

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1315

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INTERFERENCIAS CAUSADAS POR LAS REDES MÓVILES DE SATÉLITE DE BANDA ESTRECHA A REDES MÓVILES DE SATÉLITE DE SECUENCIA DIRECTA Y ESPECTRO ENSANCHADO QUE FUNCIONAN CON ESTACIONES ESPACIALES EN ÓRBITA TERRESTRE BAJA EN FRECUENCIAS INFERIORES A 1 GHz

(Cuestión UIT-R 83/8)

(1997)

Resumen

En esta Recomendación se presentan una metodología simplificada y otra detallada para evaluar el efecto de las señales interferentes de banda estrecha en canales de comunicación de espectro ensanchado. Estas metodologías permiten una rápida comparación de los efectos relativos de los cambios en los parámetros de las señales deseada e interferente, tales como el nivel de potencia, la anchura de banda y la desviación de frecuencias, que pueden examinarse para facilitar la compartición entre redes móviles de satélite de banda estrecha y de espectro ensanchado.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los niveles de interferencia permitidos para redes de secuencia directa y espectro ensanchado que funcionan en el servicio móvil por satélite (SMS) en órbita terrestre baja (LEO – low-Earth orbit) deben basarse en los objetivos de calidad de funcionamiento aplicables a dicho servicio;
- b) que las redes SMS LEO propuestas para que funcionen en bandas de frecuencias compartidas deben diseñarse de modo que se admitan interferencias limitadas causadas por sistemas que funcionan en las mismas bandas, incluidas otras redes SMS LEO (tanto de espectro ensanchado como de banda estrecha),

recomienda

- 1** que se utilice la metodología de análisis detallada que figura en el Anexo 1 para una evaluación completa de la degradación de la calidad de funcionamiento de las redes SMS LEO de espectro ensanchado y secuencia directa causada por transmisiones SMS LEO de banda estrecha;
- 2** que se utilice la metodología simplificada que figura en el Anexo 2 para determinar si existe una posible situación de interferencia entre transmisores de una red SMS LEO de banda estrecha y receptores de una red SMS LEO de espectro ensanchado y secuencia directa.

ANEXO 1

Metodología detallada para la evaluación de interferencias**1 Introducción**

La calidad de funcionamiento de una red SMS LEO de espectro ensanchado puede degradarse debido al funcionamiento simultáneo de transmisores de banda estrecha en la misma banda de frecuencias. Aunque resulta de interés general calcular la relación energía por bit/densidad de ruido, E_b/N_0 , para estimar la interferencia causada a un determinado enlace de comunicación, suele ser suficiente calcular la relación portadora/densidad de ruido (CND) en la entrada del

receptor. En realidad, sin un conocimiento detallado de un sistema de recepción concreto, puede ser difícil o imposible calcular la relación E_b/N_0 , mientras que la relación CND es relativamente fácil de calcular. El efecto de las fuentes de ruido fuera de la red se expresa fácilmente como un cambio en la CND, lo que permite una comparación más fácil entre diseños alternativos y disposiciones de compartición de frecuencias.

Los efectos de la interferencia expresados como cambios en la CND se calculan tanto para el caso más desfavorable de un transmisor interferente situado dentro del lóbulo principal de una antena de seguimiento como para el caso más frecuente de transmisor interferente situado en un lóbulo lateral de la antena de seguimiento.

2 Resumen del procedimiento de cálculo

Paso A: Recopilación de los parámetros de red:

- parámetros orbitales (altitud, descripción de la constelación),
- parámetros radioeléctricos del vehículo espacial (potencia, anchura de banda, diagrama de ganancia de antena, polarización),
- parámetros radioeléctricos de la estación terrena (antena, G/T).

Paso B: Cálculo de la CND de la red de espectro ensanchado sin interferencia externa.

Paso C: Cálculo de la CND debida a la interferencia externa tanto en el haz principal como en los lóbulos laterales para cada señal interferente recibida simultáneamente, incluido el efecto de desviación de frecuencia.

