

Tema 1: Radioenlaces terrenales del servicio fijo

Ejercicios y problemas

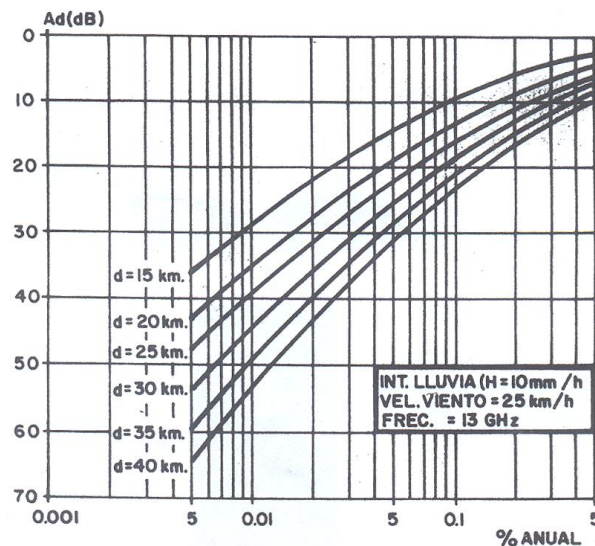
1. En un proyecto de radioenlace digital monovano de 20 Km de distancia se desea conseguir:

- Probabilidad de error: 10^{-6}
- Indisponibilidad total: 1 h/año

Los equipos tienen las siguientes características:

- Frecuencia de trabajo: 13 GHz
- Velocidad binaria: 34 Mbps
- Modulación: PSK cuaternaria
- Factor de ruido del receptor: 9 dB
- Potencia entregada por el transmisor: 20 dBm
- Energía de bit por densidad espectral de potencia de ruido para una $BER = 10^{-4}$: 10 dB
- Tiempo medio entre fallos: 10^6 horas
- Tiempo medio de reparación: 10 h
- Factor de especificación del filtro: 2
- Ganancia de las antenas: 42.5 dBi
- Pérdidas en los elementos pasivos: 2 dB

Con ayuda de la siguiente gráfica, determinar la viabilidad del radioenlace en cuanto a su disponibilidad.



2. Considere un radioenlace a 6 GHz, con 5 vanos de 40 Km cada uno, en el que todos los equipos son iguales. En el conjunto del radioenlace, se ha determinado un MTBF de $2 \cdot 10^5$ horas, y se quiere una indisponibilidad máxima total de 2 horas/año. Para el mantenimiento, el MTTR se cifra en 10 h. El clima es templado y la ondulación del terreno corresponde a $s = 65$ m. Inicialmente se considera un margen de desvanecimiento por vano de 27.5 dB.
- Calcule la indisponibilidad esperada por fading en cada vano (%).
 - Calcule la máxima indisponibilidad por desvanecimiento permitida por vano (%).
 - ¿Es viable? Si no, cuánto hay que elevar la potencia del transmisor para que lo sea?
 - Calcule el tiempo medio entre fallos de cada transceptor.
3. Considere un radioenlace formado por 4 vanos que cubren una distancia total de 120 Km. El terreno tiene una ondulación de 50 m y el clima es húmedo. Las portadoras utilizadas están en la banda de 5 GHz. El tiempo medio entre fallos de cada transceptor es de $5 \cdot 10^5$ horas. El mantenimiento garantiza un tiempo medio de reparación de 5 horas. Se desea obtener una indisponibilidad total de 1 hora/año. Calcule:
- La indisponibilidad debida a los equipos en el conjunto del radioenlace.
 - La indisponibilidad máxima debida al desvanecimiento que puede admitirse en cada vano.
 - La profundidad de desvanecimiento que corresponde a la indisponibilidad hallada en el apartado anterior, utilizando el método de Mojoli.



- d) Para la potencia de un transmisor, se ha determinado que el margen de desvanecimiento admisible es de 35 dB. ¿Hay que modificar esta potencia para lograr los objetivos de calidad en ese vano? ¿En cuánto?

