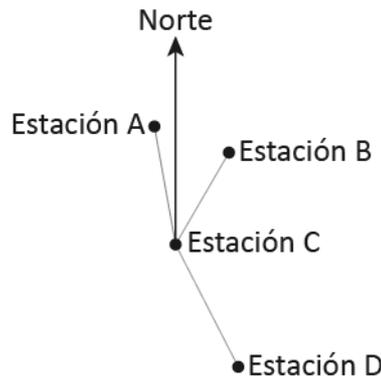


SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACION

Tema 4. Fixed Service Systems. Ejercicios

Especificaciones comunes al Ejercicio

Una operadora del servicio móvil conecta mediante una red de radioenlaces del servicio fijo en el área de Bilbao, 3 estaciones base, A, B y D, con una estación C. La topología es la siguiente:



Para ello debe constituir radiocanales bidireccionales utilizando únicamente una pareja de frecuencias (plan a dos frecuencias) de entre las definidas en la Recomendación UIT-R F.636-3 (ver Nota 1). Se deben escoger las frecuencias del plan de tal manera que en la estación A, la semibanda inferior se utilice para los canales de transmisión (f) y la semibanda superior para los canales de recepción (f').

Las características de los tres radioenlaces se recogen en la siguiente tabla:

	Radioenlace A-C	Radioenlace B-C	Radioenlace C-D
Distancia entre estaciones (km)	3,2	2,8	13,7
Ángulo del trayecto (ver Nota 2)	La dirección del trayecto forma en C, un ángulo de -10° respecto del Norte	La dirección del trayecto forma en C un ángulo de $+30^\circ$ respecto del Norte	La dirección del trayecto forma en D un ángulo de -27° respecto del Norte
Velocidad binaria del interfaz digital (Mbps)	Variable. Máxima velocidad binaria definida por el ancho de banda del radiocanal en el plan de canalización		
Velocidad binaria de la trama de radio (Mbps)	Se incrementa la velocidad binaria del interfaz digital en un total de 2 Mbps		
Modulación	Adaptativa: 16QAM 64QAM 256QAM		



Potencia transmitida (dBm)	Variable. Control automático de potencia ATPC, entre 0 dBm y +25 dBm		
Pérdidas en los elementos de acoplo a la antena transmisora (dB)	2	2	2
Pérdidas en los elementos de acoplo a la antena receptora (dB)	2	2	2
Tipo de antenas	Antena Parabólica de diámetro 1,3m. Diagrama de radiación según la Nota 3		
Polarización	H		
Altura de las antenas en estación C, sobre el nivel del mar (m)	En C: 50 m	En C: 50 m	En C: 50 m
Factor de Roll-Off del filtro de coseno alzado	0,7		
Umbral del receptor para esquema de modulación 16QAM	BER=10 ⁻³ : -73 dBm BER=10 ⁻⁶ : -68 dBm		
Umbral del receptor para esquema de modulación 64QAM	BER=10 ⁻³ : -64 dBm BER=10 ⁻⁶ : -60dBm		
Umbral del receptor para esquema de modulación 256QAM	BER=10 ⁻³ : -55 dBm BER=10 ⁻⁶ : -52 dBm		
Configuración de radiocanales bidireccionales	1+0		

Nota 1: Plan de canalización. (Recomendación UIT-R F.636-3)

Los radiocanales bidireccionales se designan por un número de orden: (n; n').

La frecuencia central de cada radiocanal viene definida por la expresión:

lower half of the band: $f_n = f_r + 3.5 + 3.5 n$ MHz

upper half of the band: $f'_n = f_n + 500$ MHz

$f_r = 24248$ MHz

No existe banda de guarda entre radiocanales consecutivos de una semibanda.

Separación entre frecuencia central del último radiocanal de la semibanda inferior y del primer radiocanal de semibanda superior: 30 Mhz.

Nota 2. Los ángulos respecto de la dirección Norte se consideran positivos en la dirección de las agujas del reloj y negativos en la dirección contraria.

Nota 3. Se utilizan antenas iguales en todos los saltos. Su diagrama de radiación viene dado por la expresión:

$$\begin{aligned}
 G(\varphi) &= G_{m\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 && \text{para } 0^\circ < \varphi < \varphi_m \\
 G(\varphi) &= G_1 && \text{para } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\
 G(\varphi) &= 32 - 25 \log \varphi && \text{para } \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \\
 G(\varphi) &= -10 && \text{para } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ
 \end{aligned}$$

siendo:

$G(\varphi)$: ganancia (dB) relativa de una antena isotrónica

φ : ángulo con relación al eje (grados)

D : diámetro de antena } expresados en las mismas unidades
 λ : longitud de onda }

G_1 : ganancia del primer lóbulo lateral = $2 + 15 \log \frac{D}{\lambda}$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{m\acute{a}x} - G_1} \quad \text{grados}$$

$$\varphi_r = 15,85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad \text{grados}$$

Nota 4. Supuestos de mecanismos de propagación

Basic Fixed Losses in excess to the free space loss L_{bexc}	Radioenlace A-C	Radioenlace B-C	Radioenlace C-D
L_{gases}	0,15 dB/Km		
$L_{vegetation}$	3 dB	2 dB	5 dB

Se supone que las únicas pérdidas en exceso variables en el tiempo sobre las de espacio libre, que se tienen que considerar en el problema son:

- Desvanecimiento plano por multitrayecto atmosférico
- Atenuación por lluvia. $R_{0,01} = 40$ mm/h

Ambos sucesos de multitrayecto y de lluvia no se producen simultáneamente.

El resto de pérdidas en exceso sobre las de espacio libre variables en el tiempo se consideran despreciables.



Anexo: Método de cálculo de atenuación por lluvia de UIT-T

$$A_{0.01}(dB) = k \cdot R_{0.01}^{\alpha} \cdot L_{eff}$$

Tabla de valores de k y α en función de la frecuencia y la polarización:

Frequency (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
11	0,01772	1,214	0,01731	1,1617
12	0,02386	1,1825	0,02455	1,1216
13	0,03041	1,1586	0,03266	1,0901
14	0,03738	1,1396	0,04126	1,0646
15	0,04481	1,1233	0,05008	1,044
16	0,05282	1,1086	0,05899	1,0273
17	0,06146	1,0949	0,06797	1,0137
18	0,07078	1,0818	0,07708	1,0025
19	0,08084	1,0691	0,08642	0,993
20	0,09164	1,0568	0,09611	0,9847
21	0,1032	1,0447	0,1063	0,9771
22	0,1155	1,0329	0,117	0,97
23	0,1286	1,0214	0,1284	0,963
24	0,1425	1,0101	0,1404	0,9561
25	0,1571	0,9991	0,1533	0,9491
26	0,1724	0,9884	0,1669	0,9421
27	0,1884	0,978	0,1813	0,9349
28	0,2051	0,9679	0,1964	0,9277
29	0,2224	0,958	0,2124	0,9203
30	0,2403	0,9485	0,2291	0,9129
31	0,2588	0,9392	0,2465	0,9055
32	0,2778	0,9302	0,2646	0,8981
33	0,2972	0,9214	0,2833	0,8907
34	0,3171	0,9129	0,3026	0,8834
35	0,3374	0,9047	0,3224	0,8761
36	0,358	0,8967	0,3427	0,869
37	0,3789	0,889	0,3633	0,8621
38	0,4001	0,8816	0,3844	0,8552
39	0,4215	0,8743	0,4058	0,8486
40	0,4431	0,8673	0,4274	0,8421
41	0,4647	0,8605	0,4492	0,8357



42	0,4865	0,8539	0,4712	0,8296
43	0,5084	0,8476	0,4932	0,8236
44	0,5302	0,8414	0,5153	0,8179
45	0,5521	0,8355	0,5375	0,8123
46	0,5738	0,8297	0,5596	0,8069
47	0,5956	0,8241	0,5817	0,8017
48	0,6172	0,8187	0,6037	0,7967
49	0,6386	0,8134	0,6255	0,7918
50	0,66	0,8084	0,6472	0,7871
51	0,6811	0,8034	0,6687	0,7826
52	0,702	0,7987	0,6901	0,7783
53	0,7228	0,7941	0,7112	0,7741
54	0,7433	0,7896	0,7321	0,77
55	0,7635	0,7853	0,7527	0,7661
56	0,7835	0,7811	0,773	0,7623
57	0,8032	0,7771	0,7931	0,7587
58	0,8226	0,7731	0,8129	0,7552
59	0,8418	0,7693	0,8324	0,7518
60	0,8606	0,7656	0,8515	0,7486
61	0,8791	0,7621	0,8704	0,7454
62	0,8974	0,7586	0,8889	0,7424
63	0,9153	0,7552	0,9071	0,7395
64	0,9328	0,752	0,925	0,7366
65	0,9501	0,7488	0,9425	0,7339
66	0,967	0,7458	0,9598	0,7313
67	0,9836	0,7428	0,9767	0,7287
68	0,9999	0,74	0,9932	0,7262
69	1,0159	0,7372	1,0094	0,7238
70	1,0315	0,7345	1,0253	0,7215
71	1,0468	0,7318	1,0409	0,7193
72	1,0618	0,7293	1,0561	0,7171
73	1,0764	0,7268	1,0711	0,715
74	1,0908	0,7244	1,0857	0,713
75	1,1048	0,7221	1,1	0,711
76	1,1185	0,7199	1,1139	0,7091
77	1,132	0,7177	1,1276	0,7073
78	1,1451	0,7156	1,141	0,7055
79	1,1579	0,7135	1,1541	0,7038
80	1,1704	0,7115	1,1668	0,7021
81	1,1827	0,7096	1,1793	0,7004

82	1,1946	0,7077	1,1915	0,6988
83	1,2063	0,7058	1,2034	0,6973
84	1,2177	0,704	1,2151	0,6958
85	1,2289	0,7023	1,2265	0,6943
86	1,2398	0,7006	1,2376	0,6929

Para valores de frecuencia que no se están en la tabla se utiliza la siguiente función de interpolación:

$$\frac{\log F1 - \log F2}{\log F1 - \log F3} = \frac{\log K1 - \log K2}{\log K1 - \log K3} = \frac{\alpha 1 - \alpha 2}{\alpha 1 - \alpha 3}$$

$$r = \frac{1}{0.477d^{0.633} R_{0.01}^{0.073} \cdot \alpha f^{0.123} - 10.579(1 - \exp(-0.024d))}$$

d, link distance (km)

R, rain rate (mm/h)

f, frequency (GHz)

The effective path length: $L_{Eff} = d r$

$$C_1 = (0.07^{C_0}) [0.12^{(1-C_0)}]$$

$$C_2 = 0.855C_0 + 0.546(1 - C_0)$$

$$C_3 = 0.139C_0 + 0.043(1 - C_0)$$

$$C_0 = \begin{cases} 0.12 + 0.4 [\log_{10}(f/10)^{0.8}] & f \geq 10 \text{ GHz} \\ 0.12 & f < 10 \text{ GHz} \end{cases}$$

Pregunta Nº 1

- Elegir la pareja de frecuencias f_i y f_r de entre todas las posibles definidas en el Plan de canalización de la Recomendación UIT-R F.636-3 y recogido en la Nota 1 de las Especificaciones. Se escogerá la pareja de radiocanales que menos pérdidas presenten.
- Determinar la capacidad máxima que pueda transportar cada radiocanal (Velocidad binaria del interfaz digital, en Mbps) en función del esquema de modulación operativo.
- Asignar las frecuencias de emisión y recepción en cada estación.

Pregunta Nº 2

En los tres vanos existe un único obstáculo dominante aislado en filo de cuchillo con las siguientes características:



	Radioenlace A-C	Radioenlace B-C	Radioenlace C-D
Distancia del obstáculo dominante a C (km)	1,2	1	3,4
Altura sobre el nivel de mar del obstáculo dominante (m)	35	50	40

Los radioenlaces se encuentran en una zona con clima templado y factor de corrección del radio terrestre excedido en el 99,9% del tiempo de $k = 0,5$.

Con los datos anteriores, determinar la altura de las antenas sobre el nivel de mar en las estaciones A, B y D para que se cumplan los objetivos de la Recomendación ITU-R P.530.

Pregunta Nº 3

- Calcular el margen bruto para las señales con tasa de error de 10^{-3} en cada uno de los esquemas de modulación utilizados en el enlace A-C.
- Calcular el porcentaje de tiempo en el que se supera la tasa de error de 10^{-3} debido a la atenuación por lluvia para el radioenlace A-C.
- ¿Cuál es la indisponibilidad del radioenlace debida a la lluvia en el radioenlace A-C?
- Asumiendo que en el radioenlace A-C el objetivo de porcentaje de tiempo en el que la tasa de error es inferior a 10^{-6} es del 99,9% del tiempo y que el porcentaje de tiempo de que se supere la tasa de error de 10^{-6} debido a desvanecimiento plano multitrayecto es de 99,95%, calcular la atenuación por lluvia máxima para que se cumpla el objetivo de la característica de error en el radioenlace A-C.
- Calcular el margen bruto necesario para que se cumplan los objetivos del apartado d)
- Calcular la potencia transmitida mínima necesaria para asegurar el margen bruto de 10^{-6} obtenido en el apartado e), para cada una de los tres esquemas de modulación.
- Indicar si con los datos de las especificaciones es posible o no cumplir el margen bruto de 10^{-6} obtenido en el apartado e), para cada una de los tres esquemas de modulación.

Pregunta Nº 4

Indicar la relación C/I para interferencia cocanal en el receptor en C, medida en bornas de la antena del radioenlace A-C, para una señal recibida en el vano A-C igual -60 dBm medida a la entrada del receptor.

Para ello, considerar el peor caso desde el punto de vista de interferencia (es decir, tomar las condiciones en las que la interferencia producida por los otros dos radioenlaces sea la mayor posible).