Paso D: Cálculo de la CND total ($C/(N_0 + I_0)$) para cada señal interferente y de degradación causada a la CND.

Paso E: Cálculo de la degradación total de la CND debida a las entradas de interferencias en multicanales y simultáneas.

3 Pasos del cálculo (tal como se definen en el resumen citado)

Paso A: Recopilación de los parámetros de red

Para ilustrar los pasos del cálculo, se supone que dos redes SMS LEO con las mismas frecuencias de enlace descendente tienen los parámetros indicados en el Cuadro 1. Se supone también que las antenas de la estación espacial están diseñadas para compensar la pérdida de transmisión básica Tierra-espacio cambiante a medida que el vehículo espacial sube, atraviesa el cielo y fija su posición. Si se supone que hay acoplamiento en el haz principal de la estación terrena, puede efectuarse el cálculo independientemente de la ganancia de antena del receptor. En el caso de las interferencias provenientes de direcciones distintas a la del haz principal, puede obtenerse la diferencia de ganancia (o discriminación) entre el lóbulo principal y el lóbulo lateral (o debe suponerse un valor típico).

En este ejemplo, la estación terrena móvil de espectro ensanchado (terminal de usuario) tiene un ángulo de elevación mínimo de 10° y un ángulo de elevación medio de 25° en relación con su estación espacial, y la estación terrena de enlace de conexión (cabecera) funciona con un ángulo de elevación mínimo de 5° .

Para los transmisores interferentes en la red de banda estrecha, se requieren valores de pérdida de trayecto en el ángulo de elevación mínimo y el ángulo de elevación que produce la señal interferente máxima.

Paso B: Cálculo de la CND de la red de espectro ensanchado sin interferencia externa

La relación CND total de una red de comunicación con un transpondedor-convertidor de frecuencias simple, es la inversa de la suma de las inversas de los valores de la CND para el enlace ascendente y el enlace descendente. En el caso de una red de espectro ensanchado de múltiples usuarios de n usuarios, el ruido adicional en un enlace de usuario determinado se presenta en forma de señales de portadora de los otros $(n - 1)$ usuarios. Se calcula la CND para ambos enlaces de llegada (terminal de usuario-satélite y satélite-estación terrena cabecera) y se calcula también la relación portadora/autointerferencia (CND_s). Estos cálculos se combinarán para formar un valor CND que puede utilizarse como base de comparación con valores determinados cuando exista una interferencia fuera de la red.

CUADRO 1

Parámetros típicos de un ejemplo de redes SMS no OSG que funcionan por debajo de 1 GHz

Red	Red de espectro ensanchado (SS)	Red de banda estrecha (BE)
<i>Parámetros orbitales</i>		
– Altitud (km)	1 000	775
– Número de satélites	24	32
– Número de órbitas (satélites/órbita)	6 (4 satélites)	4 (8 satélites)
– Separación entre satélites (grados)	90	45
<i>Parámetros de funcionamiento</i>		
Enlace de llegada (usuario–satélite):		
– Designación de emisión	905KG1D	No se aplica (en los ejemplos de ambas redes se utilizan distintas frecuencias de enlace ascendente)
– Frecuencia (MHz)	148,4245	
– Frecuencia de segmentos (kHz)	614,4	
– p.i.r.e. máxima (dBW)	3,5	
– Número de usuarios	12	
– G/T del receptor ($\text{dB(K}^{-1}\text{)}$)	–30	
– Pérdida de trayecto para enlace mínimo (dB)	144,7 (ángulo de elevación mínimo de 10°)	
– Pérdida de trayecto para enlace medio (dB)	141,1 (ángulo de elevación medio de 25°)	
Enlace de llegada (satélite–cabecera):		
– Designación de emisión	905KG1D	5K00G1D
– Frecuencia (MHz)	137,5	137-138
– p.i.r.e. máxima (dBW)	–14	7
– Pérdida de trayecto para enlace mínimo (dB)	145,3 (ángulo de elevación de 5°)	143,9 (ángulo de elevación de 5°)
– Pérdida de trayecto para enlace medio (dB)	140,7 (ángulo de elevación de 25°)	140,4 (ángulo de elevación de 19°)
– Pérdida de trayecto para la dfp máxima (dB)	139,5 (ángulo de elevación de 32°)	136 (ángulo de elevación de 42°)
– Separación entre canales (kHz)	–	10
– Ganancia de antena (dB)	16	–
– Ganancia de lóbulo lateral (dB)	1	–
– Polarización	Circular levógira	Circular dextrógira
– G/T del receptor ($\text{dB(K}^{-1}\text{)}$)	–19,2	–