4. Un radioenlace está formado por dos vanos, que cubren respectivamente distancias de 40 y 60 Km. El clima es templado y el suelo tiene una ondulación de 20 m. Las frecuencias utilizadas pertenecen a la banda de 10 GHz. La potencia transmitida en cada vano se ha determinado de modo que el margen de desvanecimiento es de 40 dB en cada vano. El fabricante especifica un tiempo medio entre fallos de 10^5 horas para cada transceptor. El tiempo medio de reparación es de 6 horas. Obtenga:

Nota: Obtenga al menos 6 decimales en todos los resultados numéricos.

- a) La indisponibilidad (en porcentaje) debida a los equipos en cada vano y en el conjunto del radioenlace.
- b) La indisponibilidad debida a la propagación en cada vano.
- c) ¿Se cumple el objetivo de indisponibilidad del radioenlace marcado por la ITU-R para el trayecto digital ficticio de referencia aplicado a nuestro radioenlace?
- d) Si no se cumpliera el objetivo de calidad anterior, indique en cuánto hay que incrementar la potencia radiada del primer vano (exclusivamente) para cumplir dicho objetivo.
- e) Plantéese ahora la alternativa de incrementar la potencia del segundo vano exclusivamente para lograr el objetivo de calidad. Razone (sin realizar cálculos) sobre si el incremento de potencia que obtendría sería mayor o menor que el del primer vano.

5. Un radioenlace a 25 GHz en polarización vertical está formado por dos vanos, de 30 Km y 10 Km respectivamente. El clima es templado y la ondulación del terreno es de 40 m. La potencia del transmisor del primer vano es de 20 dBm y el umbral de los receptores de ambos vanos para una $BER = 10^{-3}$ es de -90 dBm. Las antenas tienen una ganancia de 30 dB y las pérdidas en los terminales de cada estación son de 1 dB. En el primer vano se utilizan transceptores con MTBF de 10^5 horas, mientras que en el segundo vano los transceptores tienen una MTBF doble que en el primer vano. El mantenimiento consigue un MTTR de 8 horas.

- a) Calcule la indisponibilidad debida a los equipos en la totalidad del radioenlace.
- b) Calcule la potencia disponible a la entrada del receptor en el primer vano y el margen bruto de desvanecimiento en dicho vano.
- c) Calcule la potencia del transmisor del segundo vano para que su margen bruto de desvanecimiento se iguale con el del primer vano.
- d) Calcule la indisponibilidad por propagación en los dos vanos (utilice el método de Mojoli).



- e) Calcule la indisponibilidad total del radioenlace en porcentaje y exprese también en horas/año.
6. Un radioenlace de 155 Mbps de capacidad y funcionando a 8 GHz está compuesto por dos vanos, de longitudes 30 Km y 60 Km. Los transceptores en el primer vano tienen un tiempo medio entre averías de 10^5 horas. Para el segundo vano se eligieron transceptores de mayor calidad, con un tiempo medio entre averías de $4 \cdot 10^5$ horas. El tiempo medio para realizar una reparación es de 4 horas.
- Las antenas del primer vano tienen 30 dB de ganancia, mientras que las del segundo tienen 40 dB. Todos los transmisores entregan 500 W de potencia. Los receptores del primer vano tienen un factor de ruido de 8 dB, mientras que los del segundo tienen un factor de ruido de 5 dB. Para la tasa de errores perseguida y la modulación utilizada, la relación entre la energía por bit y la densidad espectral de potencia de ruido es de 20 dB.
- El clima es seco, y la ondulación del terreno es $s = 5$ m. Considere que puede aplicar las pérdidas básicas de espacio libre a ambos vanos.
- a) Calcule la indisponibilidad por equipos en el total del radioenlace.
b) Calcule la potencia recibida en ambos vanos en condiciones normales.
c) Calcule el margen de desvanecimiento en ambos vanos.
d) Calcule la indisponibilidad por propagación de cada vano.
7. Un radioenlace está formado por 3 vanos iguales, cubriendo una distancia total de 90 Km. El clima es montañoso y el terreno tiene una ondulación de 20 m. El plan de frecuencias establece una banda centrada en 9 GHz. Todos los equipos son iguales. El tiempo medio entre fallos de cada transceptor es de $2 \cdot 10^5$ horas. El tiempo medio de reparación es de 5 horas. Se desea obtener una indisponibilidad total de 5 horas/año.
- a) Calcule la indisponibilidad debida a los equipos en todo el radioenlace.
b) La indisponibilidad máxima debida al desvanecimiento que puede admitirse en cada vano.
c) La profundidad de desvanecimiento que corresponde a la indisponibilidad hallada en el apartado anterior, utilizando el método de Mojoli.
d) Para la potencia de un transmisor, se ha determinado que el margen de desvanecimiento admisible es de 20 dB. ¿Hay que modificar esta potencia para lograr los objetivos de calidad en ese vano? ¿En cuánto?
e) Si fuera necesario mejorar la indisponibilidad debida al desvanecimiento, pero no fuera posible sustituir los elementos de la estación (transceptores, elementos pasivos, antena) por otros mejores, ni cambiar el emplazamiento o altura de las antenas, ni elevar la potencia radiada, ¿qué solución plantearía? Ponga un ejemplo.



8. Un radioenlace a 22 GHz cubre una distancia total de 400 Km con cinco vanos de la misma longitud. Está diseñado para transportar una señal STM-4 (622 Mbps). Los transmisores entregan 480 W. El conjunto de *branching* y alimentador introduce unas pérdidas de 2.5 dB. Las antenas utilizadas tienen una ganancia de 45 dB. El fabricante especifica para los receptores una relación señal a ruido mínima de funcionamiento de 15 dB y una figura de ruido de 4 dB. El tiempo medio entre fallos de los transceptores es de 10^6 horas. El tiempo medio de reparación es de 8 horas. El terreno tiene una ondulación de $s = 30$ m y el clima es húmedo.
- a) Obtenga la indisponibilidad debida a los equipos en el conjunto del radioenlace.
 - b) Obtenga la indisponibilidad por propagación máxima que puede darse en cada vano para cumplir el objetivo de indisponibilidad total de la ITU-R.
 - c) Calcule el margen de desvanecimiento en cada vano, teniendo en cuenta que se puede despreciar el efecto del rayo reflejado en el terreno.
 - d) Calcule si el radioenlace es viable en cuanto al objetivo de disponibilidad total, si la causa principal de la indisponibilidad por propagación es el desvanecimiento por multitrayecto atmosférico.
 - e) Si en uno de los vanos apareciera un obstáculo en filo de cuchillo cuyo despejamiento en relación al radio de la primera zona de Fresnel causara unas pérdidas por difracción de 5 dB, calcule la potencia (W) que debería radiar el transmisor de ese vano para mantener la misma indisponibilidad por propagación que había cuando no existía el obstáculo.
9. Un radioenlace a 5 GHz está formado por tres vanos, de 10 Km, 20 Km y 30 Km respectivamente. En cada uno de ellos se utilizan transceptores con tiempos medios entre fallos: $MTBF_1 = 10^6$ h, $MTBF_2 = 2 \cdot 10^5$ h y $MTBF_3 = 3 \cdot 10^5$ h. El tiempo medio para las reparaciones es de 10 horas. La potencia del transmisor del tercer vano es de 30 dBm y el umbral de su receptor para una $BER = 10^{-3}$ es de -100 dBm. Las antenas de este vano tienen una ganancia de 30 dBi y las pérdidas en los terminales de cada estación son de 1 dB. Puede considerarse despreciable el efecto del rayo reflejado. La ondulación del terreno es de 20 m y el clima es húmedo.
- a) Calcule la indisponibilidad debida a los equipos en la totalidad del radioenlace.
 - b) Para el tercer vano, calcule la potencia disponible en el receptor del tercer vano y el margen bruto de desvanecimiento.
 - c) Calcule la indisponibilidad por propagación en el tercer vano (utilice el método de Mojoli).
 - d) Calcule la indisponibilidad por desvanecimiento que puede admitirse en el conjunto de los dos primeros vanos para que el radioenlace cumpla con el objetivo de calidad de la ITU-R.