: ....

Responder en esta hoja. Si necesita espacio adicional, utilice una hoja de examen

PROBLEMA 3. Un conversor analógico-digital con cuantificación uniforme se configura con un fondo de escala $x_{sc} = \pm 15$ V y frecuencia de muestreo $f_s = 12500$ Hz. Genera un régimen binario $R_b = 175$ kbit/s.

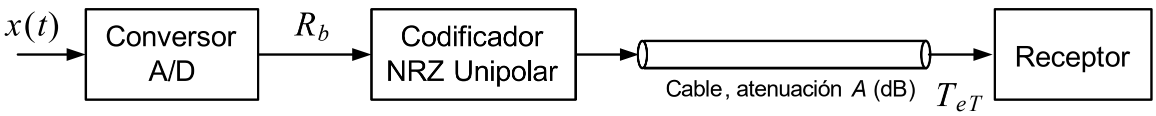
1) Calcular la relación señal-ruido de cuantificación (en dB) cuando se introduce la señal (30%):

$$x(t) = 7\cos(2\pi 3500t) - 3\,\mathrm{sen}(2\pi 3610t) \quad [\mathrm{V}]$$

2) Determinar el máximo valor que puede tomar el error de cuantificación, $q(x)$, para cualquier muestra resultante de la cuantificación de la señal $x(t)$. (10%)

3) El flujo binario generado por el conversor analógico-digital se transmite banda base utilizando un codificador de línea NRZ unipolar (pulsos rectangulares de 0 V y +3,5 V). La temperatura de ruido equivalente total a la entrada del receptor es $T_{eT} = 17390$ K. Se requiere una **probabilidad de bit erróneo inferior a $2\cdot 10^{-4}$**. Determinar:

- Mínima potencia recibida, P_r (dBm), para cumplir el criterio de calidad.
- Máxima atenuación del cable, A (dB). (60%)



Notas. Considerar $R = 1\ \Omega$ en todos los apartados. Puede contestar la pregunta 3 sin haber resuelto las anteriores.

TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN

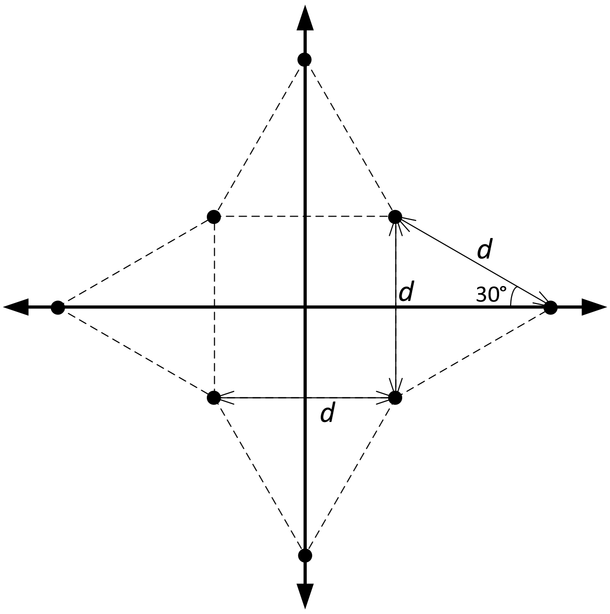
Examen ordinario, junio de 2017

TSC

Apellidos: ....Nombre: ....

Responder en esta hoja. Si necesita espacio adicional, utilice una hoja de examen

PROBLEMA 4. Se desea hacer *streaming* de vídeo de una señal satelital utilizando la constelación de la figura, con un régimen binario de 9 Mbps.



