



SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACION

Examen Parcial. 1º parcial. 15/Marzo/2017

Apellidos: _____ Nombre: _____

SELECCIÓN MÚLTIPLE (2 Puntos)

Las respuestas correctas suman 0,4 puntos y las incorrectas restan 0,13 puntos. Solo una respuesta se va a considerar correcta. En el caso de que creas que hay dos respuestas posibles, elige la que responda de forma más precisa a la pregunta.

Contesta marcando la opción correcta en esta misma hoja. No te olvides de poner el nombre

1. Dada una situación de radio propagación con un rayo directo y un rayo reflejado, si se modifica la posición del receptor de modo que la diferencia entre los trayectos de propagación reflejado y directo disminuya, las pérdidas por reflexión

a.	Disminuirán	c.	Podrían aumentar o disminuir
b.	Aumentarán	d.	Serán independientes de la fase del coeficiente de reflexión

2. En la gestión del espectro radioeléctrico señala la opción correcta:

a.	La atribución requiere de una adjudicación previa	c.	La atribución requiere de una asignación previa
b.	La asignación requiere de una atribución previa	d.	La adjudicación requiere de una asignación previa

3. Dado un canal de radio de 9 Msímbolos/s y 10 MHz de ancho de banda, señala **todas** las opciones correctas:

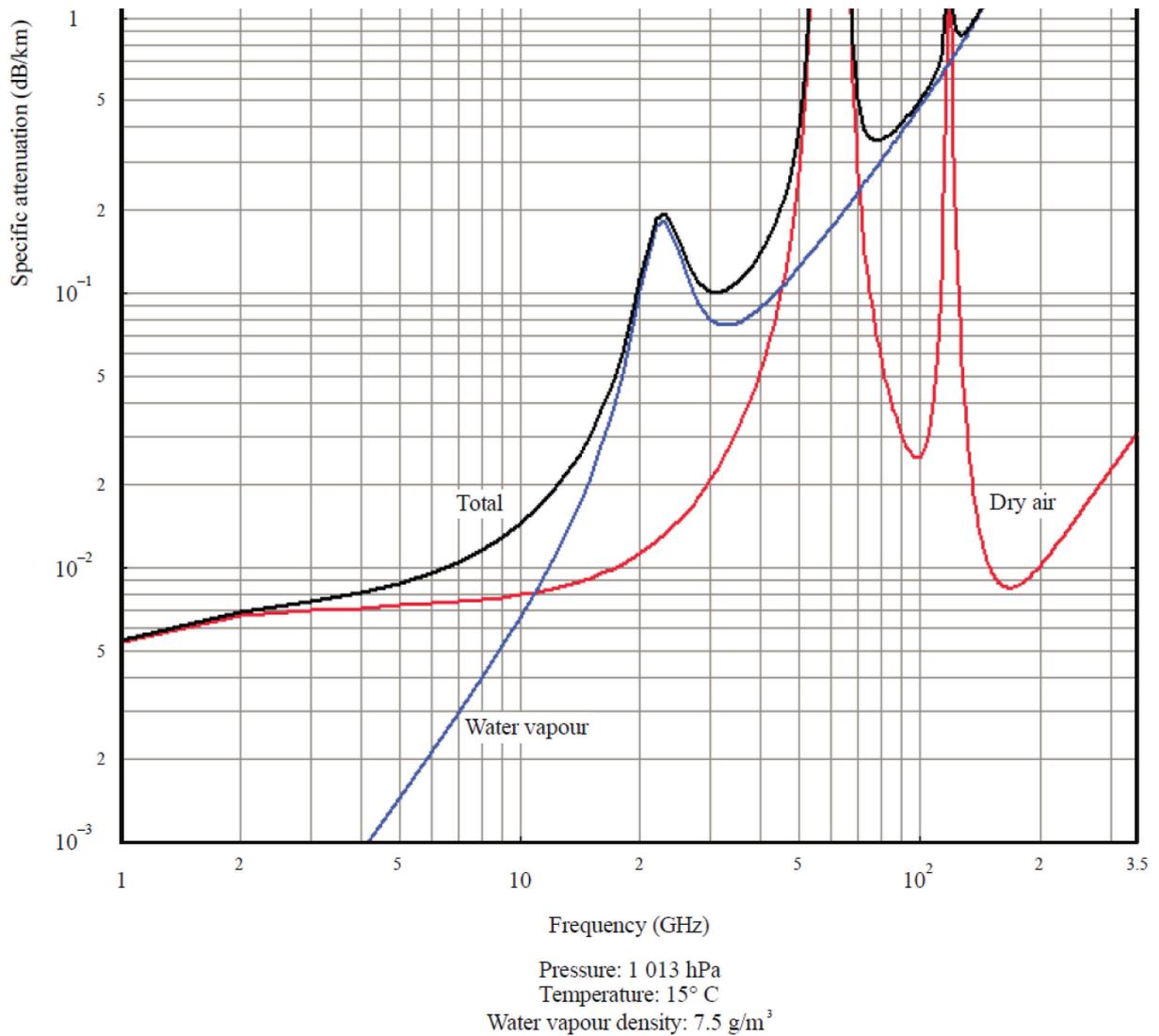
a.	El factor de roll-off es aproximadamente del 11%	c.	El filtro de RF tendrá un ancho de banda de 19 MHz
b.	La tasa binaria neta será menor o igual a 9 Mbits/s	d.	La tasa binaria bruta será mayor o igual a 9 Mbits/s