OSG: Órbita de los satélites geoestacionarios.

En las ecuaciones que figuran a continuación, se definen las variables como sigue:

- n : número de usuarios simultáneos
- C : potencia de la portadora (dBW)
- N : potencia de ruido (dBW)
- N_0 : densidad de ruido (dB(W/Hz))
- I : potencia de interferencia (dBW)
- I_0 : densidad de interferencia (dB(W/Hz))
- BW : anchura de banda
- X : aislamiento de la polarización
- p.i.r.e.: potencia isotrópica radiada equivalente (dBW)
- G : ganancia (dB)
- G_{dif} : diferencia de ganancia entre las antenas deseada e interferente (dB)
- T : temperatura de ruido (dBK)

- G/T : $10 \log (g/t)$,
donde g y t son $10^{0,1G}$ y $10^{0,1T}$ (dB(K⁻¹))
- CND_u : portadora de enlace ascendente/densidad de ruido en la apertura de la antena (dB(Hz))
- CND_d : portadora de enlace descendente/densidad de ruido en la apertura de la antena (dB(Hz))
- CND_s : portadora/densidad de ruido de la autointerferencia de red en la apertura de la antena (dB(Hz))
- CND_o : portadora total, densidad de ruido (dB(Hz))
- $L(\text{ángulo})$: pérdida ($L(\text{ángulo}) = 10 \log(4 \pi d(\text{ángulo})^2)$)
 $d(\text{ángulo})$: distancia oblicua de un vehículo espacial en un ángulo de elevación determinado (km).

A título de ejemplo, se supone que analizamos el efecto de $(n - 1)$ usuarios «promedio» en una elevación de 25° sobre un usuario «deseado» en una elevación de enlace mínimo de 5°.

Para el enlace ascendente (usuario deseado):

$$\begin{aligned}CND_u &= p.i.r.e. - L(10^\circ) + G/T - (-228,6) \\ &= 3,5 - 144,7 + (-30) - (-228,6) \\ &= 57,4 \text{ dB(Hz)}\end{aligned}\quad (1)$$

Para el enlace descendente:

$$\begin{aligned}CND_d &= p.i.r.e. - L(5^\circ) + G/T - (-228,6) \\ &= -14 - 145,3 + (-19,2) - (-228,6) \\ &= 50,1 \text{ dB(Hz)}\end{aligned}\quad (2)$$

Para la autointerferencia en el enlace ascendente:

$$\begin{aligned}CND_s &= p.i.r.e. - L(10^\circ) - (p.i.r.e. + 10 \log(n - 1) - L(25^\circ) - 10 \log BW) \\ &= 3,5 - 144,7 - (3,5 + 10,4 - 141,1 - 59,6) \\ &= 45,6 \text{ dB(Hz)}\end{aligned}\quad (3)$$

La CND total para la red que funciona con n usuarios y sin interferencia externa es la inversa de la suma de las inversas de estos tres valores:

$$\begin{aligned}CND_o &= -10 \log (10^{-0,1CND_u} + 10^{-0,1CND_d} + 10^{-0,1CND_s}) \\ &= -10 \log (1,82 \times 10^{-6} + 9,77 \times 10^{-6} + 2,78 \times 10^{-5}) \\ &= 44,1 \text{ dB(Hz)}\end{aligned}$$

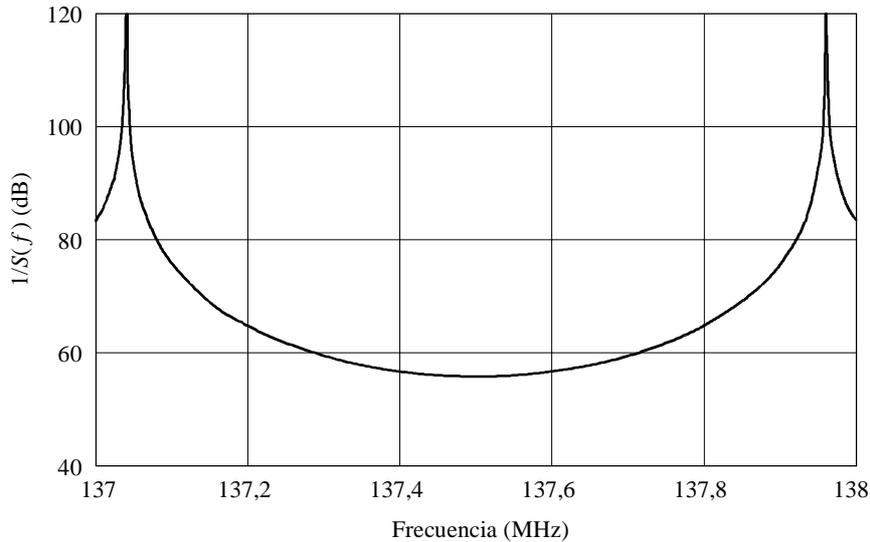
Por lo tanto, cuando esta red de comunicación de espectro ensanchado indicada a título de ejemplo funciona, tiene una relación CND de 44 dB(Hz). Si con este nivel de ruido hay un margen de funcionamiento de 5 dB, cualquier interferencia adicional que reduzca la relación CND total por debajo de 39 dB(Hz) hará que la red funcione de forma degradada.

Paso C: Cálculo de la CND debida a la interferencia externa, tanto en el haz principal como en los lóbulos laterales para cada señal interferente recibida simultáneamente, incluido el efecto de desviación de frecuencia

Cuando el vehículo espacial deseado e interferente suben, atraviesan el cielo y fijan su posición, estarán a veces en la misma dirección vistos desde la antena de la estación terrena del enlace de conexión (es decir, ambos en el haz principal). Con mayor frecuencia, el satélite interferente radiará su señal hacia un lóbulo lateral de la antena de la estación terrena del enlace de conexión. La CND_i , la contribución de la interferencia a la relación CND total, se calcula para ambos casos. En el caso de redes con interferencia contrapolar y deseada, se supone que habrá márgenes de 13 dB para el aislamiento de la polarización en la dirección del haz principal de la antena de la estación terrena del enlace de conexión interferido y de 8 dB en otras direcciones. En el Cuadro 1 puede observarse que existe una diferencia de ganancia de 15 dB entre los lóbulos principal y lateral de la antena interferida.

Además, es necesario efectuar el cálculo completo por lo menos para dos frecuencias de portadora de la red de banda estrecha, ya que la contribución de relación CND de una señal de banda estrecha en una red de espectro ensanchado de secuencia directa está relacionada con la desviación relativa de la portadora de banda estrecha con respecto a la frecuencia central del espectro ensanchado. La relación de esta desviación viene dada por la inversa del «factor de forma» de la señal de espectro ensanchado y en la Fig. 1 aparece el gráfico de dicho factor para el ejemplo de la señal del espectro ensanchado.

FIGURA 1
Valor inverso del factor de forma para modulación del espectro ensanchado por desplazamiento mínimo



1315-01

La contribución de relación portadora/densidad de ruido de una señal interferente de banda estrecha a un canal de espectro ensanchado de secuencia directa es proporcional al cociente entre potencias totales de la señal deseada y la señal interferente, e inversamente proporcional al «factor de forma» de la señal del espectro ensanchado. Por lo tanto, para un código de ensanchamiento de modulación por desplazamiento mínimo de frecuencia de segmentos R_c , la relación CND_i de una señal interferente que tiene una desviación de frecuencias $(f - f_0)$ viene dada por la ecuación (4):

$$CND_i = 10 \log \left[\frac{P_s}{P_j} \times \frac{1}{S(f - f_0)} \right] \quad (4)$$

donde:

- CND_i : portadora/densidad de interferencia en la apertura de la antena (dB(Hz))
- P_s : potencia de la señal deseada en la apertura de la antena
- P_j : potencia de la señal interferente, incluidos los efectos de polarización, en la apertura de la antena
- $S(f - f_0)$: factor de forma para la señal del espectro ensanchado de frecuencia de segmentos R_c :

$$S(f - f_0) = \frac{16}{\pi^2 R_c} \times \frac{(\cos(2\pi(f - f_0) / R_c))^2}{(1 - 16 \times ((f - f_0) / R_c)^2)^2} \quad (5)$$

donde:

- f : frecuencia (Hz)
- f_0 : frecuencia central (Hz)
- R_c : frecuencia de segmentos del espectro ensanchado (Hz).

El cuadro de factores de forma del ejemplo siguiente se calcula a partir de la ecuación (5) y su gráfico aparece en la Fig. 1. La frecuencia central es de 137,5 MHz y la frecuencia de segmentos es de 614,4 kHz.

Desviación (kHz)	Valor inverso del factor de forma (dB)
0	55,79
50	56,00
100	56,66
150	57,78
200	59,43
250	61,71
300	64,80
350	69,10
400	75,72
450	92,54

En este ejemplo, los valores de la CND siguientes de una sola señal de enlace descendente interferente se calculan para desviaciones de frecuencia de cero y 250 kHz (aproximadamente la cuarta parte de la anchura de banda de ensanchamiento).

La CND de interferencia en el haz principal de la antena receptora de espectro ensanchado es:

Para $(f - f_0) = 0$:

$$\begin{aligned}
 CND_{principal_{dB}} &= SS_{potencia_{dB}} - BE_{potencia_{dB}} - 10 \log S(0) \\
 &= (p.i.r.e.S - L(5^\circ)) - (p.i.r.e.I - L(5^\circ) - X) - 10 \log S(0) \\
 &= (-14 - 145,3) - (7 - 143,9 - 13) + 55,8 \\
 &= 46,4 \text{ dB(Hz)}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Para $(f - f_0) = BW/4$:

$$\begin{aligned}
 CND_{principal_{dB}} &= SS_{potencia_{dB}} - BE_{potencia_{dB}} - 10 \log S(BW/4) \\
 &= (p.i.r.e.S - L(5^\circ)) - (p.i.r.e.I - L(5^\circ) - X) - 10 \log S(250000) \\
 &= (-14 - 145,3) - (7 - 143,9 - 13) + 61,7 \\
 &= 52,3 \text{ dB(Hz)}
 \end{aligned} \tag{7}$$

La CND de interferencia causada por una señal interferente que incide en un lóbulo lateral de la antena receptora de espectro ensanchado es (suponiendo que la fuente de interferencia está produciendo su densidad de flujo de potencia máxima):

Para $(f - f_0) = 0$:

$$\begin{aligned}
 CND_{lateral_{dB}} &= SS_{potencia_{dB}} - BE_{potencia_{dB}} - 10 \log S(0) \\
 &= (p.i.r.e.S - L(5^\circ)) - (p.i.r.e.I - L(42^\circ) - X) - G_{dif} - 10 \log S(0) \\
 &= (-14 - 145,3) - (7 - 136 - 8 - 15) + 55,8 \\
 &= 48,5 \text{ dB(Hz)}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Para $(f - f_0) = BW/4$:

$$\begin{aligned}
 CND_{lateral_{dB}} &= SS_{potencia_{dB}} - BE_{potencia_{dB}} - 10 \log S(BW/4) \\
 &= (p.i.r.e.S - L(5^\circ)) - (p.i.r.e.I - L(42^\circ) - X) - G_{dif} - 10 \log S(250000) \\
 &= (-14 - 145,3) - (7 - 136 - 8 - 15) + 61,7 \\
 &= 54,4 \text{ dB(Hz)}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Paso D: Cálculo de la CND total ($C/(N_0 + I_0)$) para cada señal interferente y de degradación causada a la CND

El efecto total de la portadora de acceso múltiple por distribución de frecuencia (AMDF) para los cuatro casos considerados anteriormente es:

- Interferencia en el haz principal, desviación de frecuencia cero:

$$\begin{aligned} CND &= -10 \log (10^{-0,1(44,0)} + 10^{-0,1(46,4)}) \\ &= 42,0 \text{ dB(Hz)} \quad (44,0 - 42,0 = 2,0 \text{ dB de degradación}) \end{aligned}$$

- Interferencia en el lóbulo lateral, desviación de frecuencia cero:

$$\begin{aligned} CND &= -10 \log (10^{-0,1(44,0)} + 10^{-0,1(48,5)}) \\ &= 42,7 \text{ dB(Hz)} \quad (\text{degradación de } 1,3 \text{ dB}) \end{aligned}$$

- Interferencia en el haz principal, desviación de frecuencia de 250 kHz:

$$\begin{aligned} CND &= -10 \log (10^{-0,1(44,0)} + 10^{-0,1(52,3)}) \\ &= 43,4 \text{ dB(Hz)} \quad (\text{degradación de } 0,6 \text{ dB}) \end{aligned}$$

- Interferencia en el lóbulo lateral, desviación de frecuencia de 250 kHz:

$$\begin{aligned} CND &= -10 \log (10^{-0,1(44,0)} + 10^{-0,1(54,4)}) \\ &= 43,7 \text{ dB(Hz)} \quad (\text{degradación de } 0,3 \text{ dB}) \end{aligned}$$

En este ejemplo, en el cual se supone que la red de espectro ensanchado tiene un margen de operación de 5 dB, la red de espectro ensanchado seguirá funcionando incluso cuando la señal interferente no tiene desviación y está en el haz principal de la antenna receptora de espectro ensanchado.

Paso E: Cálculo de la degradación total de la CND debida a las entradas de interferencias en multicanales y simultáneas

Las constelaciones SMS LEO suelen requerir más de un canal de enlace descendente que funcionan simultáneamente en frecuencias distintas. Por ello, se debe calcular el efecto acumulativo de estas señales interferentes para determinar la degradación total para la señal de enlace descendente de espectro ensanchado. El mismo principio puede aplicarse a los enlaces ascendentes de redes de banda estrecha. La relación CND total causada por j interferentes se representa mediante la ecuación (10):

$$CND_{tot} (j \text{ interferentes}) = -10 \log (10^{-0,1CND_o} + \sum_j (10^{-0,1CND_j})) \quad (10)$$

La red de banda estrecha (BE) del ejemplo tiene una constelación de 32 satélites, por lo que siempre hay al menos un satélite sobre el horizonte, y puede haber hasta cuatro. En el caso de que haya cuatro satélites interferentes sobre el horizonte, uno en el haz principal y tres en los lóbulos laterales de la red interferida, la relación CND total se calculará como se indica a continuación.

Suponiendo que las desviaciones de frecuencias son: +250 kHz, -250 kHz, +100 kHz y -100 kHz con respecto a la frecuencia portadora de la señal de espectro ensanchado, y suponiendo que la interferencia en el haz principal se produce con una desviación de 100 kHz:

$$\begin{aligned} CND_{tot} (4 \text{ interferentes}) &= -10 \log (10^{-0,1(44,0)}) + && \text{(Autointerferencia)} \\ &+ 10^{-0,1(47,3)} + && \text{(Interferencia en el lóbulo principal con una desviación de } 100 \text{ kHz)} \\ &+ 10^{-0,1(49,4)} + && \text{(Interferente en un lóbulo lateral con una desviación de } 100 \text{ kHz)} \\ &+ 2 \times 10^{-0,1(54,4)} && \text{(Dos interferentes en un lóbulo lateral con una desviación de } 250 \text{ kHz)} \\ &= 41,1 \text{ dB(Hz)} && \text{(una degradación de } 2,9 \text{ dB)} \end{aligned}$$

Si las 4 interferentes estuvieran en un lóbulo lateral, la relación CND total sería:

$$CND_{tot} (\text{las } 4 \text{ interferentes en un lóbulo lateral}) = 41,5 \text{ dB(Hz)} \quad (\text{una degradación de } 2,5 \text{ dB})$$

En este ejemplo, una red de BE adicional en la misma banda que la red de espectro ensanchado casi agota el margen de enlace disponible, y podría dar cabida a una pequeña interferencia adicional (de otras redes que funcionan en la banda, por ejemplo) sin empezar a degradar la calidad de funcionamiento de la red de espectro ensanchado. Queda claramente demostrada la ventaja resultante de que las fuentes de las posibles interferencias en banda estrecha funcionen lejos de la frecuencia central de una señal de espectro ensanchado.

ANEXO 2

Metodología simplificada para la evaluación de interferencias

La metodología que figura en el Anexo 1 puede simplificarse sustituyendo el Paso C del Anexo 1 por el Paso C simplificado que figura a continuación. Si la interferencia total parece significativa utilizando este método simplificado, deben repetirse los Pasos C, D y E utilizando el Paso C que figura en el Anexo 1.

Paso C simplificado: Técnica simplificada para calcular la CND aproximada debida a la interferencia

El cálculo simplificado de la relación CND resumido a continuación sirve de método rápido de cálculo y comparación del efecto relativo de las diversas fuentes de interferencia. El ejemplo de esta simplificación (suponiendo que se utilizan las redes del ejemplo del Anexo 1) muestra que la metodología simplificada puede dar resultados casi iguales a los obtenidos mediante la metodología detallada.

Suponiendo que la densidad espectral de la señal de espectro ensanchado es uniforme en toda su anchura de banda (es decir, una primera aproximación), se puede calcular la relación CND, como sigue:

Interferencia en el haz principal de la antena:

$$\begin{aligned} CND_{principal} &= p.i.r.e.S - L(5^\circ) - (p.i.r.e.I - L(5^\circ) - 10 \log BW - X) \\ &= -14 - 145,3 - (7 - 143,9 - 59,6 - 13) \\ &= 50,2 \text{ dB(Hz)} \end{aligned}$$

Interferencia en un lóbulo lateral de la antena:

$$\begin{aligned} CND_{lateral} &= p.i.r.e.S - L(5^\circ) - (p.i.r.e.I - L(42^\circ) - 10 \log BW - X - G_{dif}) \\ &= -14 - 145,3 - (7 - 136 - 59,6 - 8 - 15) \\ &= 52,3 \text{ dB(Hz)} \end{aligned}$$

Los valores de la relación CND total para estos dos casos son los siguientes:

Interferencia en el haz principal:

$$\begin{aligned} CND &= -10 \log (10^{-0,1(44,0)} + 10^{-0,1(50,2)}) \\ &= 43,1 \text{ dB(Hz)} \quad (\text{frente a } 42,0 \text{ a } 43,4 \text{ dB(Hz) utilizando el método detallado}) \end{aligned}$$

Interferencia en un lóbulo lateral:

$$\begin{aligned} CND &= -10 \log (10^{-0,1(44,0)} + 10^{-0,1(52,3)}) \\ &= 43,4 \text{ dB(Hz)} \quad (\text{frente a } 42,7 \text{ a } 43,7 \text{ dB(Hz)}). \end{aligned}$$