1) Calcule el régimen simbólico, así como el ancho de banda que ocupado, suponiendo filtrado por coseno alzado con factor de *roll-off* $\alpha = 0{,}5$. (10%)

2) Obtenga la energía media de símbolo en función de la distancia mínima entre símbolos, d. Debe deducir la expresión matemática a partir de la constelación. (15%)

3) Obtenga el valor numérico de la energía media de bit **en recepción** si se transmite una potencia media de 37 dBm y el medio atenúa 120 dB. (25%)

4) Calcule la probabilidad de error de bit, P_b, suponiendo que la temperatura de ruido a la entrada del receptor T_a es de 400 K y que la figura de ruido del receptor es 9 dB. Utilice la fórmula que se indica a continuación. (25%)

$$P_b \cong \frac{7}{4}\operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3}{2+\sqrt{3}}\frac{e_b}{n_0}}\right)$$

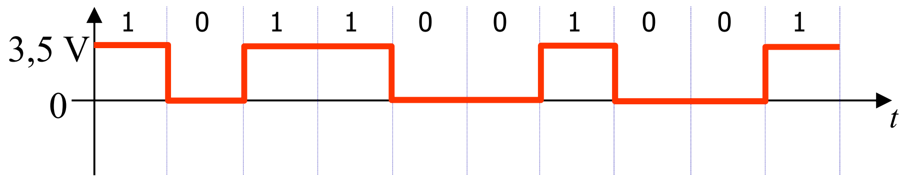
5) ¿Es posible codificar los símbolos de forma óptima (codificación de Gray)? En caso afirmativo, indique dicha codificación sobre cada símbolo y calcule la probabilidad de error de símbolo. (15%)

6) Dibuje las regiones de decisión que debería implementar un detector óptimo. (10%)

Nota. Puede contestar los apartados 3 a 6 sin haber resuelto los anteriores.

Gráficas y fórmulas para los problemas 3 y 4

Ejemplo de código de línea NRZ unipolar como el que se emplea en el problema 3:



Probabilidad de error de bit en NRZ unipolar:

$$P_b = \frac{1}{2}\operatorname{erfc}\left(\frac{d}{\sigma_0 2\sqrt{2}}\right) = \frac{1}{2}\operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{e_b}{2\,n_0}}\right)$$

Gráfica de función de error complementario:

Constante de Boltzmann $k = 1{,}38\cdot 10^{-23}$ J/K.

No responder en esta hoja. No entregar.

Problema 1

1) De la definición del punto de compresión: P_e (1dB) = P_{1dB} – (G_0-1)
   G_0 = P_{1dB} – P_e (1dB) + 1 = 33,6 – 14,6 + 1 = 20 dB

2) Se considera que el amplificador está en zona lineal si la $P_{señal}$ < P_e (1dB):

$$p_{señal} = \frac{A^2}{2R} = \frac{(1 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 50} = 10^{-8}\ \mathrm{W}$$
$$P_{señal}(\mathrm{dBm}) = 10 * \log(10^{-8} \cdot 10^{3}) = -50\ \mathrm{dBm} < 14{,}6\ \mathrm{dBm}$$

La densidad espectral de potencia a la entrada del analizador será: $n_0 = k \cdot T_e$, siendo T_e la temperatura equivalente a la entrada del analizador.

En el punto después de la antena se aplica la fórmula de Friis para obtener la temperatura equivalente de todo el sistema receptor:

$$T_{eq} = T_{amp} + \frac{T_{filtro}}{g_{amp}} + \frac{T_{ana}}{g_{amp} \cdot g_{filtro}}$$
$$T_{amp} = T_0\left(f_{amp} - 1\right) = 300\left(10^{\frac{13.81}{10}} - 1\right) = 6913\ \mathrm{K}$$

Como el filtro es un dispositivo pasivo de atenuación a = 1 (0 dB), $f_{filtro} = a$

$$T_{filtro} = T_0\left(f_{filtro} - 1\right) = 300\,(1 - 1) = 0\ \mathrm{K}$$
$$T_{ana} = T_0\,(f_{ana} - 1) = 300\left(10^{\frac{10}{10}} - 1\right) = 2700\ \mathrm{K}$$
$$g_{amp} = 10^{\frac{20}{10}} = 100$$
$$g_{filtro} = \frac{1}{a} = 1$$