4. Si el ángulo de incidencia ("grazing angle") sobre una superficie es inferior al valor umbral $(5400/f)^{1/3}$ donde f es la frecuencia, señala la opción más correcta:

a.	No se pueden aplicar los métodos de cálculo asociados a reflexión	c.	Se trata de una situación de difracción siendo el obstáculo la propia Tierra
b.	a) y c) son correctas	d.	Ninguna de las anteriores es correcta



5. Dado un radioenlace de 100 km de longitud ¿Cuál sería la atenuación debida al oxígeno de este enlace si la frecuencia de operación es de 30 GHz?



a.	Entre 1 y 3 dB	c.	Entre 8 y 11 dB
b.	Más de 15 dB	d.	Ninguna de las anteriores es correcta



TEORIA (1.5 puntos)

Explica la nomenclatura de las bandas de frecuencia (8 bandas) de la UIT-R.

Ubica en una de esas bandas cada uno de los siguientes servicios:

- radiodifusión sonora AM
- radiodifusión sonora por onda ionosférica
- radiodifusión sonora FM
- telefonía móvil
- televisión digital terrestre
- comunicaciones por satélite
- WiFi

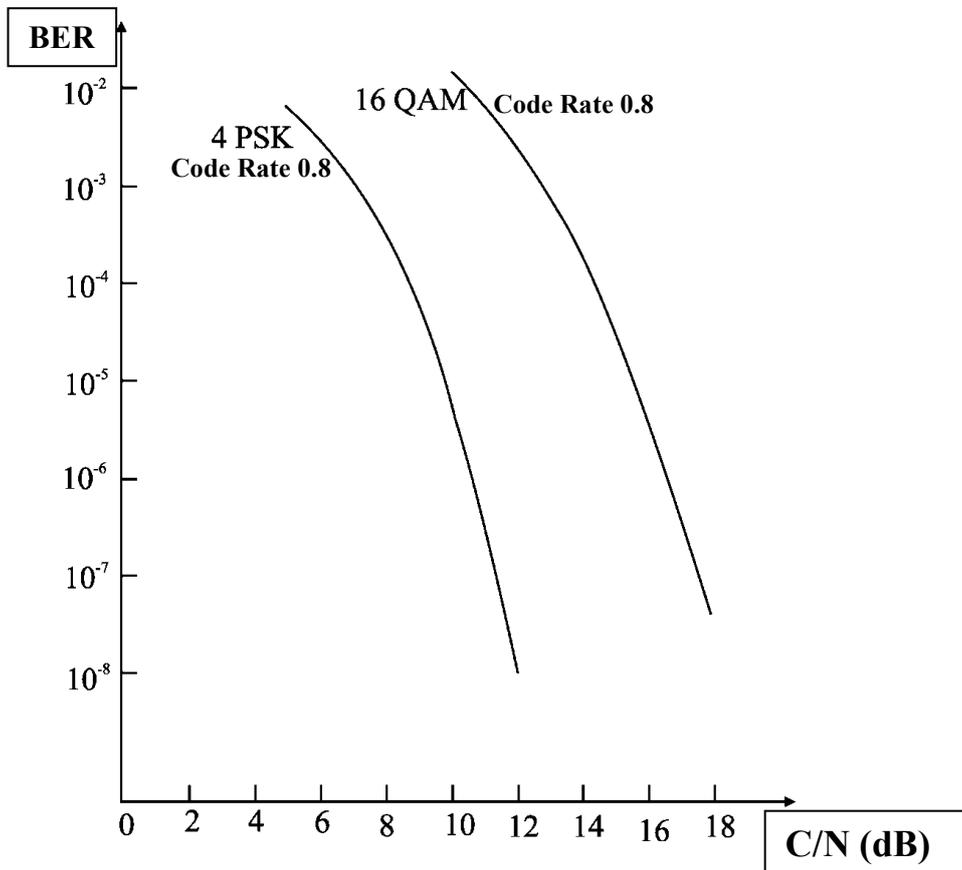


PROBLEMA 1 (3.5 puntos)

Un sistema de comunicaciones establece en la frecuencia de 3 GHz un canal radio de 9 Msímbolos/s y 10 MHz de ancho de banda entre dos puntos separados 20 km.

En el lado receptor se tiene una antena que capta un ruido externo de -110 dBm y se conecta directamente con el detector cuyo ruido interno es también de -110 dBm. El valor de la potencia a la entrada del detector es de -120 dBW. La antena y el detector presentan adaptación de impedancias y las pérdidas óhmicas en la antena receptora se consideran despreciables.

- a) Teniendo en cuenta que se puede configurar la transmisión con las constelaciones 4PSK o 16 QAM, que el BER para que el sistema funcione correctamente es de 10^{-5} y que el Code Rate es del 80%, a la vista de la siguiente gráfica ¿Cuál será la tasa binaria neta máxima del sistema? **(0.7 puntos)** ¿Cuánto valdrá el parámetro e_b/n_0 ? **(0.35 puntos)**
