

SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACION

Examen Parcial. 1º parcial. 6/Marzo/2019

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. Los tres sectores de la Unión Internacional de Telecomunicaciones son:

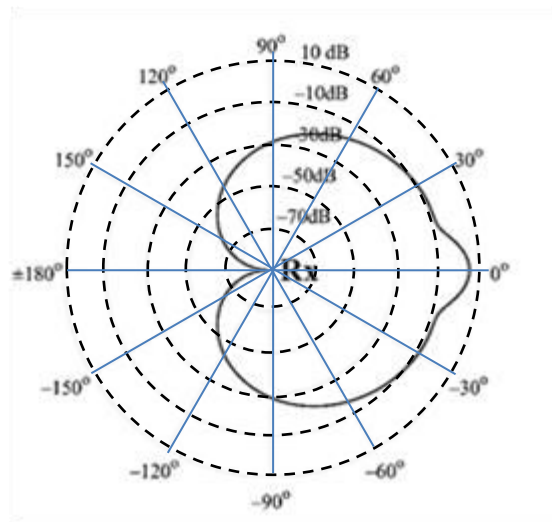
a.	ITU-R, ITU-T, ITU-D	c.	ETSI, IEC, CENELEC
b.	IEEE, ITU, WRC	d.	Ninguna de las anteriores.

2. Una antena con eficiencia 50% y directividad 3 dBi, ¿cuánto será su ganancia?

a.	1 dBi	c.	6 dBi
b.	0 dBi	d.	-3 dBi

3. En la figura se muestra un corte horizontal del diagrama de radiación de una antena. Indicar cuál de las siguientes afirmaciones es cierta.

a.	La antena presenta un máximo en la dirección 180° y un nulo en 0°.
b.	La antena presenta un máximo en la dirección 0° y un nulo en 180°.
c.	El ancho del lóbulo principal es de 180°.
d.	Se trata de una antena parabólica.



4. En el caso de un receptor que recibe un rayo directo y un rayo reflejado, las pérdidas en el enlace pueden calcularse a través de la siguiente expresión:

$$L = L_{FSL} - 10 \log_{10} [1 + |\rho|^2 + 2 \cdot |\rho| \cdot \cos(\Delta + \beta)]$$

siendo

L_{FSL} las pérdidas por espacio libre

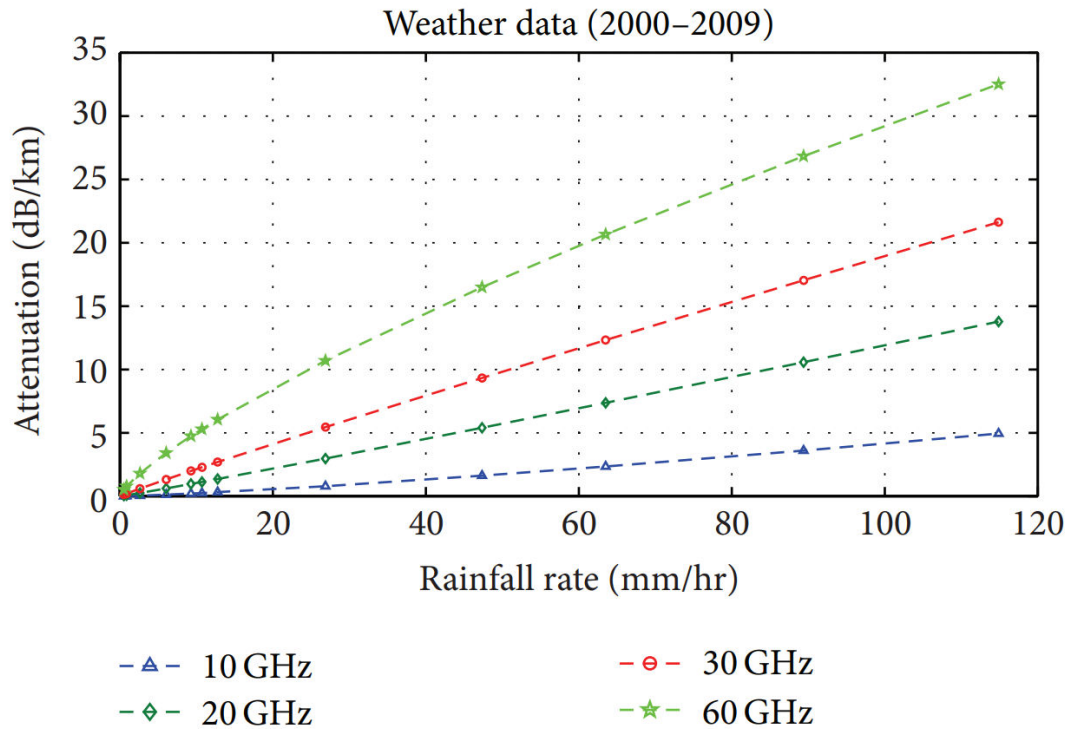
ρ el coeficiente de reflexión en el punto de incidencia, siendo $|\rho|$ su módulo y β su fase

Δ el desfase entre el rayo reflejado y el rayo directo.

Suponiendo que $|\rho| \approx 1$, $\beta = \pi$ y $\Delta = \pi/2$, ¿cuál será la diferencia entre las pérdidas en el enlace y las pérdidas por espacio libre en el punto de recepción?

a.	$10 \log_{10}(3)$	c.	-3 dB
b.	0 dB	d.	3 dB

5. En una determinada zona se han medido los siguientes datos estadísticos de lluvia
 $R_{0.01}=60\text{ mm/h}$ $R_{0.1}=40\text{ mm/h}$ $R_1=20\text{ mm/h}$
 Se dispone también de valores de atenuación específica en función de la tasa de lluvia para diversas frecuencias.



¿Cuál será el valor de la atenuación debida a la lluvia en dicha zona a considerar para el diseño de un radioenlace a 20 GHz de 10 km de longitud efectiva para lograr una disponibilidad del 99.9% del tiempo?

a.	Cercano a 50 dB	c.	Cercano a 70 dB
b.	Cercano a 20 dB	d.	Cercano a 150 dB

SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACION

Examen Parcial. 1º parcial. 6/Marzo/2019

Apellidos: _____

Nombre: _____

TEORIA (1 punto)

Menciona y describe dos modos de propagación presentes en la banda de MF (300 kHz – 3 MHz).

Surface Wave

- Most relevant for low frequencies (<30 MHz) MF, HF
- Can propagate over long distances (30 – 200 km), even higher in VLF
- Depends on ground constants (conductivity, permittivity)
 - The best propagation medium is sea
 - The worst case are deserts and urban areas (low conductivity and low permittivity values)
 - ITU-R World Map of Conductivities
- Horizontally polarized waves are attenuated significantly
- Practical systems are vertically polarized
- Transmitting antennas vertical dipoles ($l/4$ on earth)

Ionosphere, Sky Wave

- The waves that reach ionosphere (100-500 km above earth surface) are refracted and sent back to earth
- Propagation is unstable and difficult to predict
- Used by broadcasting and aeronautical services

SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACION

Examen Parcial. 1º parcial. 6/Marzo/2019

PROBLEMA 1 (3.7 puntos)

Un sistema de comunicaciones que trabaja a 100 MHz consta de un transmisor y un receptor situado a 20 km. La antena del receptor tiene un factor K de 23 dBm⁻¹. Si en el caso ideal la tensión en el receptor es de 0.25 mV:

- a) Calcula la PIRE transmitida en dBm (**1.6 puntos**)
- b) Las características reales del receptor se detallan a continuación:
 - $Z_{Ant} = 75 \Omega$
 - Eficiencia de la antena receptora: 80 %
 - Temperatura de ruido de la antena: 800 K
 - $Z_{Rx} = 75 \Omega$
 - El receptor, a parte de la antena, está formado por un amplificador de ganancia 30 dB y temperatura equivalente de ruido de 3000 K, cables y un detector final.
 - Las pérdidas en los cables son despreciables y también es despreciable el ruido interno del detector.

Calcula n_0 y da el resultado en dBW/Hz (**1.2 puntos**)

- c) Si la tasa binaria bruta del sistema es de 10 Mbps ¿Cuánto valdrá el parámetro e_b/n_0 ? Da el resultado en unidades logarítmicas (**0.9 puntos**)

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

$T_o = T_{amb} = 290$ K

SOLUCIÓN

$$a) \quad V_L = 20 \cdot \log(0.25e-3) = -72.04 \text{ dBV} \rightarrow E = V + K = -72.04 + 23 = -49.04 \text{ dBV/m} \rightarrow$$

$$S = |E|^2 / \eta_0 = (10^{-49.04/20})^2 / 120\pi = 3.31 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$$

$$S = \frac{EIRP}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \rightarrow EIRP = S \cdot 4\pi \cdot r^2 = 3.31 \cdot 10^{-8} \cdot 4\pi \cdot 20000^2 = 166.32 \text{ W} \rightarrow 22.21 \text{ dBW} = \mathbf{52.21 \text{ dBm}}$$

b)

$$n_{0 \text{ ant}} = [KT_a + KT_{amb}(\eta^{-1} - 1)] \cdot \eta = [1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 800 + 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot (1/0.8 - 1)] \cdot 0.8 = 9.63 \cdot 10^{-21} \text{ W/Hz}$$

$$n_{0 \text{ ampli}} = (n_{0 \text{ ant}} + KT_{eq}) \cdot g = (9.63 \cdot 10^{-21} + 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 3000) \cdot 10^{30/10} = \mathbf{5.1 \cdot 10^{-17} \text{ W/Hz}}$$

c)

$$P_A = |V_L|^2 / R_{Rx} = (0.25e-3)^2 / 75 = 8.33e-10 \text{ W} \rightarrow P_1 = P_A \cdot \eta = 8.33e-10 \cdot 0.8 = 6.67e-10 \text{ W}$$

$$\text{Dado que hay adaptación de impedancias: } P_2 = P_1 \rightarrow C = P_2 \cdot 10^{30/10} = 6.67e-7 \text{ W}$$

$$e_b = C / V_b = 6.67e-7 / 1e7 = 6.67e-14 \text{ J/b}$$

$$e_b/n_0 = 6.67 \cdot 10^{-14} / 5.1 \cdot 10^{-17} = 1307.19 \rightarrow e_b/n_0 = \mathbf{31.16 \text{ dB}}$$

PROBLEMA 2 (3.3 puntos)

Se tiene un enlace de radiocomunicaciones de 5 km de distancia que opera a 4 GHz. Requiere un throughput (neto) de 10 Mbps y se ha medido un valor de C/N de 23.86 dB. La potencia del transmisor es de 100 W. La antena transmisora se sitúa a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar, mientras que la altura de la antena receptora es de 250 metros.

En un momento dado se decide construir un edificio de 172.65 metros de altura a una distancia de 2000 m del receptor.

Suponiendo atmósfera estándar ($\Delta N = -39$ N-Units/km), se pide:

- Calcula el porcentaje del total de la primera zona de Fresnel que queda libre (1 puntos)
- Calcula las pérdidas por difracción que causará el edificio si se considera un obstáculo *knife-edge*. Para ello emplea el método descrito al final de esta página (0.5 puntos)
- ¿Qué nueva potencia del transmisor sería necesario emplear, con la obstaculización del rascacielos, para mantener el funcionamiento del enlace si la C/N umbral del sistema es de 20 dB? (0.7 puntos)
- Si se dispone de canales libres tanto por encima como por debajo de la frecuencia empleada inicialmente ¿Qué nueva frecuencia convendría emplear para mejorar la C/N , una mayor o una menor que la actual? Razona tu respuesta. (0.6 puntos)
- La configuración actual, 16 QAM y *Code Rate* = 0.6, proporciona justo los 10 Mbps netos que requiere el sistema. Si se quiere reducir la potencia transmitida ¿Cuáles de las siguientes configuraciones podrían emplearse? Razona tu respuesta. (0.5 puntos)
 - 16 QAM y *Code Rate* = 0.5
 - QPSK y *Code Rate* = 0.6
 - 64 QAM y *Code Rate* = 0.6

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

Nota: Las respuestas sin justificación no serán valoradas.

Método de cálculo de las pérdidas por difracción

$L_D(v)$ son las pérdidas por difracción de un obstáculo *knife-edge*

$$\begin{aligned}
 L_D(v) &= 0 \text{ dB} && \text{si } -0.7 > v \\
 L_D(v) &= 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \text{ dB} && \text{si } -0.7 \leq v \\
 v &= h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}
 \end{aligned}$$

En todos los casos h es el despejamiento (*clearance*) con su signo correspondiente. También en todos los casos d_1 y d_2 se pueden considerar 3000 m y 2000 m respectivamente con errores en el resultado inferiores a 10^{-4}

SOLUCIÓN

a) $R_1 = [\lambda * d_1 * d_2 / (d_1 + d_2)]^{1/2} = (0.075 * 3000 * 2000 / 5000)^{1/2} = 9.49 \text{ m}$

LoS Tx-Rx:

$$(y - 50)/(x - 0) = (250 - 50)/(5000 - 0) \rightarrow y = 0.04x + 50 \quad (\text{m}).$$

A 3000 m de distancia del Tx, $y = 170 \text{ m}$

$$\Delta N = -39 \text{ N-Units/km} \rightarrow k = 1.33$$

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

$$f(3000) = 3000 * (2000) / (2 * 1.33 * 6371000) = 0.35 \text{ m}$$

La altura corregida es: $172.65 + 0.35 = 173 \text{ m}$

El obstáculo sobrepasa LoS Tx-Rx: $173 - 170 = 3 \text{ m}$. Es decir, el radio inferior del primer elipsoide de Fresnel está completamente obstruido y del radio superior, hay 3 metros de obstrucción. El porcentaje total de la primera zona de Fresnel que queda libre es entonces:

$$(9.49 - 3) / (9.49 + 9.49) * 100 = \mathbf{34.2\%}$$

b) $h = 3 \text{ m}$

Difracción del obstáculo knife-edge: $v = 0.447 > -0.7$, por tanto, $L_D(v) = \mathbf{9.86 \text{ dB}}$

c) $C/N_{\text{Inicial}} = 23.86 \text{ dB}$

Las pérdidas por difracción supondrán una disminución de 9.86 dB en el valor de C. Por lo tanto: $C/N_{\text{Actual}} = 14 \text{ dB}$

Dado que la C/N_{Umbral} del sistema es de 20 dB, se deberá incrementar la potencia del transmisor en 6 dB para pasar de 14 a 20 dB. Por lo tanto la nueva potencia será de: $100 \text{ W} \times 2 \times 2 = \mathbf{400 \text{ W}}$

d) $f \downarrow \rightarrow \lambda \uparrow \rightarrow L_D \downarrow$
 $f \downarrow \rightarrow \lambda \uparrow \rightarrow L_{\text{FSL}} \downarrow$

Por tanto, interesa una frecuencia menor.

e) Ninguna de ellas. En la primera tendremos menos V_b del necesario. Lo mismo ocurre en la segunda. En la tercera no reduciremos potencia.

IRRATI KOMUNIKAZIOKO SISTEMAK

Azterketa Partziala. 1. Partziala. 6/Martxoa/2019

Abizenak: _____

Izena: _____

HAUTAKETA ASKOTAKO GALDERAK (2 puntu)

Erantzun zuzen bakoitzak 0.4 puntu balio du eta erantzun oker bakoitzak - 0.13 puntu. Galdera bakoitzean erantzun zuzen bat baino ez dago. Uste baduzu bi erantzun zuzen dagoela, aukeratu galderari zehatzago erantzuten diona.

Erantzun aukera zuzena orri honetan markatuz. Ez ahaztu izen-abizenak idaztea.

1. Nazioarteko Telekomunikazio Batasuna (ITU) osatzen duten sektoreek hurrengoak dira

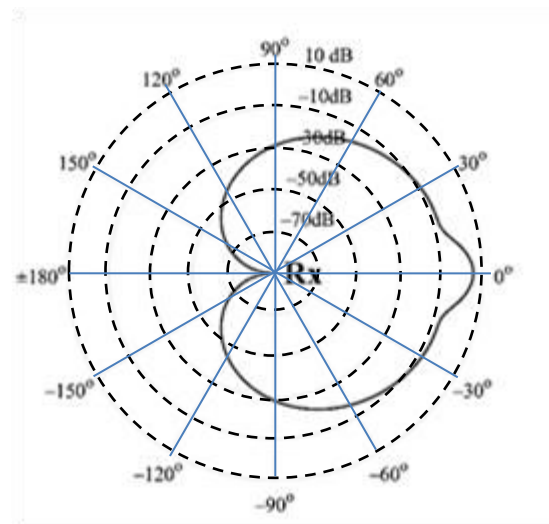
a.	ITU-R, ITU-T, ITU-D	c.	ETSI, IEC, CENELEC
b.	IEEE, ITU, WRC	d.	Bat ere ez da zuzena

2. Antena baten efizientzia %50-a da bere zuzenkortasuna (*directivity*) 3 dBi izanda. Zenbatekoa izango da bere irabazia (*gain*)?

a.	1 dBi	c.	6 dBi
b.	0 dBi	d.	-3 dBi

3. Hurrengo irudian antena baten erradiazio-diagramaren ebakidura horizontala agertzen da. Hurrengoetatik, zein da zuzena?

a.	Antenak maximo bat du 180° norabidean eta nulua 0° norabidean.
b.	Antenak maximo bat du 0° norabidean eta nulua 180° norabidean.
c.	Lobulu nagusiaren zabalera 180° da.
d.	Antena parabolikoa da.



4. Izpi zuzena eta islatutako izpia hartzen dituen hartzaile baten kasuan, loturan gertatzen diren galerak hurrengo adierazpenarekin kalkula ditzakegu

$$L = L_{FSL} - 10 \log_{10} [1 + |\rho|^2 + 2 \cdot |\rho| \cdot \cos(\Delta + \beta)]$$

hurrengoak izanik:

L_{FSL} espazio libreko galerak

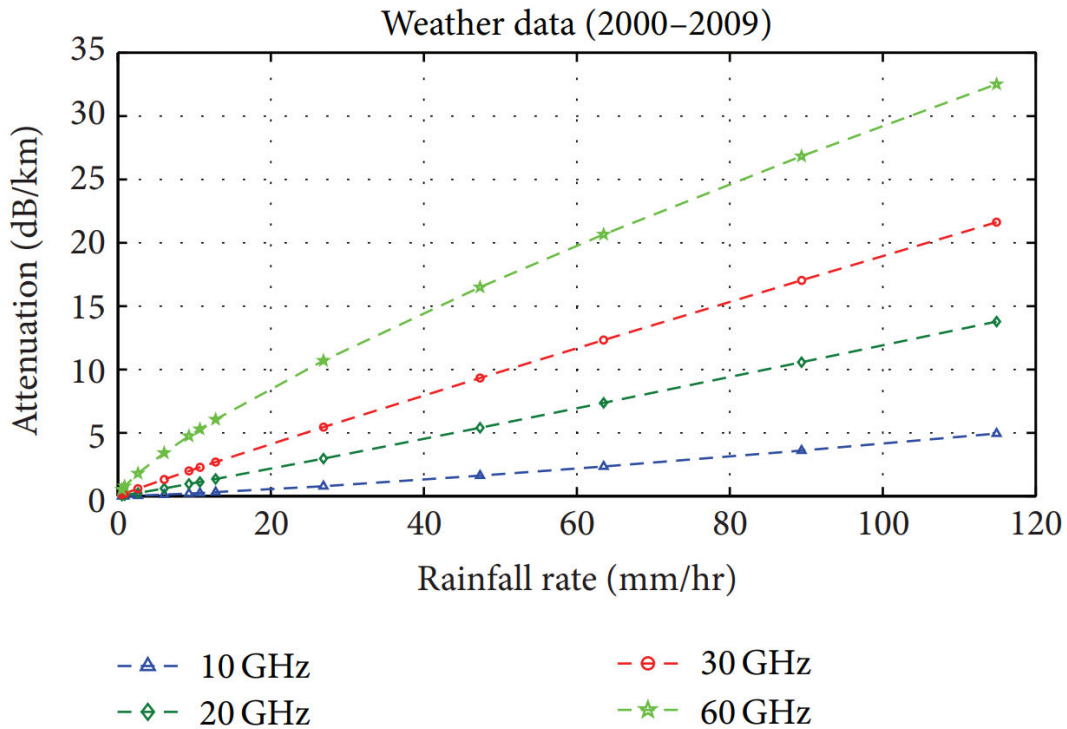
ρ islapen koefizientea eraso-puntuan, $|\rho|$ bere modulua eta β bere fasea izanik

Δ islatutako izpiaren eta izpi zuzenaren arteko desfasea.

Har dezagun $|\rho| \approx 1$, $\beta = \pi$ eta $\Delta = \pi/2$, zein izango da loturan gertatzen diren galeren eta espazio libreko galeren arteko diferentzia harrera puntuan?

a.	$10 \log_{10}(3)$	c.	-3 dB
b.	0 dB	d.	3 dB

5. Inguru batean euriari buruzko hurrengo datu estatistikoak neurtu dira
 $R_{0.01}=60 \text{ mm/h}$ $R_{0.1}=40 \text{ mm/h}$ $R_1=20 \text{ mm/h}$
 Frekuentzia desberdinetarako euri-tasaren menpeko ahuldura espezifikokoaren balioak ere baditugu.



Zein izango da hartu behar dugun euriaren ondoriozko ahulduraren balioa inguru honetan 20 GHz eta 10 km-ko luzera eraginkorra duen irrati-loturaren diseinurako denboraren %99.9ko erabilgarritasuna (*availability*) lortzeko?

a.	50 dB ingurukoa.	c.	70 dB ingurukoa.
b.	20 dB ingurukoa.	d.	150 dB ingurukoa.

IRRATI KOMUNIKAZIOKO SISTEMAK

Azterketa Partziala. 1. Partziala. 6/Martxoa/2019

Abizenak: _____

Izena: _____

TEORIA (puntu 1)

MF (300 kHz – 3 MHz) bandan gertatzen diren bi hedapen modu (*propagation mode*) aipatu eta deskribatu.

Surface Wave

- Most relevant for low frequencies (<30 MHz) MF, HF
- Can propagate over long distances (30 – 200 km), even higher in VLF
- Depends on ground constants (conductivity, permittivity)
 - The best propagation medium is sea
 - The worst case are deserts and urban areas (low conductivity and low permittivity values)
 - ITU-R World Map of Conductivities
- Horizontally polarized waves are attenuated significantly
- Practical systems are vertically polarized
- Transmitting antennas vertical dipoles ($l/4$ on earth)

Ionosphere, Sky Wave

- The waves that reach ionosphere (100-500 km above earth surface) are refracted and sent back to earth
- Propagation is unstable and difficult to predict
- Used by broadcasting and aeronautical services

IRRATI KOMUNIKAZIOKO SISTEMAK

Azterketa Partziala. 1. Partziala. 6/Martxoa/2019

1. PROBLEMA 1 (3.7 puntu)

Transmisore batek eta 20 km-ra kokatutako hartzaileak osatzen dute 100 MHz-tan lan egiten duen komunikazio sistema bat. Hartzailearen antenak 23 dBm^{-1} K-faktorea du. Egoera idealean tentsioa hartzailean 0.25 mV baldin bada:

- a) Kalkulatu transmititutako EIRP-a dBm-tan (**1.6 puntu**)
- b) Hartzailearen ezaugarriak hurrengoak izanik:
 - $Z_{Ant} = 75 \Omega$
 - Antena hartzailearen efizientzia: %80
 - Antenaren zarata-tenperatura: 800 K
 - $Z_{Rx} = 75 \Omega$
 - Hartzailea, antenaz gain, 30 dB-ko irabazia eta 3000 K zarata-tenperatu baliokidea dituen amplifikadoreak, kableak eta detektoreak osatzen dute.
 - Kableetan galerak arbuigarriak dira. Detektorearen barne-zarata ere mespretxagarria da.

Kalkulatu n_0 eta emaitza dBW/Hz-tan eman (**1.2 puntu**)

- c) Sistemaren bit-abiadura gordina 10 Mbps bada, zenbat balio du e_b/n_0 parametroak? Eman emaitza unitate logaritmikoetan (**0.9 puntu**)

Boltzmann-en Konstantea: $K = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

$T_0 = T_{amb} = 290 \text{ K}$

EMAITZA

$$\text{a) } V_L = 20 \cdot \log(0.25e-3) = -72.04 \text{ dBV} \rightarrow E = V + K = -72.04 + 23 = -49.04 \text{ dBV/m} \rightarrow S = |E|^2 / \eta_0 = (10^{-49.04/20})^2 / 120\pi = 3.31 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$$

$$S = \frac{EIRP}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \rightarrow EIRP = S \cdot 4\pi \cdot r^2 = 3.31 \cdot 10^{-8} \cdot 4\pi \cdot 20000^2 = 166.32 \text{ W} \rightarrow 22.21 \text{ dBW} = \mathbf{52.21 \text{ dBm}}$$

b)

$$n_{0 \text{ ant}} = [KT_a + KT_{amb}(\eta^{-1} - 1)] \cdot \eta = [1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 800 + 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot (1/0.8 - 1)] \cdot 0.8 = 9.63 \cdot 10^{-21} \text{ W/Hz}$$

$$n_{0 \text{ ampli}} = (n_{0 \text{ ant}} + KT_{eq}) \cdot g = (9.63 \cdot 10^{-21} + 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 3000) \cdot 10^{30/10} = \mathbf{5.1 \cdot 10^{-17} \text{ W/Hz}}$$

c)

$$P_A = |V_L|^2 / R_{Rx} = (0.25e-3)^2 / 75 = 8.33e-10 \text{ W} \rightarrow P_1 = P_A \cdot \eta = 8.33e-10 \cdot 0.8 = 6.67e-10 \text{ W}$$

$$\text{Inpedantziak egokituta daudenez: } P_2 = P_1 \rightarrow C = P_2 \cdot 10^{30/10} = 6.67e-7 \text{ W}$$

$$e_b = C / V_b = 6.67e-7 / 1e7 = 6.67e-14 \text{ J/b}$$

$$e_b/n_0 = 6.67 \cdot 10^{-14} / 5.1 \cdot 10^{-17} = 1307.19 \rightarrow e_b/n_0 = \mathbf{31.16 \text{ dB}}$$

2. PROBLEMA (3.3 puntu)

Har dezagun 4 GHz-tan lan egiten duen 5 km-ko distantzia duen irrati-lotura. 10 Mbps abiadura netoa behar du. C/N erlazioa neurtu da, bere balioa 23.86 dB izanik. Transmisoreak emandako potentzia 100 W da. Antena transmisorea itsas-mailatik 50 metroko altueran dago. Antena hartzailea, berriz 250 metroko altueran dago.

Halako batean, hartzailetik 2000 metrotara, 172.65 metroko altuera duen eraikina eraikitzea erabakitzen da.

Atmosfera estandarra ($\Delta N = -39$ N-Units/km) suposatuz, hurrengoak eskatzen dira:

- Kalkulatu Fresnel-en lehenengo zonatik libre geratzen den portzentajea. (puntu 1)
- Kalkulatu eraikinak sortutako difrakzioaren ondoriozko galerak, *knife-edge* motako oztopotzat hartuta. Horretarako beherago deskribatzen den metodoa erabili. (0.5 puntu)
- Zenbateko potentzia transmititu beharko du transmisoreak, eraikinaren oztopoaz, lotura funtzionamenduan mantentzeko sistemaren C/N minimoa (*threshold*) 20 dB bada? (0.7 puntu)
- Hasieran erabilitako frekuentziaz gora eta behera kanal libreak badaude, zer frekuentzia berri erabili behar da C/N-a hobetzeko? Gorago dagoen bat? Edo beherago dagoen bat? Arrazoitu erantzuna (0.6 puntu)
- Hasierako konfigurazioak, 16 QAM eta Code Rate = 0.6, justu ematen ditu sistemak behar dituen 10 Mbps netoak. Transmittutako potentzia jaitsi nahi bada, hurrengoetatik zer konfigurazio erabil ditzakegu? Arrazoitu erantzuna. (0.5 puntu)
 - 16 QAM eta Code Rate = 0.5
 - QPSK eta Code Rate = 0.6
 - 64 QAM eta Code Rate = 0.6

Datuak: Lurraren erradioa: $R_0 = 6371$ km

Nota: Justifikazio gabeko erantzunak ez dira baloratuko.

Difrakzioaren ondoriozko galeren kalkulurako metodoa

$L_D(v)$ *knife-edge* motako oztupoan difrakzioaren ondoriozko galerak dira

$$L_D(v) = 0 \text{ dB}$$

-0.7 > v bada

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \text{ dB}$$

-0.7

≤

v

bada

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

Kasu guztietan h garbitasuna (*clearance*) da dagokion zeinuarekin. Kasu guztietan d_1 eta d_2 3000 m eta 2000 m har ditzakegu hurrenez hurren, emaitzan izandako errorea 10^{-4} baino txikiagoa izanik.

EMAITZA

a) $R_1 = [\lambda * d_1 * d_2 / (d_1 + d_2)]^{1/2} = (0.075 * 3000 * 2000 / 5000)^{1/2} = 9.49 \text{ m}$

LoS Tx-Rx:

$$(y - 50)/(x - 0) = (250 - 50)/(5000 - 0) \rightarrow y = 0.04x + 50 \quad (\text{m}).$$

Transmisoretik 3000 metroko distantziara, $y = 170 \text{ m}$

$$\Delta N = -39 \text{ N-Units/km} \rightarrow k = 1.33$$

$$\text{Gezia: } f(x) = x * (d - x) / (2kR_0) \rightarrow$$

$$f(3000) = 3000 * (2000) / (2 * 1.33 * 6371000) = 0.35 \text{ m}$$

$$\text{Altuera zuzendua: } 172.65 + 0.35 = 173 \text{ m}$$

Oztopoa LoS Tx-Rx lerrotik gain dago: $173 - 170 = 3 \text{ m}$. Hau da, Fresnelen 1. Elipsoidearen beheko erradioa guztiz oztopatuta dago, eta goiko erradiotik 3 metro oztopatuta. Beraz, Fresnelen lehenengo zonaldeko tarte libre hurrengo portzentajea da:

$$(9.49 - 3) / (9.49 + 9.49) * 100 = \mathbf{34.2\%}$$

b) $h = 3 \text{ m}$

$$\text{knife-edge: } v = 0.447 > -0.7, \text{ por tanto, } L_D(v) = \mathbf{9.86 \text{ dB}}$$

c) $C/N_{\text{hasieran}} = 23.86 \text{ dB}$

Las pérdidas por difracción supondrán una disminución de 9.86 dB en el valor de C. Por lo tanto: $C/N_{\text{Orain}} = 14 \text{ dB}$

$C/N_{\text{Threshold}} = 20 \text{ dB}$ izanik, transmisorearen potentzia 6 dB-tan igo behar da, 14 dB-tik 20 dB-ra. Beraz, potentzia hurrengoa da $100 \text{ W} \times 2 \times 2 = \mathbf{400 \text{ W}}$

d) $f \downarrow \rightarrow \lambda \uparrow \rightarrow L_D \downarrow$
 $f \downarrow \rightarrow \lambda \uparrow \rightarrow L_{\text{FSL}} \downarrow$

Beraz, frekuentzia txikiagoa erabili behar da.

e) Bat ere ez. Lehenengoan V_b beharrezkoa denaren azpitik egongo zen. Bigarrean ere. Hirugarrenean potentzia ez da txikiagotuko.