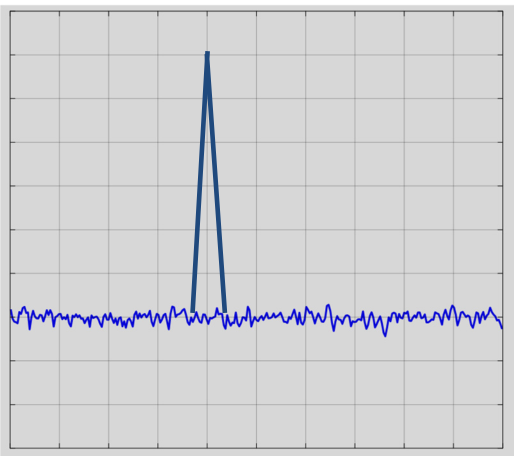
Por lo tanto: $T_{eq} = 6913 + \frac{0}{100} + \frac{2700}{100 \cdot 1} = 6940\ \mathrm{K}$

La temperatura después de la antena será la de la antena más la equivalente del todo sistema receptor. La temperatura a la entrada el analizador será:

$$T_e = \left(T_a + T_{eq}\right) \cdot g_{amp} \cdot g_{filtro} = (300 + 6940) \cdot 100 \cdot 1 = 724 \cdot 10^3$$
$$n_0 = k \cdot T_e = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 724 \cdot 10^3 \approx 10^{-17}\mathrm{W/Hz}$$

3) La potencia de ruido que se visualiza es aproximadamente -90 dBm.
   $n = 10^{\frac{-90}{10}} \cdot 10^{-3} = 10^{-12} W, n = n_0 \cdot RBW, RBW = \frac{10^{-12}}{10^{-17}} = 100\ \mathrm{kHz}$
   La potencia del tono puro recibido será de:

$$P_{tono} = P_{señal} + G_{amp} + G_{filtro} = -50 + 20 + 0 = -30\ \mathrm{dBm}$$



Problema 2

1) $W = 12{,}5$ kHz

$B = 2\cdot(\Delta f + W) = 325$ kHz

2) $p_x = \int_{-12500}^{12500} G_{xn}(f)\,df = 2\cdot 12500\cdot 2\cdot 10^{-7} = 5\cdot 10^{-3}\ \text{W}$

$\langle x_n^2 \rangle = p_x \cdot R = 0{,}25\ \text{V}^2$

3) $D = \Delta f / W = 12$

$\frac{s}{n} = 3\cdot D^2 \cdot \langle x_n^2 \rangle \cdot z \cdot M = 3\cdot 12^2 \cdot 0{,}25 \cdot z \cdot 20 = 2160 \cdot z$

Como $(s/n)_{\min} = 2\cdot 10^6\,(63\ \text{dB}) \rightarrow z = 926$

$z > z_u = 40(D+1) = 520$

$n_0 = k\cdot T_{eT} = k\cdot 300\cdot\left(10^{22/10}-1\right) = 6{,}52\cdot 10^{-19}\ \text{W/Hz}$

$p_r = n_0 \cdot z \cdot W = 7{,}55\cdot 10^{-12}\ \text{W}\ (\text{-81,2 dBm})$

4) $P_T = PEP = 400$ W (56 dBm)

$A = P_T - P_R = 56 - (-81{,}2) = 137{,}2$ dB

$A\,[\text{dB}] = 59{,}2 + 20\cdot\log d + 20\cdot\log 200 = 137{,}2 \rightarrow d = 40$ km

Problema 3

1) La potencia de la señal $x(t)$ es simplemente la suma de potencia de ambos tonos:

$$s = \frac{7^2}{2} + \frac{3^2}{2} = 29 \ \ \text{V}^2 \ \left[\text{W sobre } 1\ \Omega\right]$$

Número de bits, $n = \dfrac{R_b}{f_s} = \dfrac{175000}{12500} = 14$ bits

$$\Delta = \frac{2 \cdot 15}{2^n} = 1{,}831 \cdot 10^{-3} \ \ \text{V}$$

$$\left(\frac{s}{n}\right)_q = \frac{29}{\dfrac{\Delta^2}{12}} = 1{,}038 \cdot 10^{8} \rightarrow 80{,}2 \text{ dB}$$

Observaciones:

I. No es correcto aplicar la fórmula $\left(\dfrac{S}{N}\right)_q = 6{,}02 \cdot n + 1{,}76 - 20 \log\left(\dfrac{x_{sc}}{x_p}\right) \ \ [\text{dB}]$, que es válida únicamente para un tono, no para una suma de señales sinusoidales, como es el caso.