- b) ¿Se podría emplear un Code Rate mayor a 0.8? ¿Por qué? **(0.35 puntos)**



- c) Calcula la temperatura de ruido de la antena y la figura de ruido del detector. **(0.5 puntos)**
- d) Si la PIRE del transmisor es de 20 dBm y las antenas transmisora y receptora son idénticas, calcula la directividad y la ganancia de dichas antenas. **(0.75 puntos)**
- e) Si el transmisor tiene una potencia nominal de 2 mW y una impedancia característica de 50Ω , calcula la resistencia de radiación de la antena si se trata de una antena resonante. **(0.85 puntos)**

Datos: Constante de Boltzmann $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K; $T_0 = 290$ K



SOLUCIÓN

a) $n = 10^{-11} + 10^{-11} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ W}$ $N \approx -110 \text{ dBm} + 3 = -107 \text{ dBm}$
 $C = -120 \text{ dBW} = -90 \text{ dBm}$
 $C/N = (-90 \text{ dBm}) - (-107 \text{ dBm}) = 17 \text{ dB}$

Velocidad máxima => mayor constelación, 16QAM en este caso

16 QAM: $C/N = 17 \text{ dB} \rightarrow \text{BER} \approx 2 \cdot 10^{-7} < 10^{-5} \text{ OK}$

16 QAM, $m = 4 \text{ bit/symbol}$

$V_{b,bruta} = V_s \cdot m = 9 \cdot 10^6 \cdot 4 = 36 \text{ Mbps}$

$V_{b,neto} = V_{b,bruta} \cdot CR = 36 \cdot 0.8 = 28.8 \text{ Mbps}$

$e_b/n_0 = (c \cdot T_b) / (n \cdot B) = (c \cdot B) / (n \cdot V_{bit \text{ bruta}}) = (10^{-12} \cdot 10^6) / (36 \cdot 10^6 \cdot 10^{-10.7} \cdot 10^3) = 13.92$
 $e_b/n_0 \text{ (dB)} = 10 \cdot \log_{10}(e_b/n_0) = 11.43 \text{ dB}$

b) Code rate \uparrow => BER \uparrow
 Con 17 dB de C/N se tiene un BER menor de 10^{-5} por lo que sí se tendría margen para ello.

c) $\eta_l = 1 \rightarrow n_{ant} = -140 \text{ dBW} = K T_a B \rightarrow T_a = n_{ant} / (KB) = 10^{-14} / (1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^6) = 72.46 \text{ K}$

$n_{RX} = K B T_0 (f_{RX} - 1) \rightarrow f_{RX} = n_{RX} / (K B T_0) + 1 = 10^{-14} / (1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^6 \cdot 290) + 1 = 1.25 \rightarrow$
 $F_{RX} = 10 \cdot \log(1.25) = 0.97 \text{ dB}$

d) $\lambda = 0.1 \text{ m}$

Mismatch losses = 0 dB

Ohmic losses = 0 dB

$\rightarrow P_L = C$

Friis propagation: $PIRE - L_{FS} + D_{RX} = P_L \rightarrow 20 - 20 \cdot \log(4\pi \cdot 20000 / 0.1) + D_{RX} = -90 \rightarrow$
 $D_{RX} = 18 \text{ dBi}$

Las antenas son idénticas por lo que $\eta_l = 1$ también en la antena transmisora, es decir:

$D_{RX} = G_{RX} = D_{TX} = G_{TX} = 18 \text{ dBi}$

e) $P_r = PIRE - D_{TX} = 20 - 18 = 2 \text{ dBm}$

$p_{tx} = 2 \text{ mW}$ $P_{tx} \approx 3 \text{ dBm}$

Ohmic losses = 0 dB, mismatch losses: $L_{des} = P_{tx} - P_r = 1 \text{ dB}$

$L_{des} = 10 \cdot \log_{10}[1 - |\rho|^2] \rightarrow |\rho| = [1 - 10^{-0.1}]^{1/2} = 0.453$

La antena es resonante luego su impedancia no tiene parte imaginaria.

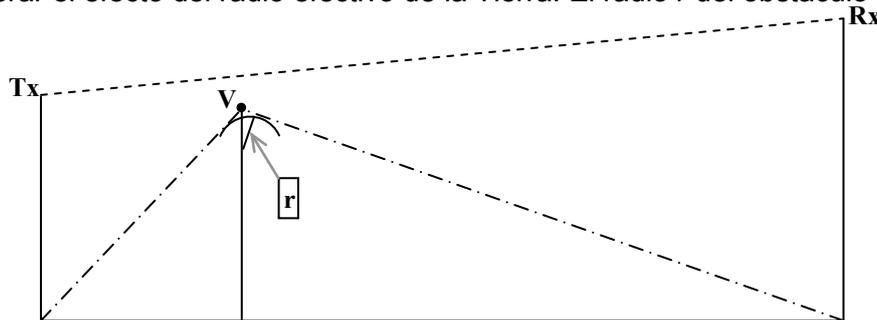
1) $\rho = (Z_{IN} - Z_0) / (Z_{IN} + Z_0) = 0.45 \rightarrow Z_{IN} = Z_0 \cdot (1 + 0.453) / (1 - 0.453) = 132.8 \Omega$

2) $\rho = (Z_{IN} - Z_0) / (Z_{IN} + Z_0) = -0.45 \rightarrow Z_{IN} = Z_0 \cdot (1 - 0.453) / (1 + 0.453) = 18.8 \Omega$

PROBLEMA 2 (3 puntos)

Un enlace de radiocomunicaciones tiene las siguientes características:

- Enlaza con visión directa (LOS) 2 antenas con directividad 15.75 dBd y polarización horizontal situadas a 20 km de distancia.
- La antena transmisora se sitúa a una cota de 180 metros sobre el nivel de mar y la antena receptora a 240 metros.
- El enlace opera a una frecuencia de 3 GHz.
- Se tiene una situación atmosférica anómala subrefractiva, con un gradiente de refractividad radio (Coíndice de refracción) de 80 N-units/km.
- A 5 km del transmisor se sitúa un obstáculo redondeado cuyo punto V, vértice virtual del obstáculo que se muestra en la figura, tiene una altura de 166.72 metros sobre el nivel del mar sin considerar el efecto del radio efectivo de la Tierra. El radio r del obstáculo es de 10 m.



Se pide:

- Calcula el radio de curvatura del rayo directo entre el transmisor y el receptor **(0.5 puntos)**
- Calcula el radio del primer elipsoide de Fresnel en el punto del obstáculo **(0.5 puntos)**
- El transmisor cuenta con un suministro auxiliar de potencia que se activa en caso de condiciones que supongan pérdidas adicionales de 10 dB sobre la propagación en espacio libre ¿Será necesario dicho suministro en este caso? **(1.5 puntos)**
- Si las pérdidas por difracción son de 12.7 dB, en cuanto se atenuará el campo eléctrico en la antena receptora en dB? Y en unidades lineales? **(0.5 puntos)**

Datos: Radio de la tierra: $R_0 = 6371$ km

Nota 1.- Las respuestas sin justificación no serán valoradas.

Método de cálculo de las pérdidas por difracción con un obstáculo redondeado.

$$A = L_D(v) + T(m, n) \quad \text{dB}$$

donde $L_D(v)$ son las pérdidas por difracción que tendría un obstáculo knife-edge situado en el mismo punto que el obstáculo redondo y de altura V (vértice virtual)

$$L_D(v) = 0 \quad \text{dB} \quad \text{si } -0.7 > v$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad \text{dB} \quad \text{si } -0.7 \leq v \quad v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

$T(m, n)$ es la atenuación adicional debida a la curvatura del obstáculo:

$$T(m, n) = 7.2m^{1/2} - (2 - 12.5n)m + 3.6m^{3/2} - 0.8m^2 \quad \text{dB} \quad \text{para } mn \leq 4$$

$$T(m, n) = -6 - 20 \log(mn) + 7.2m^{1/2} - (2 - 17n)m + 3.6m^{3/2} - 0.8m^2 \quad \text{dB} \quad \text{para } mn > 4$$

Siendo m y n los siguientes parámetros:

$$m = r \left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right] \left[\frac{\pi r}{\lambda} \right]^{1/3}$$

$$n = h \left[\frac{\pi r}{\lambda} \right]^{2/3} / r \quad \text{Si el resultado da negativo, se considera } n = 0$$

En todos los casos h es el despejamiento con su signo correspondiente. También en todos los casos d_1 y d_2 se pueden considerar 5000 m y 15000 m respectivamente con errores en el resultado inferiores a 10^{-5}



SOLUCIÓN

a) $k = 157 / (157 + \Delta N) = 157 / (157 + 80) = 0.66$

$$1/(kR_0) = 1/R_0 - 1/R \rightarrow R = (1/R_0 - 1/(kR_0))^{-1} = -12367.24 \text{ km}$$

O directamente: $R = -10^6 / \Delta N = -12500 \text{ km}$

El signo negativo corresponde a la situación de sub-refractividad.

b) $R_1 = [\lambda^* d_1^* d_2 / (d_1 + d_2)]^{1/2} = (0.1 * 5000 * 15000 / 20000)^{1/2} = 19.36 \text{ m}$

c) $h?$

LOS Tx-Rx:

$$(y - 180)/(x - 0) = (240 - 180)/(20000 - 0) \rightarrow y = 0.003x + 180 \quad (\text{m}).$$

A 5000 m de distancia del Tx, $y = 195 \text{ m}$

A continuación se corrige la altura del punto V con la flecha: $f(x) = x^*(d - x) / (2kR_0) \rightarrow$

$$f(5000) = 5000^*(15000) / (2*0.66*6371000) = 8.92 \text{ m}$$

La altura corregida es: $166.72 + 8.92 = 175.64 \text{ m}$

El despejamiento es: $h = 175.64 - 195 = -19.36 \text{ m}$

Es decir está libre la primera zona de Fresnel completa por lo que no habrá pérdidas por difracción. No es necesario activar el suministro de potencia extra.

También se pueden hacer los cálculos de difracción:

- Difracción del obstáculo knife-edge virtual: $v = -1.41 \text{ m} < -0.7$, por tanto, $L_D(v) = 0 \text{ dB}$

- Difracción dada por $T(m,n)$:

Como h es negativo: $n = 0$

$$m = 3.92 * 10^{-4} \rightarrow T(m,n) = 0.14 \text{ dB}$$

Si se toman 2 decimales $m = 0 \rightarrow T(m,n) = 0 \text{ dB}$

En cualquier caso $A < 10 \text{ dB}$

d) El campo se atenúa en **12.7 dB**

En lineal: $10^{12.7/20} = 4.32$