II. La siguiente fórmula, que fue excluida de las transparencias de la asignatura el curso 2013/14, sí puede utilizarse, pero hay que determinar adecuadamente el factor de cresta K_c, debiendo obtener previamente valor de pico y valor eficaz de la señal de entrada; en definitiva, innecesariamente complicado y con grandes probabilidades de equivocarse.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_q (\text{dB}) \approx \underbrace{6\,n}_{\text{A}} \underbrace{- 10 \log\left[\frac{K_c^2}{3}\right]}_{\text{B}} \underbrace{- 20 \log\left[\frac{x_{sc}}{x_p}\right]}_{\text{C}}$$

2) En la zona granular, el error de cuantificación máximo es:

$$\left|q(x)\right| \le \frac{\Delta}{2} = 9{,}16 \cdot 10^{-4} \ \ \text{V}$$

Está garantizado que la señal entra en la zona granular del cuantificador ya que su valor de pico (7+3 = 10 V) es inferior al rango de entrada de 15 V.

3) $n_0 = 2{,}4 \cdot 10^{-19}$ J

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{e_b}{2\,n_0}}\right) = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$\operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{e_b}{2\,n_0}}\right) = 4 \cdot 10^{-4} \xrightarrow{\text{gráfica erfc}} \sqrt{\frac{e_b}{2\,n_0}} = 2{,}5$$

$$e_b = 3 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$p_r = e_b \cdot R_b = 5{,}25 \cdot 10^{-13} \text{ W} \left(-92{,}8 \text{ dBm}\right)$$

$$p_t = \frac{1}{2}\left(3{,}5^2 + 0\right) = 6{,}125 \text{ W} \ \left(37{,}9 \text{ dBm}\right)$$

$$A = P_t - P_r = 37{,}9 - \left(-92{,}8\right) = 130{,}7 \text{ dB}$$

Problema 4

1) $k = log_2 8 = 3 \rightarrow R_s = \frac{R_b}{3} = 3 \text{ Mbaudios}$

$B = R_s(1+\alpha) = 3 \cdot 10^6(1+0{,}5) = 4{,}5 \text{ MHz}$

2) La energía media de uno de los cuatro "cuadrantes" es la energía media total. En cada cuadrante tenemos dos símbolos: uno de energía $d^2/2$ y otro de energía $\frac{d^2}{4}\left(1+\sqrt{3}\right)^2$,

Con lo que la energía media es:

$$e_s = \frac{1}{2}\left(\frac{d^2}{2} + \frac{d^2}{4}\left(1+\sqrt{3}\right)^2\right)$$

3)

$$P_T = P_T - A_T = 37 - 120 = -83 \text{ dBm} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

$$e_S^{RX} = P_R \cdot T = \frac{5 \cdot 10^{-12}}{3 \cdot 10^6} = 1{,}67 \cdot 10^{-18} J$$

$$e_b = \frac{e_s}{3} = 5{,}55 \cdot 10^{-19} J$$

4) $n_0 = k(T_a + T_e) = k(T_a + T_0(f-1)) = 3{,}42 \cdot 10^{-20} W/Hz$

$$P_b \approx \frac{7}{4}\text{erfc}\left(\sqrt{\frac{3}{2+\sqrt{3}}\frac{e_b}{n_0}}\right) = \frac{7}{4}\text{erfc}(3{,}61) \approx 5{,}45 \cdot 10^{-7}$$

5) No es posible implementar una codificación óptima porque tenemos 3 bits por símbolo y cada símbolo tiene 4 contiguos.

6) Las regiones de decisión son las que se muestran en la figura siguiente: